



Toxicología ambiental

Toxicologia ambiental

Flavia Renata Abe

© 2017 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente

Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação

Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico

Alberto S. Santana
Ana Lucia Jankovic Barduchi
Camila Cardoso Rotella
Cristiane Lisandra Danna
Danielly Nunes Andrade Noé
Emanuel Santana
Grasiele Aparecida Lourenço
Lidiane Cristina Vivaldini Olo
Paulo Heraldo Costa do Valle
Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica

Francisco Ferreira Martins Neto
Isabella Alice Gotti

Editorial

Adilson Braga Fontes
André Augusto de Andrade Ramos
Cristiane Lisandra Danna
Diogo Ribeiro Garcia
Emanuel Santana
Erick Silva Griep
Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Abe, Flavia Renata
A138t Toxicologia ambiental / Flavia Renata Abe. – Londrina :
Editora e Distribuidora Educacional S.A. 2017.
216 p.

ISBN 978-85-522-0201-1

1. Toxicologia ambiental. I.Título.

CDD 571.95

Sumário

Unidade 1 Fundamentos gerais sobre toxicologia ambiental	7
Seção 1.1 - Fundamentos e terminologias em toxicologia ambiental	9
Seção 1.2 - Classificação dos compostos tóxicos	29
Seção 1.3 - Legislação sobre toxicologia e poluentes ambientais	45
Unidade 2 Agentes tóxicos	67
Seção 2.1 - Fontes toxicológicas	69
Seção 2.2 - Toxicologia das plantas	84
Seção 2.3 - Toxicologia dos animais	99
Unidade 3 Tipos de Toxicologia	119
Seção 3.1 - Toxicologia dos metais	121
Seção 3.2 - Toxicologia dos hidrocarbonetos e solventes	138
Seção 3.3 - Toxicologia dos defensivos agrícolas	151
Unidade 4 Indicadores e consequências da toxicologia	169
Seção 4.1 - Segurança química	171
Seção 4.2 - Avaliação da toxicidade e monitoramento da qualidade ambiental	186
Seção 4.3 - Problemas toxicológicos	198

Palavras do autor

O processo de desenvolvimento econômico e social, assim como o processo de desenvolvimento de diversas tecnologias, implica no descarte de toneladas de resíduos no meio ambiente e, muitas vezes, esses resíduos se destacam como potenciais agentes tóxicos à saúde humana e ambiental. E como identificar quais agentes tóxicos existem ao nosso redor?

Existem diversos indicadores de toxicidade específicos para cada caso. O uso de um determinado defensivo agrícola, por exemplo, atinge o solo, o ar e os recursos hídricos e, para cada um desses locais, podemos escolher indicadores adequados e avaliar diversos parâmetros toxicológicos. Além disso, agentes tóxicos de fontes naturais, tais como de aranhas, abelhas e algumas plantas tóxicas, muitas vezes estão presentes em nosso cotidiano e devem ser levados em conta como potenciais riscos à saúde.

E que tal aprender sobre a toxicidade ambiental? Nesta obra estudaremos não só os fundamentos básicos da toxicologia ambiental, como também os agentes tóxicos mais difundidos em todo o mundo e seus potenciais riscos às populações expostas. Estes conteúdos o auxiliarão no desenvolvimento de trabalhos relevantes para a sua futura profissão. Para tanto, a nossa obra é rica em exemplos que geram repercussões mundiais e discussões no nosso dia a dia.

Iniciaremos os estudos com os conceitos básicos da toxicologia, seguido das principais fontes toxicológicas e das intoxicações que podem ser causadas por elas. Para finalizar, abordaremos diversos indicadores e ensaios para a determinação e para a classificação dos agentes tóxicos, assim como problemas toxicológicos do atual cenário mundial.

Vamos juntos construir novos conhecimentos e superar os desafios da toxicologia ambiental? Não perca as webaulas e comprometa-se com o estudo desta obra. Contamos com você e lhe desejamos bons estudos!

Fundamentos gerais sobre toxicologia ambiental

Convite ao estudo

Caro aluno,

Quando pensamos em toxicologia ambiental, imediatamente relacionamos esse conceito com áreas antropicamente poluídas e com o mal que elas causam aos seres vivos locais. Será que estamos direcionando nossas ideias de forma correta? Nesta unidade, abordaremos os *fundamentos gerais sobre toxicologia ambiental*. Você irá compreender os principais fundamentos da toxicologia, assim como os agentes tóxicos e seus efeitos nos seres humanos, nos seres vivos em geral e no ambiente.

Ao final da unidade, você será capaz de identificar diversos conceitos da toxicologia ambiental e analisar os tipos de compostos tóxicos, e também o modo como eles interagem com os seres vivos. Mas fique atento: devemos ter em mente que nem todos os agentes tóxicos devem ou podem ser eliminados totalmente do ambiente. Para isso, apresentaremos as legislações vigentes que visam a proteger o ambiente de poluentes, definindo quais compostos estão presentes no ambiente e em quais quantidades eles são permitidos em áreas específicas.

Já se imaginou trabalhando na área da toxicologia ambiental? Que tal vivenciar uma situação fictícia para colocar seus conhecimentos em prática?

Nosso personagem principal será você! Você acaba de ser contratado por uma empresa de consultoria ambiental especializada em emissão de laudos técnicos referentes a áreas com potenciais fontes de contaminação. Neste contexto,

você fará parte da equipe de consultores que foi solicitada pelo prefeito do município de Barreiras, na Bahia, para avaliar uma vasta área com suspeita de contaminação antropogênica. Esta área é detentora de grande diversidade biológica, entretanto, diversas indústrias se instalaram em seu distrito industrial e passaram a emitir gases e a liberar efluentes no Rio Grande, que banha o estado da Bahia e transpassa esta área.

Para que você e seus colegas de trabalho possam nortear o prefeito a adotar as melhores decisões para prevenir e/ou mitigar a formação de áreas contaminadas, será necessário que vocês conheçam os fundamentos da toxicologia ambiental. A propósito, você sabe qual o significado da palavra toxicidade? E como diferenciar locais poluídos de contaminados? Quais são as legislações existentes que contemplam esta área ambiental?

Nesta unidade iremos ajudar você com este novo trabalho! Mãos à obra e vamos lá!

Seção 1.1

Fundamentos e terminologias em toxicologia ambiental

Diálogo aberto

Caro aluno,

Nesta seção, iremos nos familiarizar com a história da toxicologia ambiental, assim como com seus conceitos básicos. Desta forma, você entenderá o papel de grande importância desta disciplina na formação dos engenheiros ambientais, tendo em vista a crescente exposição do ambiente e da população aos agentes tóxicos das mais diversas origens.

Lembra-se que você foi contratado por uma empresa de consultoria ambiental? Agora você incorpora uma equipe de consultores solicitada para avaliar uma vasta área no município de Barreiras com suspeita de contaminação antropogênica. Para dar início ao trabalho, você e os demais consultores precisam assegurar que o prefeito compreenda o tema. Muitas vezes os conceitos são confundidos e aplicados de forma errada. Consequentemente, decisões também são tomadas erroneamente. Assim, a primeira parte do trabalho da sua equipe será orientar o prefeito sobre os conceitos básicos da toxicologia, para que ele possa compreender o tema e tomar as providências necessárias.

Algumas questões norteadoras deverão ser esclarecidas ao prefeito. Será que a água de um rio poluído é sempre imprópria para consumo? Como um agente tóxico interage com os organismos ali viventes?

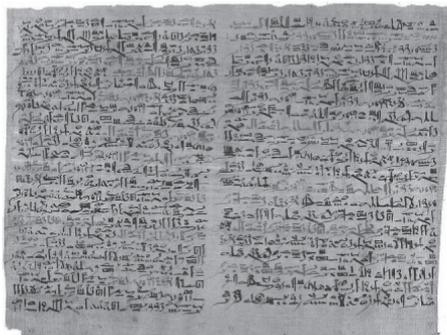
Que tal começar este trabalho agora? Você será acompanhado neste processo! A seguir abordaremos os conceitos da toxicologia ambiental e você entenderá a relação entre um agente tóxico e seu mecanismo de atuação em um organismo.

Não pode faltar

Para conhecer a toxicologia ambiental, precisamos entender um pouco mais sobre a história da toxicologia. O termo tóxico é derivado do grego *toxikon*, que significa veneno ou veneno para flecha, o qual é originalmente derivado de *toxon*, que significa arco, e *pharmacon*, que significa remédio ou veneno. Portanto, a expressão *toxikon pharmacon* indicava pontas de flechas mergulhadas em veneno utilizadas para guerras ou caças. A partir disso, a definição de toxicologia passou por muitas transformações ao longo dos anos, incorporando diversos conhecimentos sobre tóxicos.

A toxicologia acompanha a própria história da civilização, sendo uma das ciências mais antigas, surgida nos primórdios da humanidade. Os venenos eram extraídos de animais e plantas e utilizados em pontas de flechas como ferramentas de caça ou armas contra inimigos. Um dos documentos de origem egípcia mais antigo, o papiro de Ebers (aproximadamente 1500 a.C, Figura 1.1, relata uma lista com cerca de 800 venenos já conhecidos na época, incluindo o ópio, utilizado como veneno e antídoto; a cicuta, uma planta altamente venenosa também conhecida como “veneno de Sócrates”, pois foi usada pelo filósofo para se autoenvenenar devido à acusação de ateísmo; e alguns metais, como o chumbo e o cobre.

Figura 1.1 | Papiro de Ebers, publicado em 1873 pelo egiptólogo alemão Georg Ebers



Fonte: <<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/51/EdSmPaPlateVlandVIIPrintsx.jpg/1280px-EdSmPaPlateVlandVIIPrintsx.jpg>>. Acesso em: 22 maio 2017.

Na antiguidade, Hipócrates (460-364 a.C.) já relacionava diversos agentes tóxicos e estudava os princípios da toxicologia clínica. Hoje, ele é considerado o pai da medicina. Neste período, o uso de venenos era vastamente político, tal como a morte de Sócrates (470-399 a.C.), condenado à ingestão de extrato de cicuta. Em face dos perigos por envenenamento, “provadores oficiais” tinham a função de experimentar previamente alimentos e bebidas de reis e rainhas nas cortes antigas.



Exemplificando

Na Antiguidade, os conhecimentos de Cleópatra (69-30 a.C.) em compostos naturais tóxicos permitiu que ela os testasse em seus escravos e, posteriormente, se suicidasse de forma rápida e sem dor. A rainha do Egito teria ingerido uma mistura dos venenos extraídos de plantas (ópio, cicuta e acônito) e morrido poucas horas depois.

Ainda na Idade Antiga, a primeira classificação dos venenos foi realizada pelo grego Dioscorides (40-90 d.C.), médico da corte do imperador romano Nero. Dioscorides diferenciava e agrupava os agentes tóxicos de origem vegetal, animal e mineral.

Já no início da Idade Moderna, o médico alquimista Philippus Paracelsus (1493-1541) desenvolveu diversas ideias revolucionárias na área da farmacologia, na área terapêutica e na toxicologia. Alguns dos seus princípios permanecem válidos até hoje, sendo seu postulado mais famoso a frase “Todas as substâncias são venenos; não há nenhuma que não seja um veneno. A dose certa diferencia o veneno de um remédio”. Ele iniciou uma transição entre a filosofia e a magia da Idade Antiga para o que são agora a filosofia e a ciência.

Entretanto, foi durante os séculos XX e XXI que a toxicologia deu um grande salto em seu desenvolvimento. Após a Segunda Guerra Mundial, uma enorme variedade de substâncias passou a ser industrializada, dentre elas praguicidas, munições, fibras sintéticas, fármacos, produtos alimentares e diversos outros produtos químicos.

O contato do homem com esses agentes químicos aumentou drasticamente o número de intoxicações. Ao final da década 1950, milhares de crianças nasceram com malformações congênitas após as mães ingerirem a talidomida durante a gravidez, um fármaco indicado para o tratamento de ansiedade, enjoo, insônia etc. Essa tragédia impulsionou as pesquisas de teratogenicidade em todo o mundo.



Vocabulário

Teratogenicidade é a capacidade de um agente tóxico de provocar o aparecimento de anomalias congênitas. O termo teratos tem origem do grego, que significa monstro, devido às malformações anatômicas que a substância causa. Entretanto, hoje, as consequências da ingestão desse agente englobam outras anomalias, tais como distúrbios bioquímicos, psicomotores etc.

A toxicologia ambiental ganhou força em 1962, quando a americana Rachel Carson publicou o livro *Silent spring* (Primavera silenciosa), um *best seller* que retratou pela primeira vez os efeitos do inseticida químico DDT sobre os organismos vivos, particularmente sobre aves. Este livro inspirou uma comoção pública em relação à saúde ambiental.



Pesquise mais

O inseticida Dicloro-Difenil-Tricloroetano ou DDT começou a ser utilizado na Segunda Guerra Mundial para eliminar insetos transmissores de doenças. Entretanto, ele elimina não só os insetos, como o resto da fauna e flora ao redor. Foi banido em vários países na década de 1970 e no Brasil em 2009. Entre seus efeitos tóxicos, induz o câncer em humanos e interfere em toda a cadeia alimentar do ambiente. Para saber mais, leia **Primavera silenciosa** ou acesse o texto disponível em: <<https://educacao.uol.com.br/resenhas/primavera-silenciosa.htm>>. Acesso em: 22 maio 2017.

Outros eventos envolvendo catástrofes ambientais tornaram-se famosos, tal como o despejo de mercúrio na Baía de Minamata (Japão) em 1930-1960 e a liberação da dioxina TCDD na atmosfera de Seveso (Itália) em 1976. Este último evento culminou na morte de 3 mil animais e no sacrifício de mais 7 mil animais, com o intuito de impedir a entrada da toxina na cadeia alimentar. Outro acidente marcante ocorreu em Bhopal (Índia) em 1984. A antiga indústria norte-americana Union Carbide, hoje pertencente à Dow Chemicals, acidentalmente liberou 40 toneladas de gases tóxicos. Estima-se que 13 mil pessoas morreram após inalarem o gás, além de 150 mil pessoas que sofrem com os efeitos da inalação até os dias de hoje.

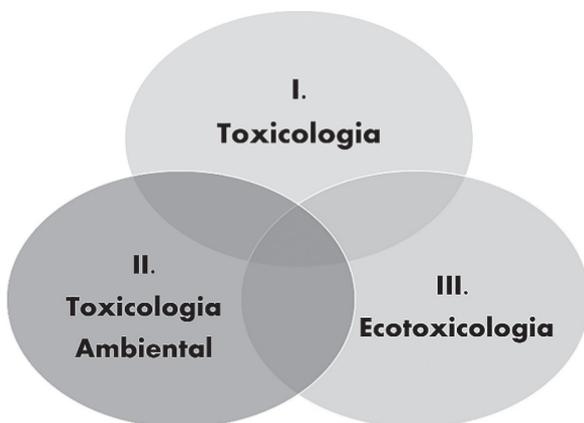
Agora conheceremos melhor os princípios da toxicologia ambiental. Isto implica entender os conceitos e os elementos básicos atuais. Como aprendemos anteriormente, a toxicologia se iniciou com os conhecimentos sobre venenos, mas agora trataremos de substâncias ou agentes químicos ou físicos. A mudança do termo se deve ao uso popular da palavra veneno. Nos termos médicos, veneno se restringe a substâncias químicas que causam efeitos tóxicos em baixas doses, ou para as substâncias tóxicas de animais, tais como venenos de cobra ou de escorpião.

Em primeiro lugar, definiremos o significado de toxicologia e suas áreas de estudo. Existem diferentes áreas dentro da toxicologia. Dentre elas, encontramos a toxicologia ambiental e a Ecotoxicologia. Para diferenciar estas ciências, basta ter em mente o foco de cada uma, entretanto, é importante ressaltar que todas se sobrepõem de alguma forma (Figura 1.2):

- I. A **toxicologia** estuda os efeitos adversos de agentes químicos ou físicos em um organismo vivo sob exposição. Por exemplo, uma pessoa pode estar exposta a praguicidas, um agente químico, ou à radiação UV, um agente físico, e os efeitos nocivos, em ambos os casos, são estudados pela Toxicologia.
- II. A **toxicologia ambiental** estuda os impactos que agentes químicos causam nos organismos que vivem em um determinado ambiente. Por exemplo, um rio poluído pode causar danos à saúde dos peixes, das aves, das plantas, dos animais terrestres e até mesmo das pessoas que ali vivem.

III. A **ecotoxicologia** é uma área especializada dentro da toxicologia ambiental, e estuda os impactos que agentes químicos causam na dinâmica populacional dos ecossistemas, e não apenas o impacto de componentes isolados.

Figura 1.2 | Representação gráfica das inter-relações entre as diferentes áreas da toxicologia



Fonte: elaborada pelo autor.

Nesta obra, iremos focar na toxicologia ambiental. Dessa forma, abordaremos os agentes tóxicos e seus efeitos para a saúde humana e para a saúde ambiental. Para começar, que tal desconstruirmos alguns pré-conceitos e construirmos novos?

Nesta fase iremos redefinir alguns termos muitas vezes confundidos na toxicologia ambiental. Você consegue diferenciar os termos poluição e contaminação, toxicidade e intoxicação, e tóxico e toxina? Para a toxicologia ambiental, o conhecimento desses termos é importante e implica na tomada de decisões mais conscientes.

Contaminação x poluição

Os termos contaminação e poluição são frequentemente empregados sinonimamente. Entretanto, uma área poluída nem sempre está contaminada.

A **poluição** é a alteração das características físicas, químicas e/ou biológicas de um ambiente, ou seja, é uma forma de degradação da qualidade ambiental oriunda de atividades antrópicas de modo que prejudique a saúde humana e ambiental, restrinja as atividades sociais e econômicas e afete as condições estéticas e sanitárias locais (Lei Federal nº 6.938/81, de 31 de agosto de 1981). Por exemplo: a poluição de um rio com lançamento de matérias ou compostos químicos, o som excessivo emitido por automóveis ou construções de empreendimentos, a eliminação de uma vegetação local. Os níveis de poluição podem ser medidos (concentração de uma substância em um rio, gases na atmosfera, ruídos, radiações, calor etc.) e podem ser estabelecidos valores de referência.

A **contaminação** é um tipo de poluição oriunda de atividades antrópicas em concentrações nocivas à saúde humana, mas que não implique necessariamente em desequilíbrio ecológico (Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009). Por exemplo, a introdução de água salobra nos corpos d'água pode causar alterações ecológicas significativas no ambiente, mas não restringe seu uso pelo ser humano (poluído, mas não contaminado). Ou então, a introdução de uma espécie de bactéria ou de um composto químico nos corpos d'água pode não causar alterações ecológicas, mas induz efeitos nocivos ao ser humano (poluído e contaminado).

Figura 1.3 | Esquema da relação entre um rio contaminado e poluído



Fonte: elaborada pelo autor.



Refleta

Pense em um rio que você conheça em sua cidade. Você sabe dizer se ele está contaminado e/ou poluído? Lembre-se que todo ambiente contaminado está poluído, mas nem todo ambiente poluído está contaminado!

Toxicidade x intoxicação

A **toxicidade** é a capacidade de um agente de causar danos no organismo. Devemos lembrar sempre que a toxicidade é uma característica inerente à substância. Não há maneira de torná-la mais ou menos tóxica, porém a intensidade dos efeitos adversos que esta substância causa pode variar, dependendo de alguns fatores, dentre eles as propriedades físico-químicas da substância, a situação da exposição, a dose, o local exposto, além da sensibilidade do organismo vivo.

A **intoxicação** é a manifestação dos efeitos de um agente tóxico no organismo. Portanto, a toxicidade de uma substância é manifestada pela intoxicação. Este processo é patológico e causado por um desequilíbrio fisiológico induzido pelo agente tóxico.



Assimile

A intensidade da toxicidade de um agente tóxico depende dos fatores: concentração do agente, duração, frequência e rota de exposição.

Toxicante x toxina x veneno x fármaco x droga

A seguir, diferenciaremos alguns termos que são genericamente empregados como agentes tóxicos, porém o emprego desses termos de forma errada pode levar a um diagnóstico ou a um laudo errado. Não se preocupe em memorizá-los! Nesta obra optamos pela abordagem agente ou substância química ou tóxica, mas é importante que você saiba que existe diferença entre eles e, sempre que tiver dúvida, volte nesta seção para relembra-los. Vale ressaltar que algumas vezes os termos se sobrepõem, portanto, cabe a você adequá-los da melhor maneira em seu vocabulário.

O **toxicante** é o agente tóxico, ou seja, o agente causador dos efeitos adversos ou da intoxicação em um determinado organismo. Ele pode ser produzido por atividades naturais ou antropogênicas. Por exemplo, a combustão de matéria orgânica pode ocorrer por processos naturais (incêndio florestal natural) ou antropogênicos (fumar um cigarro), e ambos produzem o toxicante hidrocarboneto aromático policíclico ou HAP.

A **toxina** refere-se a substâncias tóxicas produzidas por plantas, animais e microrganismos, geralmente relacionadas à autodefesa do organismo desses seres contra predadores.

O termo **veneno** também pode ser empregado como qualquer agente capaz de induzir efeitos adversos em um organismo, entretanto, como vimos anteriormente (relembre o postulado de Paracelsus!), qualquer substância pode induzir efeito adverso se presente em quantidades suficientes para causá-lo. Esta definição torna o termo veneno não usual, sendo empregado para agentes tóxicos que causam efeitos em baixas doses ou para as toxinas que alguns animais produzem (veneno de cobra, escorpião, abelha etc.).

O **fármaco** é toda substância devidamente estudada, com estrutura química definida, capaz de alterar o estado fisiológico ou patológico de um organismo de forma benéfica. Já a **droga** é toda substância capaz de alterar o estado fisiológico de um organismo, com ou sem intenção benéfica. Desta forma, podemos concluir que a *Cannabis sativa*, como um todo, é uma droga, e seu constituinte psicoativo tetraidrocannabinol é um fármaco. Entretanto, popularmente, a palavra droga é também empregada para fármacos, medicamentos e tóxicos.



Refleta

Qualquer substância pode ser tóxica, dependendo da dose! É importante relacionar a partir de qual quantidade a substância se torna perigosa. Os medicamentos, por exemplo, são seguros somente se administrados em doses corretas. Caso haja uma superdose, tornam-se tóxicos. Até mesmo a água, se ingerida em excesso, pode gerar um desequilíbrio no organismo e levar à intoxicação.

A intoxicação de um organismo exposto a agentes tóxicos depende de diversos fatores que influenciam na toxicidade. Para facilitar o entendimento, esses fatores foram divididos em quatro fases:

1. **Exposição:** acesso do agente tóxico ao organismo por diferentes rotas ou vias de exposição: ingestão, inalação, tópica e outras.

- II. **Toxicocinética**: processos de transporte e distribuição do agente tóxico no interior do organismo, biotransformação e excreção.
- III. **Toxicodinâmica**: interação entre as moléculas do agente tóxico com os órgãos-alvos de um organismo, alterando o estado fisiológico e induzindo efeitos adversos.
- IV. **Fase clínica**: detecção de sinais, sintomas e alterações fisiológicas induzidas pelos agentes tóxicos.

Ao longo desta obra abordaremos diversos fatores que influenciam na toxicidade, e iniciaremos a seguir com os fatores vias de exposição, toxicocinética e toxicodinâmica.

Exposição

A intoxicação de um organismo exposto a agentes tóxicos depende do fator rota ou via de exposição, ou seja, a transferência do agente presente no ambiente externo para o interior do organismo. A absorção do agente tóxico pode ocorrer por diferentes vias de acesso: ingestão (via gastrointestinal), inalação (via pulmonar), tópica (vias dérmica, epidérmica e/ou dérmica, e também através dos olhos) e outras vias parenterais (administração intravenosa, intramuscular e subcutânea) não comuns no contexto da toxicologia ambiental.

Outro fator importante nesta fase é a intensidade da exposição. Ou seja, a concentração, a duração e a frequência em que um organismo é exposto ao agente tóxico induz diferentes intensidades de toxicidade. Por exemplo, o gás monóxido de carbono (CO) pode ser produzido pela combustão incompleta (em condições de pouco oxigênio) e, após ser inalado em altas quantidades, pode causar dores de cabeça, tonturas e até perda da consciência e morte, dependendo da duração da exposição. Por outro lado, nós naturalmente produzimos uma baixa quantidade de CO durante o processo de catabolismo, sem que haja indução de qualquer efeito tóxico.

Via pulmonar

A inalação de agentes tóxicos é associada a efeitos adversos mais severos. Os agentes tóxicos presentes no ar passam

facilmente pelas fossas nasais, e atravessam a faringe, a laringe, os brônquios, a traqueia e os alvéolos pulmonares até atingirem a corrente sanguínea. Entretanto, o tamanho das partículas inaladas influencia diretamente no alcance dos órgãos. Partículas maiores que 5 μm são eliminadas com um espirro, enquanto partículas entre 2-5 μm ficam presas no muco, e as partículas menores alcançam mais facilmente a corrente sanguínea.

Via gastrointestinal

A exposição oral pode ser acidental, por meio da água ou de alimentos contaminados, pela ingestão de drogas ou fármacos. As características físico-químicas dos agentes tóxicos são importantes para esta via de absorção. Agentes tóxicos lipofílicos, por exemplo, são facilmente absorvidos pelas células epiteliais do trato digestivo, pois as atravessam por difusão passiva e atingem a corrente sanguínea, enquanto os agentes altamente hidrofílicos são pouco absorvidos. O pH e o pKa também possuem papel fundamental aqui, pois o grau de ionização do agente tóxico varia de acordo com o seu pKa e com o pH do meio, facilitando a difusão passiva particular a substâncias não ionizadas. Por outro lado, a presença de enzimas digestivas em todo o sistema gastrointestinal e o pH ácido do estômago muitas vezes facilitam a eliminação do agente tóxico.



Vocabulário

Lipofílico (*adj.*) refere-se à habilidade de um composto químico dissolver-se em gorduras, óleos vegetais e lípidios em geral. Em outras palavras, a substância dita lipofílica é a que tem afinidade e é solúvel em lípidios.

Hidrofilia (*subst.*) refere-se à propriedade de ter afinidade por moléculas de água.

Fonte: Dicionário Português. Disponível em: <<http://dicionarioportugues.org/>>. Acesso em: 23 maio 2017.

Via dérmica

A absorção de agentes tóxicos via dérmica é dificultada por

algumas barreiras biológicas. A epiderme possui uma camada de células mortas queratinizadas incorporadas em lipídeos, impermeabilizando a passagem de agentes tóxicos hidrofílicos. Além disso, os pelos e o suor auxiliam na formação desta barreira. Apesar das barreiras da pele, alguns agentes tóxicos podem atuar diretamente sobre ela, causando irritação, corrosão ou sensibilização do local, ou mesmo conseguindo penetrar e alcançar a corrente sanguínea, especialmente as substâncias lipofílicas.

Toxicocinética

Quando os agentes tóxicos alcançam a corrente sanguínea, eles são transportados para diversos órgãos. Ao atingirem o órgão-alvo, os agentes tóxicos deixam a corrente sanguínea e se distribuem nas células dos tecidos. Nesta fase, os órgãos altamente irrigados pelo sangue (coração, cérebro, fígado) recebem maiores quantidades do agente tóxico, entretanto, os tecidos menos irrigados (tecido adiposo, ossos, unhas, dentes) tendem a armazenar maiores quantidades do agente.

Após a distribuição, os agentes tóxicos podem ser excretados e retornam ao ambiente externo novamente. Os principais órgãos excretadores são o fígado e o rim, sendo eficientes na remoção de agentes altamente hidrofílicos. Antes da excreção, os agentes tóxicos, principalmente os lipofílicos, podem ser biotransformados por reações que ocorrem durante o processo de metabolismo e os tornam hidrofílicos, o que facilita sua excreção. Entretanto, agentes altamente lipofílicos são dificilmente eliminados e tendem a se acumular no organismo.



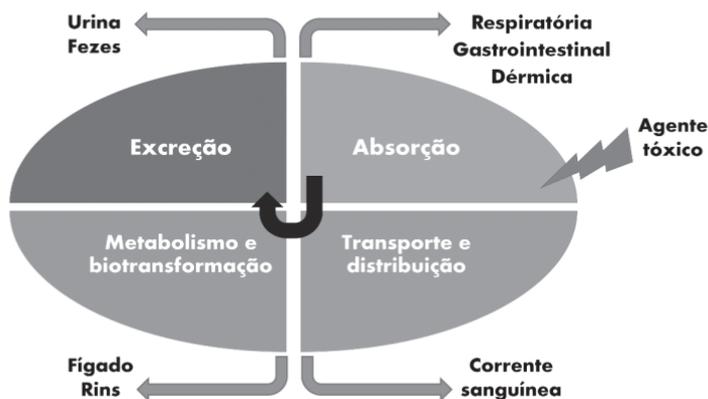
Exemplificando

Após a exposição de animais ao chumbo, 50% da quantidade absorvida é encontrada no fígado em apenas duas horas, e cerca de 30 dias depois, 90% do metal é encontrado nos ossos. Este metal é liberado lentamente, tendo meia-vida de eliminação de 20-30 anos.

É importante ressaltar que um agente altamente hidrofílico não é sinônimo de ausência de efeito tóxico. A quebra de algumas

substâncias para facilitar sua eliminação pode formar metabólitos altamente tóxicos ou radicais livres altamente reativos. Este processo é chamado de ativação metabólica. Diversas indústrias têxteis e de cosméticos, por exemplo, utilizam corantes sintéticos hidrofílicos em seus produtos e, após esses corantes serem absorvidos pelo organismo, formam agentes tóxicos altamente carcinogênicos pelo processo de ativação metabólica.

Figura 1.4. | Esquema resumido da toxicocinética de um agente tóxico



Fonte: elaborada pelo autor.

Toxicodinâmica

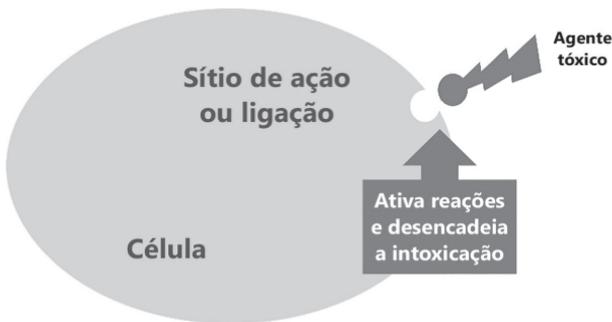
O estudo da toxicodinâmica torna-se importante para entendermos os mecanismos de ação dos agentes tóxicos e para a estima da probabilidade de causa de efeitos adversos na população exposta, ou seja, para a realização de uma avaliação de risco. Por meio da avaliação de risco é possível estabelecer estratégias preventivas ou mitigadoras de tratamentos.

A toxicodinâmica é tipicamente mediada pelo efeito adverso que um agente tóxico causa ao interagir com o sítio-alvo. Esta interação é capaz de induzir uma série de reações e de causar danos em vários níveis biológicos, dentre eles em organelas, células, tecidos, órgãos e até mesmo no organismo como um todo.



Quando aspiramos o monóxido de carbono (CO), ele é absorvido e atinge a corrente sanguínea, na qual rapidamente se liga à hemoglobina, impedindo-a de transportar oxigênio aos tecidos. O excesso de CO ligado às hemoglobinas pode levar a óbito por anoxemia, ou seja, por falta de oxigênio no sangue.

Figura 1.5 | Esquema resumido de uma interação entre um agente tóxico e seu sítio de ação



Fonte: elaborada pelo autor.

Geralmente, os efeitos adversos induzidos por um agente tóxico são proporcionais à quantidade absorvida, caracterizando a relação dose-resposta. Ou seja, quanto maior a dose do agente tóxico, maior o efeito adverso ocasionado. Entretanto, alguns agentes são capazes de induzir efeitos *hormesis*, ou seja, a resposta do organismo não é gradual em função do aumento da dose, mas adaptativa. Por exemplo, em baixas concentrações tóxicas, uma população exposta pode diminuir a taxa de reprodução, mas em concentrações tóxicas elevadas pode aumentar o número da prole em prol da manutenção da espécie no ambiente.

É importante ressaltar que os efeitos normalmente não ocorrem de forma isolada. A resposta do organismo face a um agente tóxico pode ser aumentada ou reduzida de acordo com combinações com diferentes substâncias. Os efeitos adversos simultâneos podem ser:

- I. **Aditivos**: os efeitos adversos se somam.
- II. **Sinergéticos**: os efeitos adversos são maiores que a soma dos efeitos individualizados.
- III. **De potenciação**: o efeito adverso do agente tóxico é potencializado pela ação de um agente não tóxico.
- IV. **Antagônicos**: o efeito adverso de um agente tóxico é antagonizado pela ação de um segundo agente.



Pesquise mais

Todos os conceitos abordados anteriormente são de extrema importância para a compreensão da toxicologia ambiental. Porém, lembre-se de que não são os únicos! Existem inúmeros princípios que não foram explorados até aqui, mas nesta seção conseguimos entender mais sobre esta ciência e sobre sua relevância durante o desenvolvimento da humanidade.

Na próxima seção, você conhecerá melhor os agentes tóxicos e suas características químicas e tóxicas, mas antes de iniciá-la, que tal aprender mais sobre alguns efeitos tóxicos causados por esses agentes? Pesquise sobre os acidentes ambientais.

- Caso Shell. Leia mais no link indicado. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/umafabrica-de-contaminacao-mortes-em-paulinia-4405362>>. Acesso em: 23 maio 2017.

- Desastre ambiental em Mariana (MG). Leia mais no link disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/biologia/acidente-mariana-mg-seus-impactos-ambientais.htm>>. Acesso em: 23 maio 2017.

- Tragédia da hemodiálise. Leia mais sobre o assunto no link a seguir. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2016/02/tragedia-da-hemodialise-que-deixou-quase-60-mortos-completa-20-anos.html>>. Acesso em: 23 maio 2017.

Sem medo de errar

Caro aluno,

Agora vamos retomar o trabalho proposto a você e aos demais consultores. Lembre-se: vocês precisam orientar o prefeito

sobre o tema toxicologia ambiental. Ele suspeita que uma vasta área detentora de grande diversidade biológica está sendo contaminada pelas indústrias ao seu redor. Porém, o prefeito não possui conhecimento algum sobre impactos ambientais e precisa compreender o necessário para tomar as devidas providências. Vamos ajudá-lo?

Como vimos nesta seção, diversos termos da toxicologia são confundidos e empregados de forma errada. Para que o prefeito compreenda o tema, você e seus colegas de trabalho devem explicar as diferenças conceituais desses termos, considerando que, para uma pessoa que não trabalha na área de ciências, nem sempre tais diferenças conceituais são claras. Portanto, uma boa ideia seria abordar os temas com um pequeno glossário, explicando os conceitos de forma sucinta e elucidativa.

E que tal usar a criatividade e interligar os temas em um mapa mental? A seguir, você encontra um exemplo que pode auxiliar no desenvolvimento do seu mapa (Figura 1.6). Sinta-se à vontade para acrescentar as informações que achar relevantes e interessantes para a construção de seu próprio esquema.

Não se esqueça de deixar clara a diferença entre uma área contaminada e uma área poluída. Relembre que toda área contaminada está poluída, mas que nem toda área poluída está contaminada. E atenção: mesmo que uma área esteja “somente poluída”, cuidado com as recomendações para uso dessa água para o consumo humano! A cada dia a ciência descobre novas informações sobre a toxicidade de substâncias presentes no ambiente, sejam elas naturais ou inseridas de forma antropogênica. Então, nunca afirme que uma substância não apresenta toxicidade. Talvez a, longo prazo, ela possa induzir danos à saúde humana e à saúde ambiental, mas eles ainda são desconhecidos.

Também relembre o fato de que um agente tóxico pode interagir com um organismo de diferentes maneiras. Por exemplo, um praguicida pulverizado sobre verduras de uma horta pode entrar em contato com ser humano pela ingestão (via gastrointestinal), por outro lado, esse mesmo praguicida em um rio entrará em contato com um peixe por todo o seu corpo (via dérmica), pela

sua respiração (via branquial) e pela ingestão do praguicida (via gastrointestinal). Portanto, deve-se levar sempre em consideração a área em estudo como um todo e também as particularidades de cada ambiente presente nessa área, assim como os diferentes organismos expostos. Aproveite para inserir diferentes ambientes em seu mapa mental e as possíveis vias de exposição.

Figura 1.6 | Exemplo de esquema para a construção do mapa mental



Fonte: elaborada pelo autor.

Avançando na prática

Ausência de efeitos aparentes

Descrição da situação-problema

Caro aluno,

Agora, você e seus colegas consultores terão um novo desafio. Após um levantamento do histórico da área em estudo, vocês souberam que nesta área havia uma antiga indústria de curtume, entretanto, ela encerrou as atividades no mês anterior. Por falha humana, houve um derramamento de uma pequena carga de efluentes que não passaram tratamento prévio. Sabemos que a indústria de curtume gera toneladas de carga orgânica e de metais,

mas curiosamente o prefeito relatou que as análises realizadas por um laboratório especializado mostraram que havia baixas concentrações dos metais liberados na água e que os efeitos tóxicos não eram visíveis nos organismos aquáticos que viviam no local. Sendo assim, ele questionou se esse rio estaria poluído ou não. Quais explicações vocês sugeririam ao prefeito pela ausência aparente de efeito tóxico?

Resolução da situação-problema

Não podemos afirmar que a aparente ausência de efeito tóxico seja mesmo a realidade. Lembre-se que, após o contato de organismos com agentes tóxicos, os agentes são absorvidos, transportados e distribuídos pelo organismo, conforme a via de exposição. Nossa dica é que você explique ao prefeito que alguns agentes químicos podem estar acumulados nos organismos ou mesmo nos sedimentos. Além disso, tais substâncias despejadas no rio podem ter sido degradadas no ambiente ou biotransformadas pelos organismos após a absorção. Portanto, as análises laboratoriais não encontrariam a substância inicial na água. É preciso uma análise minuciosa dessa área para detectar os compostos químicos e seus produtos de degradação e/ou biotransformação, não só na água, como também nos compartimentos sedimento, flora e fauna. Uma dica é sugerir testes toxicológicos em organismos aquáticos amplamente utilizados como detectores de distúrbio ambiental, denominados indicadores biológicos, tais como os macroinvertebrados bentônicos (Figura 1.7). Eles possuem alta sensibilidade a ambientes alterados e são capazes de indicar os efeitos adversos induzidos pelos agentes tóxicos presentes em um ambiente.

Figura 1.7 | Exemplos de macroinvertebrados bentônicos



Fonte: <http://www.dep.wv.gov/wwe/watershed/bio_fish/pages/bio_fish.aspx>. Acesso em: 23 maio 2017.

Portanto, talvez ainda haja efeitos tóxicos, porém não são visivelmente detectados. Lembra-se do fato de que o chumbo demora 20 a 30 anos para ser parcialmente eliminado pelo corpo de um organismo? Alerta o prefeito de que é preciso analisar cuidadosamente esse rio e que ele deve ser cauteloso com os “efeitos aparentemente ausentes” para tomar decisões sobre a saúde ambiental.

Faça valer a pena

1. O avanço da toxicologia ambiental possibilitou o estudo de agentes tóxicos presentes no ambiente e seus efeitos para a saúde humana e para a saúde ambiental. Entretanto, diversos termos definidos no passado foram alterando o significado de conceitos da toxicologia ambiental, tornando-os mais específicos.

Levando em conta os conceitos da toxicologia ambiental, podemos concluir que um toxicante é:

- a) Uma toxina extraída de animais venenosos, capaz de induzir efeitos adversos ao ser humano.
- b) Um antídoto utilizado para neutralizar venenos de plantas e animais.
- c) Uma intoxicação com manifestações clínicas.
- d) A toxicidade inerente de um agente tóxico.
- e) Um agente tóxico capaz de induzir efeitos adversos a um organismo vivo.

2. Após uma pessoa ingerir um alimento contendo um agente tóxico altamente lipofílico, este é absorvido e distribuído pelo organismo.

Qual é a rota de distribuição mais provável que esse agente tóxico pode percorrer no organismo?

- a) Sistema respiratório, sistema circulatório, fígado, excretas.
- b) Sistema gastrointestinal, excreção direta pelas fezes.
- c) Sistema gastrointestinal, sistema circulatório, acumulação, excreção lenta.
- d) Sistema circulatório, sistema nervoso, rins, excretas.
- e) Sistema circulatório, fígado, acumulação.

3. O incêndio que ocorreu na boate Kiss em 27 de janeiro de 2013, na cidade de Santa Maria (RS), matou 242 pessoas e deixou 630 feridas. Ele foi iniciado por um sinalizador disparado por um integrante da banda que estava no palco. Apesar da maior parte das vítimas fatais não terem sido atingidas pelo fogo, a fumaça tóxica foi a grande vilã da noite.

Fonte: <<http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/tragedia-incendio-boate-santa-maria/platb/>>. Acesso em: 24 maio 2017.

A alternativa abaixo que relaciona corretamente a fumaça tóxica com seu efeito adverso ocorrido na tragédia da boate Kiss é:

- a) O CO é absorvido pela via dérmica, atinge a corrente sanguínea e é rapidamente excretado.
- b) O CO se liga à hemoglobina, em seguida, é transportado para o sítio de ação, desencadeando o efeito adverso.
- c) O dióxido de carbono é absorvido pela via dérmica, atinge a corrente sanguínea e é transportado até o fígado, órgão no qual induz o efeito adverso.
- d) O monóxido de carbono é inalado, rapidamente chega à corrente sanguínea e se liga à hemoglobina, levando à morte por anoxemia.
- e) O dióxido de carbono é inalado, rapidamente chega à corrente sanguínea e se liga à hemoglobina, impedindo que esta transporte oxigênio.

Seção 1.2

Classificação dos compostos tóxicos

Diálogo aberto

Caro aluno,

Na seção anterior você se familiarizou com a história e com os conceitos básicos da toxicologia ambiental e aprendeu como os agentes tóxicos são absorvidos e interagem com os organismos vivos. Além desses conhecimentos, é extremamente importante conhecer os agentes tóxicos presentes no ambiente em que vivemos. Entretanto, existem milhares de substâncias químicas em todo o mundo! E como estudá-las uma a uma? Para que isso se torne possível, as substâncias químicas são agrupadas em classes, de acordo com suas características, o que facilita a compreensão dos agentes tóxicos.

Lembra-se dos desafios de seu trabalho na empresa de consultoria? Pois continuaremos trabalhando nessa jornada. Após a primeira etapa do trabalho no município de Barreiras, o prefeito enviou à sua equipe um relatório emitido por um laboratório de análises químicas contendo os compostos químicos encontrados em uma água coletada no Rio Grande, o receptor dos efluentes industriais. Dentre os diversos compostos encontrados, o laboratório descreveu a presença de dois metais, um hidrocarboneto, um composto orgânico altamente tóxico e três compostos carcinogênicos

Para facilitar o entendimento, o prefeito organizou esses dados em uma tabela. Veja:

Tabela 1.1 | Compostos químicos presentes nas amostras de água do Rio Grande

Agentes tóxicos encontrados	Concentrações encontradas	Concentrações limites ¹
Chumbo	0,005 mg/L	0,01 mg/
Cromo	0,001 mg/L	0,05 mg/
Composto carcinogênico 1	0,009 mg/L	-

Composto carcinogênico 2	0,001 mg/L	-
Composto carcinogênico 3	0,005 mg/L	-
Substância química orgânica	0,009 mg/L	-
1,2-dicloroetano (solvente hidrocarboneto halogenado)	0,009 mg/L	0,01 mg/

¹Fonte: elaborada pelo autor.

Após visualizar a tabela, o prefeito entendeu que se tratavam de sete compostos diferentes. Ele pediu o seu auxílio e também o dos demais consultores. Com base nas informações da Tabela 1.1, faça uma interpretação desses dados para a análise que você deve entregar em sua próxima reunião. O prefeito estava correto em suas interpretações?

A seguir, vamos abordar as classificações dos agentes tóxicos de acordo com suas características químicas, toxicológicas e com seus efeitos tóxicos, e você compreenderá melhor o significado da tabela apresentada. Vamos lá?

Não pode faltar

Classificações dos compostos tóxicos

Os agentes tóxicos podem ser classificados a partir de diversos critérios, de acordo com os interesses e necessidades de estudo. Dentre todas as classificações, as mais relevantes para a toxicologia são aquelas que especificam as características químicas, tóxicas e de efeitos. Por exemplo, em um estudo de biomonitoramento de águas superficiais contaminadas, um profissional pode utilizar a intensidade e o tipo de efeito tóxico induzido para tomar a decisão imediata de suspensão de seu uso para consumo humano, porém precisará recorrer às características químicas para descobrir qual substância está presente na área estudada e tratá-la de forma adequada.

A seguir, abordaremos as classificações dos agentes tóxicos de acordo com suas características químicas, tóxicas e de efeito.

¹ valores baseados para os padrões de qualidade Classe I - águas doces (Resolução CONAMA 357/2005).

Características químicas

Nesta classificação, os agentes tóxicos são categorizados de acordo com as características químicas da estrutura da molécula. Essa categorização possui grande importância para a toxicologia, pois permite relacionar a estrutura da molécula com sua função. Por exemplo, os agentes da categoria compostos fenólicos possuem em suas estruturas pelo menos um grupo de hidroxila (OH) ligado a um grupo de hidrocarboneto aromático. A partir dessa estrutura, sabe-se que essas moléculas possuem uma ação protetora contra processos oxidativos no organismo, ou seja, atuam como antioxidantes. Por outro lado, essa mesma estrutura pode causar queimaduras severas na pele em altas concentrações.



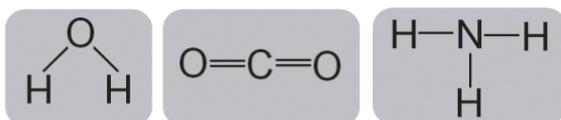
Refleta

Para você, o que é um veneno? Você já ouviu falar no postulado do alquimista Philippus Paracelsus? "Todas as substâncias são venenos; não há nenhuma que não seja um veneno. A dose certa diferencia o veneno de um remédio."

Podemos agrupar as principais categorias quanto às estruturas químicas da seguinte forma:

- **Compostos inorgânicos de oxigênio, nitrogênio e carbono:** são moléculas inorgânicas formadas por pelo menos dois elementos químicos diferentes e não apresentam uma cadeia de átomos de carbono ligada a átomos de hidrogênio. Por exemplo, a água (H₂O), o dióxido de carbono (CO₂) e a amônia (NH₃) (Figura 1.8).

Figura 1.8 | Estruturas de moléculas inorgânicas. Da esquerda para a direita: água, dióxido de carbono e amônia.



Fonte: elaborada pelo autor.

- **Hidrocarbonetos alicíclicos, alifáticos e aromáticos:** são compostos orgânicos formados obrigatoriamente por uma cadeia de átomos de carbono como “esqueleto” da molécula, ligados a átomos de hidrogênio (Figura 1.9). Temos como exemplo os derivados de petróleo.

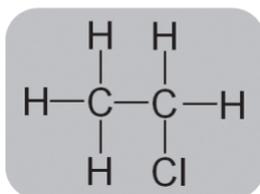
Figura 1.9 | Classificação das cadeias de carbono de um hidrocarboneto



Fonte: elaborada pelo autor.

- **Compostos halogenados:** são moléculas orgânicas formadas por hidrocarbonetos, mas com a presença de um átomo de halogênio (cloro, iodo, bromo ou flúor) ligado ao carbono (Figura 1.10).

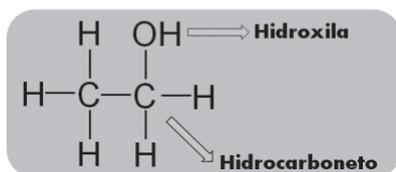
Figura 1.10 | Estrutura de um composto halogenado (cloreto de etila)



Fonte: elaborada pelo autor.

- **Álcoois, glicóis e derivados:** são moléculas orgânicas derivadas dos hidrocarbonetos com uma ou mais hidroxilas (OH) ligadas a um carbono saturado, ou seja, um carbono que possua quatro ligações simples em sua estrutura (Figura 1.11).

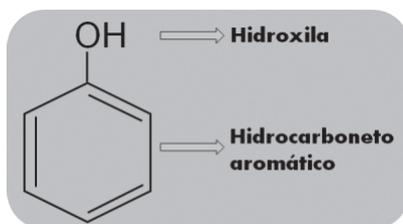
Figura 1.11 | Estrutura de uma molécula de álcool (etanol)



Fonte: elaborada pelo autor.

- **Fenóis e compostos fenólicos:** são moléculas orgânicas que possuem pelo menos um grupo de hidroxila (OH) ligado a um grupo de hidrocarboneto aromático (Figura 1.12).

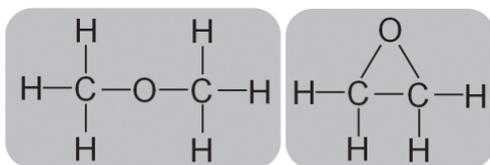
Figura 1.12 | Estrutura de uma molécula de fenol (hidroxibenzeno)



Fonte: elaborada pelo autor.

- **Éteres:** são moléculas orgânicas formadas a partir da ligação entre dois álcoois e possuem um átomo de oxigênio entre dois de carbono de um hidrocarboneto. Quando o oxigênio se encontra no meio de uma cadeia fechada (cíclica), nós o chamamos de composto epóxi (Figura 1.13).

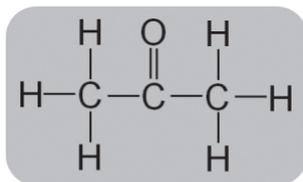
Figura 1.13 | Estrutura de uma molécula de éter (éter dimetilico - à esquerda) e epóxi (acetaldéido - à direita)



Fonte: elaborada pelo autor.

- **Cetonas:** são moléculas orgânicas que possuem o grupo de carbonila (C=O) entre dois átomos de carbono da cadeia de hidrocarboneto (Figura 1.14).

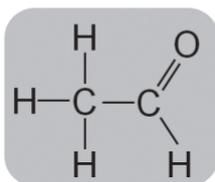
Figura 1.14 | Estrutura de uma molécula de cetona (dimetilcetona)



Fonte: elaborada pelo autor.

- **Aldeídos:** são moléculas orgânicas que possuem o grupo de formila (H-C=O) ligado ao átomo de carbono da extremidade da cadeia de hidrocarboneto (Figura 1.15).

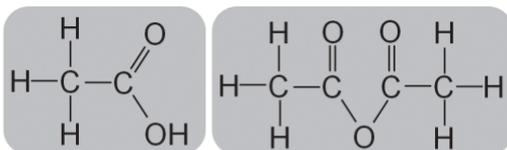
Figura 1.15 | Estrutura de uma molécula de aldeído (acetaldeído)



Fonte: elaborada pelo autor.

- **Ácidos carboxílicos:** são moléculas orgânicas derivadas dos aldeídos, e possuem o grupo de carbonila (C=O) ligado ao grupo de hidroxila (OH) de um hidrocarboneto. Quando dois ácidos reagem e se ligam, formam o anidrido (Figura 1.16).

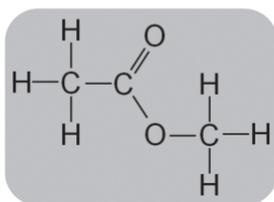
Figura 1.16 | Estrutura de uma molécula de ácido carboxílico (ácido acético - à esquerda) e anidrido (anidrido acético - à direita)



Fonte: elaborada pelo autor.

- **Ésteres:** são moléculas orgânicas derivadas dos álcoois e ácidos carboxílicos, e possuem o grupo acilato (COO) entre duas cadeias de carbono de um hidrocarboneto (Figura 1.17). Nos sistemas biológicos, grupos fosfatos (contendo fósforo) e sulfatos (contendo enxofre) podem se ligar a um grupo de hidroxila (OH) por ligações do tipo éster, formando importantes moléculas para as células, dentre elas o DNA, o RNA e o ATP.

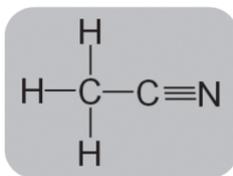
Figura 1.17 | Estrutura de uma molécula de éster (etanoato de metila)



Fonte: elaborada pelo autor.

- **Cianetos ou nitrilas:** são moléculas orgânicas com o grupo de cianeto (C=N) ligado a uma cadeia de carbonos de um hidrocarboneto (Figura 1.18).

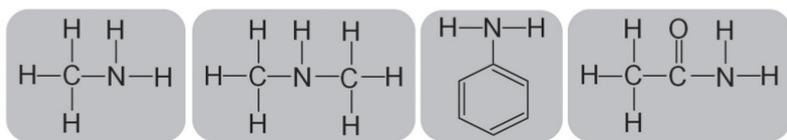
Figura 1.18 | Estrutura de uma molécula de nitrila (acetonitrila)



Fonte: elaborada pelo autor.

- **Compostos nitrogenados:** são moléculas orgânicas derivadas da amônia, e possuem o átomo de nitrogênio ligado ao carbono de um hidrocarboneto. Podem formar aminas primárias (C-NH₂), secundárias (C₂-NH) e terciárias (C₃-N); aminas aromáticas; e amidas (CO-NH₂) (Figura 1.19).

Figura 1.19 | Estrutura de moléculas nitrogenadas. Da esquerda para a direita: amina primária (metilamina), amina secundária (dimetilamina), amina aromática (anilina) e amida (acetamida)



Fonte: elaborada pelo autor.

- **Metais:** são elementos inorgânicos que ocorrem naturalmente na natureza. Em geral, são definidos pelas suas propriedades físicas, como alta refletividade (brilho); elevada condutividade elétrica e térmica; maleabilidade e; força mecânica. Os metais não podem ser criados e nem destruídos pelos humanos, portanto não são biodegradáveis, o que facilita a bioacumulação em organismos vivos. Dentre os mais conhecidos, podemos citar o arsênio, o cádmio, o chumbo, o mercúrio, o níquel, o cobre, o ferro, o zinco, o alumínio, o cromo e o manganês.

Características tóxicas

Para fornecer informações do perigo de compostos químicos à saúde humana e ambiental, os agentes tóxicos também podem ser classificados de acordo com suas propriedades toxicológicas.

Essa classificação utiliza os critérios da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 14725 - 1, 2, 3 e 4:2009, a qual se baseia no *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals* (GHS), um documento técnico desenvolvido por um comitê científico internacional que visa a instruir os países no atendimento de exigências básicas de comunicação de substâncias perigosas.

A ABNT prevê a classificação dos perigos dos agentes tóxicos ao ambiente de acordo com a **toxicidade aguda** (efeitos adversos induzidos em um curto intervalo de exposição) e **toxicidade crônica** (efeitos adversos induzidos durante o período de um ciclo de vida). Essa toxicidade é determinada pela **Concentração Efetiva Média** (CE50) ou **Concentração Letal Média** (CL50), ou seja, a concentração do composto químico que provoca algum efeito adverso ou a mortalidade em 50% dos organismos-teste expostos.



Organismos-teste: um grupo de organismos da mesma espécie considerado sensível a mudanças ambientais. Por exemplo, em um teste de toxicidade, um grupo de microcrustáceos da espécie *Daphnia magna* foi exposto a um determinado composto químico por um determinado período e, ao final, foi contado o número de organismos imóveis ou mortos, permitindo o cálculo da CE50 ou CL50, respectivamente.



As CE50 e CL50 são mundialmente utilizadas, portanto vale a pena lembrar esses conceitos. Não se esqueça: a CL50 considera o efeito mortalidade, enquanto a CE50 considera algum outro efeito adverso observado em 50% dos organismos expostos.

Podemos classificar os agentes tóxicos nas categorias apresentadas na Tabela 1.2. Entretanto, após classificar uma substância pela CL50 e CE50 por meio de ensaios em laboratório, são necessários outros testes para avaliar o real risco que as populações expostas enfrentam.

Tabela 1.2 | Classificação dos agentes tóxicos de acordo com a toxicidade

Categories	Dados toxicológicos em organismos-teste		Classificação	
Toxicidade aguda	1	Peixes, crustáceos, algas ou outras plantas aquáticas.	CE50 ou CL50 \leq 1 mg/L	Muito tóxico para a vida aquática.
	2		1 < CE50 ou CL50 \leq 10 mg/L	Tóxico para a vida aquática.
	3		10 < CE50 ou CL50 \leq 100 mg/L	Perigoso para a vida aquática.
Toxicidade crônica	1	Peixes, crustáceos, algas ou outras plantas aquáticas.	CE50 ou CL50 \leq 1 mg/L	Muito tóxico para a vida aquática, com efeitos duradouros.
	2		1 < CE50 ou CL50 \leq 10 mg/L	Tóxico para a vida aquática, com efeitos duradouros.
	3		10 < CE50 ou CL50 \leq 100 mg/L	Perigoso para a vida aquática, com efeitos duradouros.
	4	Substâncias pouco solúveis em água, sem registros de toxicidade aguda, de difícil degradação e com alto potencial de bioacumulação em organismos vivos.	Pode causar efeitos duradouros perigosos para a vida aquática.	

¹ Classificação realizada pela *Globally Harmonized System* (GHS).

Fonte: NBR 14725 (ABNT, 2009) ; GHS ST/SG/AC.10/30 (2009).



Pesquise mais

Os agentes tóxicos podem ser classificados de acordo com as suas características tóxicas. Entretanto, existem diversas especificações de acordo com as características físico-químicas dos compostos, por exemplo: os voláteis, pouco solúveis e inflamáveis. Para saber mais detalhes, leia a NBR 14725 (ABNT, 2009). Disponível em: <http://www2.iq.usp.br/pos-graduacao/images/documentos/seg_2_2013/nbr147252.pdf>. Acesso em: 23 maio 2017.



Refleta

Lembre-se que a toxicidade é uma característica inerente das substâncias químicas! Você já pensou que tudo ao seu redor possui uma toxicidade inerente?

Efeitos toxicológicos

Os agentes tóxicos também podem ser classificados de acordo com os efeitos que eles induzem nos organismos vivos. Essa classificação visa a categorizar as substâncias químicas pelo seu mecanismo de ação, ou seja, pelo efeito adverso específico que induzem. Dentre as categorias, podemos destacar os seguintes efeitos de agentes tóxicos:

- **Irritantes ou corrosivos:** capazes de danificar ou destruir o tecido da pele ou as mucosas das vias respiratórias em caso de inalação. Por exemplo, hidróxido de sódio (presente na soda cáustica) e ácidos em geral.

- **Asfixiantes:** impedem que os organismos captem o oxigênio e/ou o distribua para os tecidos. Por exemplo, o monóxido de carbono e o cianeto.

- **Neurotóxicos:** induzem efeitos adversos no sistema nervoso, causando distúrbios neurológicos e/ou comportamentais. Por exemplo, o chumbo, o mercúrio, solventes clorados e praguicidas organofosforados.

- **Alergizantes:** induzem reações imunológicas que resultam em uma sensibilização ao agente tóxico, podendo variar de reações alérgicas brandas até a sensibilizações fatais. Por exemplo, o formol.

- **Genotóxicos:** alteram o material genético. Os organismos vivos podem reparar os danos genéticos antes de serem transmitidos aos descendentes (reversíveis). Por exemplo, a nicotina e os benzo(a)pirenos.

- **Mutagênicos:** alteram o material genético, porém essas alterações não são passíveis de correção pela células (irreversíveis), se fixam no material genético e são transmitidas aos descendentes. Diversos fatores podem tornar alterações reversíveis em irreversíveis, como a concentração de um agente genotóxico e o tempo de exposição. Por exemplo, o amianto, a aflatoxina B1 (um tipo de toxina produzida por fungos do gênero *Aspergillus*) e os benzo(a)pirenos.



Refleta

Lembre-se: todo agente mutagênico é genotóxico, mas nem todo agente genotóxico é mutagênico!

- **Carcinogênicos:** alteram o material genético direta ou indiretamente, induzindo a divisão celular de forma descontrolada. Essas alterações originam o câncer. Por exemplo, alguns corantes têxteis e de cosméticos, os benzo(a)pirenos (hidrocarboneto aromático policíclico presente em fumaças de cigarro e de carvão), o tabaco e o formol.

- **Teratogênicos:** induzem efeitos adversos irreversíveis em embriões, refletindo em anomalias congênitas, dentre elas as malformações estruturais, os problemas locomotores e os distúrbios bioquímicos. Por exemplo, o medicamento talidomida e a nicotina.

- **Desreguladores endócrinos:** atuam nos organismos vivos como hormônios e alteram os níveis de hormônios endógenos e as funções fisiológicas hormonais. Esses agentes tóxicos estão relacionados com problemas reprodutivos, autoimunes e cerebrais, como o mal de Parkinson e o Alzheimer. Por exemplo,

o praguicida DDT, os parabenos (presentes em conservantes) e o bisfenol A (presente nos plásticos).



Exemplificando

O **bisfenol A** (BPA) é um desregulador endócrino semelhante ao hormônio feminino estrógeno, e está presente em plásticos e na resina epóxi, utilizada para revestir o interior de latas. Seus efeitos adversos estão relacionados com o desenvolvimento precoce da puberdade feminina, com a síndrome do ovário policístico e com a infertilidade entre homens e mulheres. Desde 2012 está proibido o uso do BPA em bicos de mamadeiras no Brasil. Além disso, recomenda-se reduzir o consumo de alimentos enlatados e evitar o aquecimento de alimentos em micro-ondas dentro de recipientes de plásticos. E é preciso ficar atento na hora de comprar um produto: se o produto contém BPA, haverá o número 7 no símbolo de reciclagem da embalagem.

Como você pode constatar, as classificações dos agentes tóxicos são muito flexíveis e por vezes se sobrepõem. É importante ter em mente que todas as classificações apresentadas aqui não são únicas, existem diversas outras. A cada nova descoberta, uma nova classificação pode surgir. Os desreguladores endócrinos, por exemplo, englobam uma categoria nova que está sendo atualmente incorporada nas regulamentações internacionais. Por isso não é necessário memorizá-las, mas volte sempre a esta seção para relembra-las quando houver dúvidas, pois iremos utilizar diversos termos apresentados aqui ao longo das unidades desta obra.

Sem medo de errar

Caro aluno,

Após estudar e entender os agentes tóxicos, você consegue auxiliar o prefeito a interpretar o relatório que contém os compostos químicos encontrados na amostra de água? O laboratório descreveu a presença de dois metais, um hidrocarboneto, um composto orgânico altamente tóxico e dois compostos mutagênicos. Após analisar esses resultados, o prefeito concluiu que se tratavam de sete substâncias diferentes.

Como vimos nesta seção, os agentes tóxicos são classificados de acordo com as suas características químicas, toxicológicas e de efeito. É importante ter em mente que tais classificações se sobrepõem, ou seja, um mesmo agente tóxico é classificado por três vezes. O erro de interpretação do prefeito ocorreu justamente pela falta deste conhecimento.

No caso apresentado, sua análise deve chegar à conclusão de que possuímos dois metais: o chumbo e o cromo; e um solvente de hidrocarboneto: o 1,2-dicloroetano. Poderíamos corrigir a tabela da seguinte forma:

Tabela 1.3 | Classificação dos agentes tóxicos de acordo com a toxicidade

Agentes tóxicos encontrados	Concentrações encontradas	Concentrações limites ¹	Tipo de efeito
Chumbo	0,005 mg/L	0,01 mg/L	Carcinogênico.
Cromo	0,001 mg/L	0,05 mg/L	Carcinogênico.
1,2-dicloroetano ²	0,009 mg/L	0,01 mg/L	Carcinogênico.

Fonte: elaborada pelo autor.

Portanto, sempre leve em consideração as diversas características dos agentes tóxicos. Aproveite para relacionar um mesmo agente tóxico em suas diferentes classificações e veja que elas serão complementares. Assim, você aumenta o seu conhecimento!

Avançando na prática

Poluente orgânico persistente (POP)

Descrição da situação-problema

Caro aluno,

Você já ouviu falar dos poluentes orgânicos persistentes (POPs)? Os POPs são substâncias de difícil degradação, e podem ser transportadas por quilômetros de distâncias via ar, água e solo.

¹ valores baseados para os padrões de qualidade Classe I – águas doces (CONAMA, 1995).

² solvente orgânico do tipo hidrocarboneto halogenado

Além disso, eles tendem a se bioacumular nos tecidos de gordura dos organismos vivos. Curiosamente, cientistas já encontraram os POPs em esquimós que vivem no polo Norte. Isso acontece porque os efluentes industriais contendo POPs são despejados nos rios, que desaguam nos mares e permitem que essas substâncias viagem pelas correntezas até os Polos e contaminem as focas e leões marinhos que vivem ali. Como a dieta alimentar dos esquimós inclui esses animais, esses habitantes são consequentemente contaminados.

A Convenção de Estocolmo sobre POPs que ocorreu na Suécia em 2001 determinou que os países participantes adotassem medidas de controle da produção, uso e destino final dos POPs. Infelizmente, a grande dificuldade é que essas substâncias são aplicadas em diversos produtos industrializados, como plásticos de embalagens, brinquedos e alimentos, materiais de construção civil, e por indústrias de celulose no branqueamento do papel, em produtos agrícolas, além de serem largamente utilizadas como solventes por diversas outras indústrias.

Com base nessas informações e sabendo que o solvente orgânico 1,2-dicloroetano é um POP, quais iniciativas você e seus colegas consultores proporia ao prefeito de Barreiras? Quais populações estão em risco de se contaminarem?



Assimile

Lembra-se que após um agente tóxico ser absorvido pelo organismo, na fase da toxicocinética, ele pode ser distribuído, biotransformado, eliminado ou armazenado? O principal tecido-alvo desse armazenamento é o adiposo.

Resolução da situação-problema

Em primeiro lugar, é preciso alertar o prefeito sobre os POPs e suas consequências toxicológicas. Dentre os efeitos tóxicos que os POPs induzem, podemos destacar os efeitos neurotóxicos, carcinogênicos, desreguladores endócrinos e os responsáveis pelas alterações do sistema imunológico e reprodutivo. Portanto, sugira

ao prefeito que adote uma política para controlar o lançamento de efluentes das indústrias locais e incentive a substituição dos POPs por substâncias químicas não persistentes quando possível.

Infelizmente, é impossível acabar com os POPs presentes no ambiente, pois, como você aprendeu, eles são vastamente utilizados e não se degradam ao serem lançados nos rios receptores de efluentes. Estudos já mostraram que todos nós possuímos POPs armazenados em nosso corpo. Não é preciso morar ao lado de uma indústria para se contaminar com eles, o que justifica a presença de POPs em esquimós do Polo Norte.

Faça valer a pena

1. Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH) são compostos orgânicos formados pela combustão incompleta de matéria orgânica, sendo encontrados na fumaça do cigarro e do carvão. Sabe-se que um dos seus efeitos adversos é a alteração do material genético de forma irreversível.

Com base no texto, podemos afirmar que os PAH são:

- a) Alergizantes.
- b) Desreguladores endócrinos.
- c) Teratogênicos.
- d) Neurotóxicos.
- e) Carcinogênicos.

2. Em uma indústria de galvanoplastia em crescimento, o gerente do local está desenvolvendo um novo produto e, preocupado com o seu efluente industrial, enviou amostras de um composto presente nesse produto para um laboratório, a fim de testar a toxicidade aguda. Após alguns dias, recebeu os seguintes resultados:

Teste 1 – organismo-teste: microcrustáceo (*Daphnia magna*), CL50 = 0,1 mg/L.

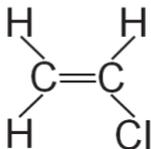
Teste 2 – organismo-teste: peixe (*Danio rerio*), CL50 = 10 mg/L.

Teste 3 – organismo-teste: alga (*Chlorella vulgaris*), CL50 = 0,003 mg/L.

Podemos afirmar que:

- a) O peixe foi o organismo mais sensível ao composto químico, com o maior valor de CL50.
- b) O composto químico foi pouco tóxico para a alga, tendo o menor valor de CL50.
- c) O microcrustáceo apresentou a menor sensibilidade ao composto químico.
- d) O peixe foi o organismo menos sensível ao composto químico, com o maior valor de CL50.
- e) O composto químico foi muito tóxico para a alga, tendo o maior valor de CL50.

3. O cloreto de vinila (CV) é um composto fabricado em todo o mundo devido à sua alta aplicabilidade para a produção dos polímeros PVC, aplicados na construção civil, na arquitetura, em obras de saneamento básico, em revestimentos de carros e em brinquedos, entre outros usos. Segundo a *Environmental Protection Agency* (US EPA), a exposição prolongada ao CV pode causar problemas no fígado e câncer.



Podemos afirmar que se trata de uma estrutura molecular de:

- a) Hidrocarboneto halogenado.
- b) Éster.
- c) Cianeto.
- d) Metal.
- e) Ácido carboxílico.

Seção 1.3

Legislação sobre toxicologia e poluentes ambientais

Diálogo aberto

Caro aluno,

Com a evolução do desenvolvimento socioeconômico, a poluição ambiental aumentou progressivamente. Após a Segunda Guerra Mundial, no século XX, a produção de novas substâncias aumentou drasticamente, e esse processo trouxe diversos problemas à saúde dos humanos. O número de intoxicações era alto e diversos animais começaram a morrer. Nesse momento, havia uma preocupação mundial com a poluição desenfreada, e as legislações que instituíam normas para a qualidade ambiental se tornaram mais rígidas. Esse foi um momento importante para a toxicologia ambiental! Hoje, diversos estudos ambientais são realizados por órgãos especializados em criar e revisar as legislações ambientais.

Agora iremos retomar o seu trabalho na empresa de consultoria! Lembre-se que você e seus colegas de trabalho auxiliaram o prefeito de Barreiras a interpretar o relatório contendo os níveis dos compostos químicos encontrados no Rio Grande. Para finalizar essa primeira jornada do trabalho, o prefeito solicitou que você e os demais consultores consultassem a legislação vigente e a aplicassem na área em estudo de acordo com os problemas encontrados. Levando em conta que as indústrias próximas à área em estudo emitem diversos gases e lançam grandes volumes de efluentes nos corpos hídricos, quais das principais legislações em vigência vocês recomendariam ao prefeito?

Após o levantamento da legislação vigente, não deixe de organizar suas ideias bem como os aspectos levantados nas seções anteriores para finalizar sua análise da área contaminada e a identificação de agentes tóxicos para o prefeito de Barreiras.

Para ajudá-lo, vamos abordar a seguir as principais leis, resoluções e normas brasileiras vigentes para a toxicologia ambiental. Ao final da seção, iremos treinar a aplicação dessas legislações em estudos de caso.

Vamos lá?

Não pode faltar

Ao longo da história do Brasil, inúmeras medidas legais para a proteção do ambiente foram adotadas, entretanto somente após a 1ª Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente, realizada em 1971 na cidade de Estocolmo, na Suécia, a legislação federal brasileira adotou medidas mais efetivas. Nesta conferência foi aprovada a Declaração Universal do Meio Ambiente, que declarava a conservação dos recursos naturais, como a água, o solo, o ar, a flora e a fauna e, para isso, cada país deveria regulamentar as medidas necessárias em suas legislações.

Em 1981, foi criada a **Política Nacional do Meio Ambiente** pela **Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981**, regulamentada pelo **Decreto 99.274, de 6 de junho de 1990**. Esse foi o primeiro grande marco de proteção ambiental, e a lei foi assegurada mais tarde pela Constituição de 1988. Desta forma, o ambiente passava a ser um bem protegido constitucionalmente. A lei objetiva a preservação, a melhoria e a recuperação da qualidade ambiental. Dentre seus princípios está o controle das atividades poluidoras, que estipula que o poluidor é obrigado a recuperar ou indenizar os danos causados ao ambiente, independentemente da existência de culpa.



Vocabulário

Poluidor: "Pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental."



Poluição: "Degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos."

Fonte: Brasil (1981).

Além disso, a Política Nacional do Meio Ambiente estruturou o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), formado por seis órgãos, dentre eles o Conselho de Governo, que assessorava o chefe do Poder Executivo; o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que propõe ao Conselho do Governo as diretrizes políticas para um ambiente saudável e estabelece padrões para o controle da poluição e do licenciamento ambiental; e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, que executam e fazem executar as normas determinadas para o ambiente.



Pesquise mais

A Lei dos Crimes Ambientais (**Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**) dispõe sobre as sanções penais e administrativas aos poluidores que causem ou possam causar danos à saúde humana e ambiental. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=320>>. Acesso em: 23 maio 2017.

Em 1989, foram estabelecidas as normas para os **resíduos e embalagens de agrotóxicos** pela **Lei 7.802, de 11 de julho de 1989**. A lei dispôs sobre a pesquisa, o registro, a classificação toxicológica, a produção, a embalagem, a rotulagem, a comercialização, o transporte, o armazenamento, a propaganda, a utilização, a fiscalização e o destino final dos resíduos e embalagens.

O registro dos agrotóxicos torna-se obrigatório e é concedido quando a toxicidade do produto para a saúde humana e ambiental é menor ou igual à de outros produtos já registrados para a mesma finalidade. No entanto, é proibido o registro de agrotóxicos contendo substâncias teratogênicas, mutagênicas, carcinogênicas ou desreguladores endócrinos. Vale lembrar que o agrotóxico diclorodifeniltricloreto (DDT) foi proibido no Brasil com a Lei 11.936, de 14 de maio de 2009, devido a seus efeitos carcinogênicos, neurotóxicos e desreguladores endócrinos. A classificação toxicológica dos agrotóxicos deve aparecer no rótulo e na bula, junto com as instruções, precauções e efeitos tóxicos para o ser humano e para o ambiente. Além disso, todas as embalagens vazias devem ser retornadas aos estabelecimentos em que foram adquiridas ou aos postos de recolhimento.

Em 1993, a **Lei 8.723, de 28 de outubro de 1993** instituiu a **redução de emissão de poluentes por veículos automotores**. Ela integra a Política Nacional de Meio Ambiente, e obriga os fabricantes de automotores e combustíveis a reduzirem a emissão de poluentes por veículos comercializados no país (Tabela 1.4).

Em 1997, foi instituída a **Política Nacional dos Recursos Hídricos** pela **Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997**, visando a assegurar a qualidade da água. Essa legislação também criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, o qual coordena a gestão das águas. Ele é formado por seis órgãos, dentre eles a Agência Nacional de Águas (ANA), incluída pela **Lei 9.984, de 17 de julho de 2000**, encarregada de supervisionar o cumprimento da legislação federal e outorgar o direito de uso dos recursos hídricos.

Em 2003, a **Lei 9.996, de 28 de abril de 2000**, estabeleceu a prevenção, controle e fiscalização de lançamento de óleo em Águas, regulamentada pelo **Decreto 4.871, de 6 de novembro de 2003**. Ela visa a conter a poluição por lançamento de óleos e outros agentes nocivos em portos, instalações portuárias, plataformas e navios em águas do território nacional. Os portos e plataformas são obrigatoriamente equipados com instalações para tratar diversos tipos de resíduos e fica proibido o lançamento de substâncias de alto risco para a saúde humana e ambiental em águas do território nacional.

Em 2010, a **Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010** instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, regulamentada pelo **Decreto 7.404, de 23 de dezembro de 2010**. Ela visa à gestão adequada dos resíduos sólidos e estabelece uma ordem de prioridades a seguir: 1) não geração, 2) redução, 3) reutilização, 4) reciclagem, 5) tratamento e 6) disposição final adequada em aterros. A implementação de um plano de gerenciamento é de responsabilidade das pessoas físicas ou jurídicas e, em casos de lesões ambientais causadas pelos resíduos, os responsáveis devem ressarcir integralmente o Poder Público pelos gastos com contenção e/ou minimização dos danos.



Resíduos sólidos: “Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água [...]”. Fonte: Brasil (2010). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 31 maio 2017.

Para se trabalhar com os resíduos perigosos, é preciso reduzir o volume e o risco de contaminação. No caso de resíduos provindos de agrotóxicos, pilhas, baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas fluorescentes e produtos eletroeletrônicos, os fabricantes são obrigados a implementar a logística reversa, ou seja, restituem os resíduos sólidos ao setor empresarial.

Algumas disposições finais dos resíduos sólidos são consideradas ambientalmente inadequadas e, portanto, são **proibidas**, dentre elas: seu lançamento direto em praias, mares e quaisquer corpos hídricos; o lançamento in natura a céu aberto, exceto o lançamento de resíduos de mineração; e sua queima a céu aberto ou em instalações não licenciadas.



Você já parou para pensar no ciclo de um produto desde sua origem até o seu descarte? E como esse descarte é realizado?

O curta-metragem *Ilha das Flores* (1988) é um documentário brasileiro que reflete sobre a situação do lixo depositado na Ilha das Flores, a poucos quilômetros de Porto Alegre. Para saber mais, assista ao vídeo disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=e7sD6mdXUyg>>. Acesso em: 24 maio 2017.

O CONAMA é o órgão federal responsável pelo estabelecimento de resoluções para o licenciamento e para o controle da poluição ambiental. As resoluções do CONAMA instituem padrões de poluição, ou seja, limites máximos de emissão de poluentes para

fontes de poluição. A seguir, abordaremos a principais resoluções para o controle da poluição ambiental. Porém, lembre-se que existem as normas específicas de cada Estado, muitas vezes mais restritivas do que as normas federais.



Assimile

Algumas normas estaduais diferem das federais. Por exemplo, o Decreto Estadual 8.468/76 e a Resolução CONAMA 357/05 diferem quanto à classificação dos corpos de água e dos padrões de qualidade. A Resolução CONAMA 430/2011, no art 3, prevê que o órgão ambiental competente poderá "acrescentar outras condições e padrões para o lançamento de efluentes, ou torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições do corpo receptor." (BRASIL, 2011, art. 3).

Essa observação é importante para você saiba que cada estado pode estabelecer padrões próprios.

A preocupação com a emissão de poluentes atmosféricos teve início com o crescimento urbano acelerado e com a expansão industrial, junto com o aumento da frota de veículos automotores. Como consequência, houve um aumento progressivo da poluição atmosférica, especialmente nas regiões metropolitanas. Para que as cidades evitassem ou reestabelecessem o controle da poluição atmosférica, em 1989, foi criada a **Resolução CONAMA 5, de 15 de junho de 1989**, que instituiu o **Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar** (Pronar), que tem como objetivo o desenvolvimento econômico e social do país de forma segura para o ambiente, a melhoria da qualidade do ar e a manutenção de áreas não degradadas antropicamente.



Vocabulário



Poluente atmosférico: "Qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;

II - inconveniente ao bem-estar público;

III - danoso aos materiais, à fauna e flora.

IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade".

Fonte: Brasil (1990).

Essa resolução criou os padrões primário e secundário de qualidade do ar e a **Resolução CONAMA 3, de 28 de junho de 1990** estabeleceu os níveis de cada padrão, assim como o plano de emergência para episódios críticos de poluição do ar (Tabela 1.4) para prevenir graves riscos à saúde da população.

Tabela 1.4 | Médias dos níveis de padrões de qualidade do ar (secundário e primário) e do plano de emergência para episódios críticos de poluição do ar (atenção, alerta e emergência)

Poluentes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão secundário ¹	Padrão primário ¹	Atenção	Alerta	Emergência
Fumaça ²	40	60	250	420	500
Partícula total em suspensão ²	60	80	625	625	875
Partículas Inaláveis ²	50	50	250	420	500
Dióxido de enxofre ²	40	80	800	1600	2100
Ozônio ³	160	160	400	800	1000
Dióxido de nitrogênio ³	190	320	1130	2260	3000
Monóxido de carbono ⁴	10000	10000	17000	34000	46000

Fonte: Brasil (1990).

Outras resoluções específicas do CONAMA definem os padrões de qualidade do ar para a emissão de poluentes atmosféricos por veículos automotores (Resolução 7, de 31 de agosto de 1993; Resolução 8, de 31 de agosto de 1993; Resolução 15, de 13 de dezembro de 1995; Resolução 297, de 26 de fevereiro de 2002) e por fontes fixas (Resolução 8, de 6 de dezembro de 1990; Resolução 382, de 26 de dezembro de 2006; Resolução 436, de 22 de dezembro de 2011).

A crescente urbanização e industrialização também aumentou a geração de resíduos sólidos. O CONAMA instituiu o **gerenciamento de resíduos sólidos** para portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários (**Resolução CONAMA 5, de 5 de agosto de 1993**), e serviços de saúde (**Resolução CONAMA 358, de 29 de abril de 2005**). Os resíduos sólidos são classificados de acordo com a

¹ Valores não devem ser excedidos mais de uma vez ao ano. ² Valores diários.

³ Valores por hora. ⁴ Valores em 8 h.

periculosidade de cada um (Tabela 1.5). Cabe às fontes poluidoras gerenciar os resíduos desde a sua geração até a disposição final, de forma a atender aos requisitos para cada grupo.

Tabela 1.5 | Classificação dos resíduos sólidos de acordo com a periculosidade

Classes	Características
Grupo A	Presença de agentes biológicos com risco potencial à saúde humana e ambiental.
Grupo B	Características químicas com risco potencial à saúde humana e ambiental.
Grupo C	Rejeitos radioativos (Resolução CNEN 6.05).
Grupo D	Demais que não se enquadram nos grupos descritos anteriormente.
Grupo E	Materiais perfurocortantes (apenas para serviços de saúde).

Fonte: Brasil (1993; 2005).

Em 2005, devido às grandes implicações econômicas e ambientais causadas pela poluição hídrica, e considerando a Convenção de Estocolmo de 2001, que trata dos POPs, e a instituição do controle de lançamento de efluentes da Política Nacional do Meio Ambiente, além da Política Nacional dos Recursos Hídricos, o CONAMA criou a **Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005**, alterada e complementada pela **Resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011**. Ela dispõe sobre a classificação dos corpos de água superficiais (Tabela 1.6), além de estabelecer os padrões para cada classe e para o lançamento de efluentes nos corpos de águas receptoras. Fica determinado que qualquer fonte poluidora deverá tratar devidamente os seus efluentes antes de lançá-los nos corpos receptores. Para o descarte de águas de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, fica estabelecida a **Resolução CONAMA 393, de 8 de agosto de 2007**.

Tabela 1.6 | Classificação das águas doces em território nacional

Uso das águas doces	Especial	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	X				

Proteção das comunidades aquáticas		X	X		
Abastecimento para consumo humano após tratamento	desinfecção	tratamento simples	tratamento convencional	tratamento avançado	
Recreação		contato primário	contato primário	contato secundário	
Aquicultura			X		
Pesca			X	X	
Irrigação 1		X	X	X	
Dessedentação de animais				X	
Navegação					X
Harmonia paisagística					X

Fonte: Brasil (2005).



Pesquise mais

Lembre-se: existem diferentes tipos de corpos de água! Para saber sobre as classificações das águas salobras e salgadas, consulte a Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 24 maio 2017.

Para saber mais sobre a classificação das águas subterrâneas, consulte a Resolução CONAMA 396, de 3 de abril de 2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 24 maio 2017.

A qualidade do solo foi considerada, em 2009, com a Resolução CONAMA 420, de 28 de dezembro de 2009, alterada pela Resolução CONAMA 460, de 30 de dezembro de 2013, devido à necessidade de prevenir a contaminação do subsolo e das reservas de águas subterrâneas. Ela estabelece os padrões de qualidade do solo e as diretrizes para o gerenciamento de áreas antropicamente contaminadas. De acordo com essa resolução, os

¹ Especificações detalhadas sobre os tipos de vegetação na Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005.

padrões de qualidade do solo são baseados no valor de referência de qualidade (VRQ), ou seja, na qualidade natural do solo. Já a disposição de resíduos e efluentes não pode ultrapassar o valor de prevenção (VP), ou seja, a concentração limite para o solo manter suas principais funções. A concentração dos resíduos no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos à saúde humana foi estabelecida como valor de investigação (VI). Desta forma, os solos são enquadrados em quatro classes (Tabela 1.7).

Tabela 1.7 | Classificação dos resíduos sólidos de acordo com a periculosidade

Classes	Características
Classe 1	Concentrações das substâncias químicas \geq VRQ.
Classe 2	Concentrações de uma ou mais substâncias químicas $>$ VRQ e \leq VP.
Classe 3	Concentrações de uma ou mais substâncias químicas $>$ VP e \leq VI.
Classe 4	Concentrações de uma ou mais substâncias químicas $>$ VI.

Fonte: Brasil (2009).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é uma entidade sem fins lucrativos fundada em 1940. Ela é responsável pela elaboração de Normas Brasileiras (ABNT NBR) e pelo fornecimento de informações necessárias para o desenvolvimento tecnológico. É membro fundador da *International Organization for Standardization* (ISO), representando essa instituição no Brasil. Dentre as principais normas, a ABNT determinou a série de normas **ABNT NBR ISO 14000**, que estabelece o **Sistema de Gestão Ambiental** (SGA) (Tabela 1.8). Essas normas são destinadas às organizações que buscam gerenciar as responsabilidades ambientais e a sustentabilidade, de forma que haja um equilíbrio entre a proteção ambiental e o desenvolvimento socioeconômico.

Tabela 1.8 | Normas da ABNT para o Sistema de Gestão Ambiental

ABNT NBR ISO	Objetivo
14001:2015	Normas para implementar o SGA, redução de custos com matérias-primas e resíduos.
14004:2005	Orientação para a empresa incorporar, implementar e melhorar o SGA.
14005:2012	Orientação para pequenas e médias empresas incorporarem, implementarem e melhorarem o SGA.

14006:2014	Normas para incorporar o ecodesign.
14020:2002	Normas para rotulagem ambiental (características ambientais dos produtos das empresas).
14031:2015	Normas para medir, analisar e definir o desempenho ambiental e assegurar o SGA.
14040:2009	Normas para a análise do ciclo de vida (impacto dos produtos para o ambiente).
14064:2007	Normas para quantificar e comunicar emissões e compensações de gases do efeito estufa.

Fonte: adaptada de <<http://www.abntcatalogo.com.br/>>. Acesso em: 24 maio 2017.

Para facilitar a **identificação da periculosidade** dos compostos químicos e adotar medidas de segurança no gerenciamento dos riscos, a Conferência da Organização das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92) sugeriu a harmonização de um sistema de classificação, motivando a criação do *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals* (GHS). Conforme vimos na Seção 1.2, a ABNT também incorporou a classificação GHS em suas normas. Essa série de normas **ABNT NBR 14725** está dividida em quatro partes (Tabela 1.9) e auxilia na normalização dos perigos dos agentes tóxicos.

Tabela 1.9 | Normas da ABNT para as informações de segurança de produtos químicos

ABNT NBR	Título geral
14725-1:2009	Produtos químicos - informações sobre segurança, saúde e meio ambiente. Parte 1: terminologia.
14725-2:2009	Produtos químicos - informações sobre segurança, saúde e meio ambiente. Parte 2: sistema de classificação de perigo.
14725-3:2012	Produtos químicos - informações sobre segurança, saúde e meio ambiente. Parte 3: rotulagem.
14725-4:2009	Produtos químicos - informações sobre segurança, saúde e meio ambiente. Parte 4: ficha de informação de segurança de produtos químicos (FISPQ).

Fonte: adaptada de <<http://www.abntcatalogo.com.br/>>. Acesso em: 24 maio 2017.

E para que os compostos químicos sejam classificados de acordo com a toxicidade inerente, a ABNT lançou diversas normas para **testes ecotoxicológicos** (Tabela 1.10). O organismo-teste é escolhido de acordo com o tipo de composto e com o local de

avaliação, e permanece exposto à substância por períodos curtos (toxicidade aguda) ou longos (toxicidade crônica). A toxicidade é então determinada pela CE50 ou CL50, permitindo a sua classificação no GHS.

Tabela 1.10 | Normas da ABNT para ensaios ecotoxicológicos

Organismos testes	Norma ABNT NBR
Peixe (Cyprinidae)	15088:2016 e 15499:2016
Minhoca (Lumbricidae)	15537:2014
Ouriço-do-mar (Echinodermata)	15350:2012
Embriões de bivalve (Mollusca)	16456:2016
Alga (Chlorophyceae)tt	12648:2011
Microalga marinha	16181:2013
Bactéria luminescente (Vibrio fischeri)	15411-1:2012; 15411-2:2012 e 15411-3:2012
Anfipodos marinho e estuarino	15638:2016
Hyalella spp (Amphipoda)	15470:2013
Daphnia sp (Crustacea)	12713:2016 e 13373:2017
Misídeo (Crustacea)	ISO 15799:2011
Artemia sp (Crustacea)	16530:2016

Fonte: adaptada de <<http://www.abntcatalogo.com.br/>>. Acesso em: 24 maio 2017.

Estudos de caso

2015, rompimento da barragem de Mariana

Infelizmente, esse foi o acidente de maior impacto ambiental já ocorrido no Brasil. Em novembro de 2015, a barragem da Samarco Mineração S.A., a 35 km de Mariana (MG), se rompeu e liberou 62 milhões de metros cúbicos de lama. Essa barragem acomodava os rejeitos da extração do minério de ferro. Ao atingir o Rio Doce, a lama percorreu mais de 650 km até à foz do rio, no litoral do Espírito Santo. A bacia hidrográfica abastece 12 municípios da região, o que afetou cerca de 424.000 pessoas.

Além do impacto ambiental físico pela passagem da lama, que degradou o solo, o acidente assoreou os rios e matou diversos

organismos, foram encontradas substâncias inorgânicas em quantidades acima dos níveis permitidos. Análises laboratoriais mostraram a presença dos metais ferro, manganês e sílica. De acordo com a ANA, a passagem da lama revolveu o sedimento do fundo dos rios e suspendeu um sedimento contaminado com metais de mineradoras do passado, liberando em altas quantidades alumínio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio e níquel (Tabela 1.11).

Tabela 1.11 | Concentrações (mg/L) registradas de metais no trecho mineiro do Rio Doce

Metais	Antes do evento ¹	Após o evento ²	Limite Classe ²
Arsênio total	0,010	0,108	<0,010
Cádmio total	0,001	0,035	<0,001
Chumbo total	0,023	1,650	<0,010
Cobre dissolvido	0,411	0,675	<0,009
Cromo total	0,070	2,863	<0,050
Mercúrio total	0,200	0,293	<0,0002
Níquel total	0,014	2,280	<0,025

Fonte: Agência nacional de águas (2015).

Em dezembro, novas análises indicaram que os valores de manganês, arsênio e chumbo permaneciam acima dos valores preconizados pelo CONAMA (Resolução 357/2005). Esses metais são tóxicos para a saúde humana a longo prazo, ou seja, possuem efeito tóxico em exposições crônicas. Por exemplo, o arsênio é um composto carcinogênico, neurotóxico e teratogênico facilmente absorvido via gastrointestinal. Ao atingir a corrente sanguínea, esse metal liga-se principalmente às hemoglobinas e é distribuído para diferentes órgãos, como cérebro, rins e fígado, e pode se acumular nos tecidos ósseos e queratinizados (pele, unhas e cabelo) ou passar para o feto.

1983: Cubatão e o "Vale da Morte"

Na década de 50, o governador Juscelino Kubitschek iniciou a aceleração industrial do município de Cubatão, a 40 Km da cidade

¹ Valor máximo já mensurado antes do acidente. ² Valor máximo mensurado entre 2 a 13 dias após o acidente.

de São Paulo, na época conhecido como paraíso verde. Com o *boom* industrial, Cubatão se transformou em uma das cidades mais ricas do Brasil. Na década de 80, mais de 1000 toneladas de poluentes atmosféricos foram lançados diariamente ao ambiente. Diversos animais sumiram, especialmente aves e peixes, e, com relação aos seres humanos, os problemas respiratórios e a mortalidade infantil eram altos. Os moradores foram contaminados com chumbo e 1/3 da população estava contaminada com óxidos de nitrogênio e de enxofre. Cubatão ficou conhecido como “Vale da Morte”, e foi apontado como o município mais poluído do mundo.



Exemplificando

Os **óxidos de nitrogênio** são compostos lipofílicos. Quando absorvidos pela via inalatória, eles atravessam as membranas celulares dos alvéolos pulmonares e podem causar a morte por asfixia, além de induzirem edemas pulmonares.

Para conter a poluição desenfreada, em 1983, o governo do estado de São Paulo convocou a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para que mapeasse e estudasse a poluição no ar, na água e no solo da região, e implantou um programa de controle de poluição para a recuperação da área. O objetivo era reduzir a poluição a níveis aceitáveis em prazos pré-estabelecidos. O Plano de Ação de Emergência do governo federal, juntamente com o Programa de Gerenciamento de Riscos, contribuiu para uma drástica diminuição dos poluentes.

As indústrias locais instalaram equipamentos mais eficientes, como filtros em chaminés. A indústria da Rhodia (Rhone-Poulenc) foi autuada e posteriormente fechada devido ao descumprimento contínuo das normas de gerenciamento de resíduos sólidos, escavando “lixões” clandestinos em Cubatão, São Vicente e Itanhaém. Em 1992, Cubatão recebeu o título de “cidade-símbolo da recuperação ambiental” da Organização das Nações Unidas (ONU).

Agora, que tal você exercitar a aplicação das legislações brasileiras em outros estudos de caso? Infelizmente, diversos desastres ambientais já aconteceram no Brasil. Procure uma notícia sobre um caso e pratique o que você aprendeu conosco!

Sem medo de errar

Caro aluno,

Agora que você estudou a legislação ambiental brasileira, vamos voltar ao seu trabalho na consultoria? O prefeito pediu para que você e seus colegas consultores o auxiliassem a aplicar a legislação brasileira vigente na área em estudo, ajudando-o a finalizar sua análise de área contaminada e a identificação de agentes tóxicos.

Levando em conta que as indústrias próximas a essa área lançam diversos poluentes atmosféricos, você e seus colegas poderiam sugerir ao prefeito a aplicação da Resolução CONAMA sobre o controle de poluição atmosférica, que estabelece limites de emissão de poluentes atmosféricos (Resolução 5/1989) e da Resolução CONAMA que estabelece os níveis dos padrões de qualidade do ar (Resolução 3/1990). Através dessas resoluções, juntamente com um estudo das concentrações de poluentes atmosféricos na área, seria possível verificar a classificação do local e mapear as fontes poluidoras, o que permitiria implementar um plano de gerenciamento e metas de redução de poluição. Lembre-se que existem outras resoluções do CONAMA específicas que estabelecem padrões de emissão de poluição atmosférica por fontes fixas, portanto será preciso consultá-las também (Resolução 8/1990; Resolução 382/2006; Resolução 436/2011).

Outra informação relevante é que as indústrias locais lançam seus efluentes no Rio Grande. Agora, você e seus colegas poderiam sugerir a aplicação das Resoluções CONAMA que estabelecem os padrões e a classificação das águas superficiais, assim como os padrões para o lançamento de efluentes (Resolução 357/2005, alterada pela Resolução 430/2011). Aqui também se aplica a criação de um plano para reduzir os poluentes hídricos após a análise da concentração de substâncias em amostras de água. Vale lembrar que as indústrias são obrigadas a submeter os efluentes a processos de tratamentos adequados antes de lançá-los ao Rio Grande.

Após o envio de amostras a um laboratório especializado para a quantificação das substâncias presentes e a avaliação

ecotoxicológica, recomende ao prefeito as normas ABNT, pois a classificação da periculosidade no Brasil é realizada em testes preconizados por essa entidade.

Para concluir a primeira fase de identificação dos agentes tóxicos na área em estudo, você e seus colegas de trabalho elaborarão um relatório técnico ambiental ao prefeito de Barreiras. Esse relatório deve conter algumas informações básicas, como a caracterização do local em estudo, a identificação das emissões (efluentes líquidos, emissões atmosféricas, resíduos sólidos), a classificação dos poluentes e as considerações finais baseadas nas legislações que você conheceu. Aplique seus conhecimentos prévios e use sua criatividade! Adeque o relatório às normas da ABNT e não hesite em utilizar informações e esquemas fictícios. Como você faria a análise do local?

Avançando na prática

Poluição atmosférica em Cubatão

Descrição da situação-problema

Para assimilar os conteúdos abordados nesta seção, vamos exercitar um pouco mais seus conhecimentos? Alguns tipos de poluição, por circularem na atmosfera, têm consequências globais, sendo que seus efeitos se estendem para muito além das fontes poluidoras. Por exemplo, os óxidos de nitrogênio e de enxofre, como aqueles lançados no ar pelas indústrias de Cubatão, na década de 80, são capazes de reagir na atmosfera e formar outras moléculas, muitas vezes mais tóxicas que a molécula inicial. Elas provocam danos na camada de ozônio e a formação da chuva ácida.

Agora, imagine-se trabalhando em Cubatão. O município ainda enfrenta problemas com a poluição atmosférica acima do recomendado, apesar dos programas de controle de poluição implementados. Conforme estabelecido pela Resolução CONAMA 5/1989, e pela Resolução CONAMA 3/1990, diversos agentes tóxicos lançados na atmosfera são quantificados e enquadrados em determinadas classes de padrões fixos. Sabendo disso, e

levando em conta que existem milhares de áreas industriais, que procedimentos você, como engenheiro, escolheria para prevenir a poluição ambiental?

Resolução da situação-problema

O diagnóstico da situação local deve ser realizado de forma adequada, em laboratórios especializados e credenciados, de acordo com as normas e resoluções responsáveis. Após o enquadramento do local, e antes mesmo de implementar um novo programa para a redução dos poluentes, é importante lembrar que as poluições hídrica e atmosférica, em especial, podem viajar milhares de quilômetros de distância do local de origem e causar efeitos adversos e impactos ambientais em diferentes áreas, mesmo distantes do local em que foram lançadas.

Portanto, é importante ter em mente que muitas vezes a poluição não está próxima do local de origem. Na situação-problema levantada, o monitoramento ambiental faz-se necessário para um programa de redução de poluentes, entretanto é preciso fazer um estudo para localizar as principais fontes poluidoras que causam o aumento dos níveis de poluentes atmosféricos, e entender como esses poluentes se comportam no ambiente em que se encontram.

Faça valer a pena

1. Conforme a Lei 6.938/1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, analise as afirmações a seguir:

I. O Poder Executivo incentiva o desenvolvimento de pesquisas destinadas a reduzir a degradação da qualidade ambiental.

II. A Política Nacional do Meio Ambiente visa ao uso racional de recursos ambientais.

III. O poluidor fica com a obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos ambientais causados.

É correto afirmar que:

- a) As afirmações I e III são corretas.
- b) As afirmações II e III são corretas.
- c) A afirmação III está correta.

d) As afirmações I e II são corretas.

e) As afirmações I e III estão corretas.

2. Com relação às leis que regem a toxicologia ambiental, analise as afirmações a seguir:

I. Poluidor é a pessoa física ou jurídica responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental.

II. A responsabilidade de arcar com as reparações e/ou indenizações de um acidente ambiental é do poluidor, desde que comprovada a existência da culpa.

III. Poluente atmosférico é qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos.

É correto afirmar que:

a) Apenas as afirmativas I e II estão corretas.

b) Apenas as afirmativas I e III estão corretas.

c) Apenas a afirmativa I está correta.

d) Apenas as afirmativas II e III estão corretas.

e) Apenas a afirmativa III está correta.

3. De acordo com a Lei Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010), analise as assertivas a seguir:

I. Existem duas classes de resíduos sólidos: quanto à origem e periculosidade.

II. É proibido o lançamento in natura de resíduos sólidos a céu aberto, exceto resíduos de mineração.

III. A implementação do plano de gerenciamento é de responsabilidade do Poder Público.

É correto afirmar que:

a) As afirmações I e II estão corretas.

b) As afirmações II e III estão corretas.

c) A afirmação II está correta.

d) A afirmação III está correta.

e) As afirmações I e III estão corretas.

Referências

Agência Nacional de Águas. Encarte especial sobre a Bacia do Rio Doce. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/ckfinder/files/EncarteRioDoce_2016.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14725-1**. Produtos químicos - Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente, parte 1: terminologia, 2009.

_____. **NBR ISO 14725-2**. Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente, parte 2: sistema de classificação de perigo, 2009.

_____. **NBR ISO 14725-4**. Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente, parte 4: ficha de informações de segurança de produtos químicos (FISPQ), 2009.

_____. **NBR ISO 14725-3**. Produtos químicos — Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente, parte 3: rotulagem, 2012.

_____. **NBR ISO 14001**. Introdução à ABNT. 2015.

BRASIL. **Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. **Lei Federal nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9605.htm>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. **Lei Federal nº 7.802, de 11 de julho de 1989**. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7802.htm>. Acesso em: 24 maio 2017..

_____. **Lei Federal nº 11.936, de 14 de maio de 2009**. Proíbe a fabricação, a importação, a exportação, a manutenção em estoque, a comercialização e o uso de diclorodifeniltricloreto (DDT) e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/Lei/L11936.htm>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. **Lei Federal nº 8.723, de 28 de outubro de 1993**. Dispõe sobre a redução de emissão de poluentes por veículos automotores e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8723.htm>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. **Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. **Lei Federal nº 9.984, de 17 de julho de 2000.** Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. **Lei Federal nº 9.996, de 28 de abril de 2000.** Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9966.htm>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. **Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. **Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976.** Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/1976/decreto-8468-08.09.1976.html>>. Acesso em: 23 jun. 2017.

_____. **Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990.** Regulamenta a Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981, e a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõem, respectivamente sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d99274.htm>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. **Decreto nº 4.871, de 6 de novembro de 2003.** Dispõe sobre a instituição dos Planos de Áreas para o combate à poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2003/d4871.htm>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. **Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010.** Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 5, de 15 de junho de 1989.** Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar - PRONAR. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=81>>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 3, de 28 de junho de 1990.** Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 5, de 5 de agosto de 1993.** Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos sólidos gerados nos portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res93/res0593.html>>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 358, de 29 de abril de 2005.** Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35805.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. 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. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **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. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 393, de 8 de agosto de 2007.** Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=541>>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008.** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009.** Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 460, de 30 de dezembro de 2013**. Altera a Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=702>>. Acesso em: 24 maio 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Agência Nacional de Águas, ANA. **Encarte especial sobre a bacia do rio Doce - rompimento da barragem em Mariana/MG**. 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=702>>. Acesso em: 24 maio 2017.

COSTA, C. Mais de 3 décadas após 'Vale da Morte', Cubatão volta a lutar contra alta na poluição. **BBC Brasil**, 2017. Disponível em: <<http://www.bbc.com/portuguese/brasil-39204054>>. Acesso em: 24 maio 2017.

GHS. **Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals** (GHS). Globally Harmonized System, GHS, New York and Geneva, United Nations. ST/SG/AC.10/30/Rev.3, 2009.

OGA, S.; CAMARGO, M. M. A.; BATISTUZZO. **Fundamentos de toxicologia**. 4. ed. São Paulo: Ateneu 2014.

SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. **Princípios de toxicologia ambiental**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2013, 216 p.

Agentes tóxicos

Convite ao estudo

Caro aluno,

Na unidade anterior, construímos os conceitos fundamentais da toxicologia e toxicologia ambiental. Você conheceu diversos agentes tóxicos presentes no ambiente e aprendeu algumas das várias classificações que agrupam os agentes tóxicos de acordo com os objetivos do estudo. Nesta unidade, daremos continuidade aos estudos sobre fontes toxicológicas.

Juntamente com os conhecimentos aprendidos na unidade anterior, ao final desta unidade você será capaz de identificar os agentes tóxicos presentes em diferentes locais, assim como as suas fontes de origem. É importante ter em mente que em um único local existem agentes tóxicos provindos de muitas fontes toxicológicas, mesmo que essas fontes estejam a quilômetros de distância. Estas informações são imprescindíveis em um estudo de levantamento e/ou monitoramento ambiental, assim como para a elaboração de inventários.

Vamos retomar seu trabalho na empresa de consultoria ambiental? Agora, desafiamos você e seus colegas consultores a identificar alguns dos agentes tóxicos presentes na área em estudo no município de Barreiras (BA). Sabe-se que uma das indústrias próxima à área fabrica produtos de higiene e cuidados pessoais. Ela se situa a poucos metros do Rio Grande e possui cerca de 350 funcionários trabalhando diariamente. Como se trata de uma área distante da cidade, os funcionários se locomovem de suas casas até o trabalho em veículos automotores, e precisam realizar suas refeições no refeitório local.

Para que você e seus colegas consigam realizar este trabalho, será necessário conhecer os potenciais agentes tóxicos locais. Muitas vezes, será necessário, também, entender as diferentes toxicidades e o que cada uma delas implica. E como identificar os tipos de fontes toxicológicas que existem em um determinado local? Quais são as toxicidades induzidas por diferentes agentes tóxicos? E o que fazer em caso de intoxicação?

Para norteá-lo, continuaremos nossos estudos sobre agentes tóxicos e focaremos em diferentes fontes toxicológicas: antropogênicas e naturais. Iniciaremos a unidade com uma abordagem geral sobre algumas fontes e seus respectivos agentes tóxicos e, em seguida, destacaremos as fontes naturais: toxinas de plantas e animais. Mãos à obra e bons estudos!

Seção 2.1

Fontes toxicológicas

Diálogo aberto

Caro aluno,

Nesta seção, iremos abordar a poluição ambiental e suas respectivas fontes poluidoras. Como você aprendeu na Unidade 1, o levantamento das fontes poluidoras é imprescindível durante um inventário ou monitoramento ambiental. Milhares delas são delas capazes de influenciar um mesmo local, principalmente quando os agentes tóxicos atingem os recursos hídricos ou são lançados na atmosfera. Lembra-se do caso dos esquimós no Polo Norte contaminados com substâncias químicas lançadas em rios por efluentes industriais? Existem diversos casos em que a poluição se desloca por milhares de quilômetros de distância. Por exemplo, o dióxido de enxofre emitido pela Termoelétrica da Candiota, no Rio Grande do Sul, atinge o Uruguai (RÓTULO, 2003), assim como a poluição atmosférica lançada na China atinge a cidade de Los Angeles, nos Estados Unidos (LINA et al., 2014).

Voltando ao tema do seu trabalho na empresa de consultoria, iniciaremos a primeira etapa desta unidade. Agora, você e seus colegas irão analisar quais são os possíveis agentes tóxicos encontrados nos arredores da área onde se encontra a indústria de produtos de higiene e cuidados pessoais. Para isso, primeiramente, vocês devem realizar a coleta de informações sobre os principais agentes tóxicos presentes na área, embasando-se nas seguintes questões: quais são os principais agentes tóxicos lançados diretamente por esta indústria? Quais são os agentes tóxicos secundários? Existem diferentes fontes de poluição nesta área?

A seguir, vamos ajudá-lo neste processo. Abordaremos algumas fontes toxicológicas industriais, veiculares e naturais, e seus respectivos agentes tóxicos lançados no ambiente. Contudo, lembre-se que existem milhares delas! Construa sua análise crítica sobre este tema, e esteja sempre atento às diferentes fontes de poluição características do local analisado.

Tipos de fontes toxicológicas

Quando se discute a origem da poluição ambiental, uma distinção deve ser feita entre os processos envolvidos na formação dos poluentes. Os poluentes ambientais resultam de fontes antropogênicas, por exemplo, as milhares de indústrias e seus produtos industrializados e o tráfego de veículos automotores; ou naturais, como o aumento das concentrações de metais devido às ações de vulcões, degradações biológicas de florestas ou crescimento de algas tóxicas.

Além disso, a poluição pode ocorrer por misturas complexas de substâncias químicas lançadas simultaneamente ao ambiente. De acordo com a American Chemical Society (ACS, 2015), existem mais de 11 milhões de substâncias químicas no mundo, e cerca de 80 mil são de uso comum, seja na indústria, comércio ou aplicação doméstica (USEPA, 2017). Em geral, as exposições aos poluentes se caracterizam por baixas concentrações de agentes tóxicos em períodos prolongados, ou seja, uma exposição crônica, exceto em casos de acidentes e/ou desastres ambientais em que há grandes quantidades de agentes tóxicos liberados ao ambiente.

Tráfego de veículos, indústrias e produtos industrializados

A poluição atmosférica é fortemente influenciada pelas fontes fixas (indústrias) e móveis (veículos automotores) de emissão de poluentes. Segundo o relatório da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) de 2012, os veículos automotores leves a gasolina são os principais poluentes atmosféricos da região metropolitana de São Paulo e secundariamente, os processos industriais (CETESB, 2012).

Ambientes externos de áreas metropolitanas possuem níveis mais elevados de poluentes atmosféricos quando comparados com áreas afastadas e locais fechados. Portanto, crianças e trabalhadores que permanecem por períodos prolongados nesses

ambientes abertos são mais propensos aos efeitos adversos da poluição. Todavia, dependendo da construção dos locais fechados, o ar externo pode atravessar para o interior do prédio e atingir cerca de 30 a 80% das concentrações dos poluentes externos. Portanto, até mesmo ambientes fechados podem ser atingidos por diversas fontes de poluição simultaneamente, e a localização destas fontes é um processo imprescindível.

Os poluentes atmosféricos são divididos em duas classes: primários e secundários. Os primários são poluentes emitidos diretamente pelas fontes fixas (processos industriais) e móveis (veículos automotores), como o monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO₂), os óxidos de nitrogênio (NO_x), alguns compostos orgânicos voláteis (COV) e materiais particulados. Todavia, esses poluentes primários são, em geral, fortes agentes oxidantes ou redutores, ou seja, oxidam ou reduzem outras espécies químicas presentes na troposfera por reações fotoquímicas e formam compostos secundários, muitas vezes mais tóxicos que os originais, como o ozônio, os aldeídos e o peróxido de hidrogênio. À medida que as massas de ar se deslocam, estas reações ocorrem em áreas afastadas das fontes de emissão, atingindo locais de longa distância.

Além dos poluentes atmosféricos formados pela queima de combustíveis fósseis e outros processos durante as atividades industriais, as indústrias também são responsáveis pela liberação dos seus diversos resíduos em águas e solos. As águas residuais provenientes de processos industriais apresentam em sua composição uma grande variedade de poluentes orgânicos e metálicos, muitas vezes de difícil tratamento. Dentre eles, destacamos os solventes e diversos metais, como o chumbo e o cobre. Porém, a lista de compostos tóxicos é extremamente longa.



Assimile

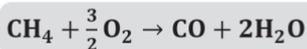
A **oxidação** ocorre quando há perda de elétrons durante uma reação por uma molécula, átomo ou íon. O processo contrário é chamado de **redução**, ou seja, há ganho de elétrons durante a reação. Portanto, um agente oxidante é capaz de oxidar outra molécula: sofre redução

ao ganhar elétrons de outra espécie química, enquanto a outra sofre oxidação ao perder elétrons.

A ampla diversidade dos milhares de agentes tóxicos liberados no ambiente torna a quantificação total quase impossível. Visto que indústrias e veículos automotores são potenciais poluidores do ambiente, abordaremos a seguir alguns dos principais agentes tóxicos presentes em regiões metropolitanas e polos industriais:

Monóxido de carbono (CO): é um gás incolor e inodoro largamente utilizado como precursor de diferentes produtos químicos pelas indústrias siderúrgicas e na produção do metanol. Também é produzido pela combustão incompleta e/ou em altas temperaturas de compostos ricos em átomos de carbono, como os combustíveis fósseis e seus derivados e o carvão. Ele é um agente asfíxiante, pois se liga à hemoglobina (Hb) e forma a carboxiemoglobina (COHb). Esta ligação é irreversível e impede que a Hb se ligue ao oxigênio (O₂) e, conseqüentemente, impede a distribuição de O₂ para todos os tecidos do organismo. A afinidade da Hb pelo CO é cerca de 300 vezes maior que pelo O₂, portanto quando a maior parte das Hb estão ligadas ao CO, o resultado pode ser letal. Pessoas cardíacas são mais sensíveis ao CO, pois baixas quantidades de COHb são capazes de induzir palpitações, fadigas e tonturas.

O CO é também um agente redutor e, na troposfera, pode ser oxidado e formar o dióxido de carbono (CO₂), um gás responsável, em grande parte, pelo efeito estufa:



Refleta

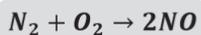
A concentração de CO no interior de veículos em centros metropolitanos atinge três vezes a concentração de áreas residenciais. Geralmente, garagens subterrâneas e túneis são grandes acumuladores de CO. Você já contou quantas horas do seu dia passa dentro de um automóvel ou em áreas externas com grande fluxo de trânsito?

Material particulado (MP): é constituído por poeiras, fumaças ou qualquer tipo de material sólido e líquido de pequena dimensão (tamanho menor que 100 μm) presente na atmosfera. Os MPs são formados, em grande parte, pelo processo de combustão incompleta dos combustíveis fósseis de veículos e de diversas atividades industriais, como de cimento, metalurgia e mineração. A classificação dos MPs é realizada em função do tamanho das partículas. Os de maior tamanho (diâmetro > 2,5 μm) são chamados de grossos, sendo produzidos principalmente por fontes naturais, como queimadas de florestas e erupções vulcânicas. Já aqueles de menor tamanho (diâmetro < 2,5 μm) são chamados de finos, sendo produzidos em maiores quantidades por fontes antropogênicas. Essas partículas finas são absorvidas mais facilmente pelas vias de exposição, principalmente pela via inalatória e, como efeitos adversos, alteram a capacidade do sistema respiratório de remover as partículas do ar inalado e induzem infecções, como faringites, rinites, bronquites e pneumonia. Além disso, os MPs podem se combinar com outras moléculas de metais, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), sulfatos, entre outras substâncias, e induzir efeitos adversos graves, como câncer, doenças neurotóxicas (Alzheimer e Parkinson), cardíacas, pulmonares e morte. Atualmente, o MP é considerado um importante indicador de saúde ambiental.

Óxidos de nitrogênio (NO_x): são gases formados durante a combustão de combustíveis fósseis e na fabricação de ácidos, corantes, vernizes e celuloses. Durante a combustão em altas temperaturas, forma-se o óxido nítrico (NO), um gás incolor irritante capaz de induzir edemas pulmonares se inalado em níveis elevados. As principais lesões pulmonares ocorrem nos bronquíolos, mas lesões severas podem atingir os ductos alveolares e alvéolos. Estudos epidemiológicos têm associado a exposição ao NO_x a infecções, devido à diminuição de macrófagos e à capacidade de depuração dos pulmões.

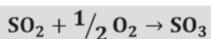
O NO, ao entrar em contato com o O_2 , é rapidamente oxidado a dióxido de nitrogênio (NO_2), um gás de coloração marrom alaranjada que contribui para a chuva ácida ao sofrer novas reações na troposfera e formar o ácido nítrico (HNO_3). Entretanto, quando há demasiada radiação solar, o NO_2 volta a formar o NO e libera

um átomo de oxigênio, que reage com o O_2 e forma o ozônio (O_3). Embora o O_3 seja benéfico na estratosfera, onde é formada a famosa camada de ozônio, protetora contra efeitos adversos da radiação ultravioleta, ele é um agente oxidante altamente reativo, que induz efeitos tóxicos quando presente na troposfera. Além de ser o principal componente da névoa fotoquímica (efeito *smog*), esta molécula provoca diversos problemas no sistema respiratório, e é muito tóxica às plantas, podendo causar danos consideráveis às espécies vegetais nativas e culturas agrícolas. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) estimou, em 2006, perdas agrícolas anuais de 500 milhões de dólares devido aos efeitos tóxicos do O_3 .



Dióxido de enxofre (SO_2): é um gás incolor formado durante a combustão incompleta de combustíveis fósseis em veículos automotores e em indústrias. É utilizado como desinfetante, branqueador e conservante de alimentos e bebidas. O SO_2 é um irritante absorvido principalmente pela via respiratória. Induz broncoconstrição (estreitamento das vias aéreas) e secreção de muco das vias pulmonares. Os efeitos crônicos diminuem as defesas do pulmão e facilitam infecções mais frequentes e severas. A prática de exercícios em locais com altas concentrações de SO_2 expõe as pessoas a maiores quantidades do composto pela via respiratória, tornando-as mais propensas a desenvolver as irritações. Pessoas asmáticas são as mais sensíveis aos efeitos tóxicos deste agente. Em casos de broncoconstrição severa, ocorre o bloqueio do fluxo de entrada e saída do ar. Esta resposta é considerada um mecanismo de defesa do organismo para limitar a inalação dos gases tóxicos.

Juntamente com o NO_2 , o SO_2 é um dos principais causadores da chuva ácida ao reagir na troposfera e formar o ácido sulfuroso (H_2SO_3) e o ácido sulfúrico (H_2SO_4).





Exemplificando

As indústrias do polo petroquímico de Cubatão emitem toneladas de SO_2 na atmosfera. A chuva ácida formada pela emissão deste poluente atinge cidades a mais de 100 km de distância.

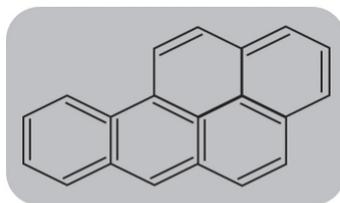
Hidrocarbonetos (HC): são COVs formados durante a combustão incompleta de combustíveis fósseis em veículos automotores e em indústrias. Os HC, em especial os HPA, são compostos lipossolúveis de fácil absorção pela via inalatória e se distribuem por quase todo o organismo, principalmente fígado, além de atravessar a placenta e atingir o feto. Eles são rapidamente metabolizados pelo fígado e formam compostos mais hidrofílicos, de fácil excreção. Portanto, a bioacumulação nos tecidos adiposos é baixa. Entretanto, quando os HPAs estão associados a algum MP, a eliminação é bem mais demorada e pode levar semanas. Na troposfera, os HC também podem reagir com outros compostos, como o oxigênio, o nitrogênio, o cloro e o enxofre, e formar diversos compostos secundários, como aldeídos, cetonas e o O_3 .



Exemplificando

O HPA mais estudado é o benzo(a)pireno, composto por cinco anéis aromáticos (Figura 2.1). Ele se forma pela combustão incompleta de material orgânico, como a queima incompleta do carvão, do cigarro, da gasolina e do diesel, e é associado ao aumento na incidência de diversos tipos de câncer. Sua eliminação ocorre em cerca de uma hora após a absorção por qualquer via de exposição.

Figura 2.1 | Estrutura química do HPA benzo(a)pireno



Fonte: elaborada pelo autor.

Fluoretos (F e HF): são encontrados na forma de gás ou partículas, liberados por emissões atmosféricas ou em águas residuais. Eles são altamente reativos, especialmente na forma do ácido fluorídrico (HF), formados durante a combustão de combustíveis fósseis e carvão, em indústrias farmacêuticas, de praguicidas, de fertilizantes, de cerâmicas, de vidros e de alumínio. Sua absorção pode causar náuseas, vômitos, parada cardíaca a morte. Os fluoretos também são altamente fitotóxicos. Assim, plantas da espécie *Cordyline terminalis*, vulgarmente conhecidas como Dracena, são utilizadas como bioindicadoras de áreas potencialmente afetadas por este poluente (Figura 2.2).

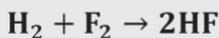
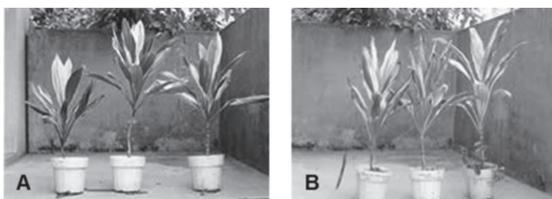


Figura 2.2 | Exemplos de Dracena saudáveis (A) e com os sintomas visíveis de necroses e cloroses marginais ou apicais nas folhas, induzidas por fluoretos gasosos (B)



Fonte: <<http://solo.cetesb.sp.gov.br/solo/programa-de-monitoramento/biomonitoramento/fluoretos-gasosos/>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

Cloretos (HCl e Cl₂): podem ser encontrados em emissões de poluentes atmosféricos ou em efluentes industriais. São irritantes e corrosivos, e influenciam na formação outros agentes tóxicos, como dioxinas e furanos. Estes últimos são extremamente tóxicos. Diversos efluentes industriais apresentam concentrações de cloretos elevadas, como os de indústrias de petróleo, farmacêuticas e de curtumes.

Metais: são encontrados na forma de gás ou partículas. São extensivamente utilizados por indústrias, principalmente o chumbo, cádmio, mercúrio, cromo e zinco, e toneladas são liberadas nos efluentes industriais. De modo geral, esses metais possuem alta toxicidade para a saúde humana e ambiental, com efeitos neurotóxicos e teratogênicos.

Como regra geral, os grupos de poluentes utilizados como indicadores de qualidade ambiental são aqueles com maior frequência de ocorrência e de efeitos adversos no ambiente, como

o MP, NO_x, SO₂, CO e O₃. Entretanto, o monitoramento da poluição possui algumas limitações, como o alto custo e a complexidade da medição devido à ampla diversidade dos poluentes.

Todavia, o uso de novas tecnologias vem ajudando no controle da poluição ambiental. A emissão de poluentes atmosféricos, por exemplo, vem sendo controlada com a implementação de novas tecnologias, como o uso dos catalizadores acoplados ao escapamento de veículos automotores e a instalação de filtros mais eficazes em chaminés industriais. Além disso, alguns simuladores são capazes de quantificar a emissão de poluentes atmosféricos por fontes móveis pela determinação da taxa de emissões geradas e estimativa das atividades dos veículos. Esses modelos são aplicados em inventários e em avaliações de impacto ambiental. O simulador MOBILE, por exemplo, é um modelo indicado pela *Environmental Protection Agency* (EPA), baseado na velocidade média dos veículos. Para a poluição industrial atmosférica, existem modelos matemáticos que auxiliam no monitoramento da dispersão dos poluentes, como o modelo *Industrial Pollution Projection System* (IPPS), desenvolvido pela Equipe de Meio Ambiente e Infraestrutura do Banco Mundial. Esse modelo utiliza fatores de intensidade de emissão de poluentes atmosféricos e o número de empregados (pessoal ocupado) nas atividades industriais, e relaciona a fonte de poluição com o efeito adverso.



Pesquise mais

Você sabe como funciona um catalizador antipolvente?

Ele converte os gases provindos da queima incompleta do combustível fóssil em outros menos perigosos. Para saber mais, acesse: <http://super.abril.com.br/comportamento/como-funcionam-os-catalisadores-dos-automoveis/>.

Quadro 2.1 | Valores limites de lançamento de resíduos industriais após tratamento.

Resíduos	CO	HCl	HF	NO ₂	SO ₂	Dioxina	Furano	HPA	MP	Pb	Hg
Atmosférico ¹	100	80	5	560	280	0,5	0,5	-	70	14	0,0028
Líquido ²	-	-	10	-	1*	-	-	1,2**	-	0,5	0,010

Fonte: Brasil (2002; 2011)

¹Valores em mg/Nm³, exceto CO em ppm/Nm³, e dioxina e furano em ng/Nm³.

²Valores em mg/L.

*Expresso em termos de sulfeto.

**Expresso em termos de benzeno.

Tóxicos nos recursos naturais

A natureza também contribui com uma parcela de agentes tóxicos. Alguns organismos e plantas produzem toxinas para se protegerem de pragas e/ou predadores, como serpentes, escorpiões, sapos e mamonas. Essas toxinas não contribuem para a poluição do ambiente por serem pontuais e liberadas em concentrações muito baixas. Por outro lado, em determinadas situações, os organismos podem se proliferar e liberar grandes quantidades de suas toxinas.

Casos como este são comuns em locais com atividades antrópicas, como a proliferação de fungos em armazéns de alimentos, especialmente grãos. Fungos liberam altas quantidades de suas toxinas, chamadas micotoxinas, devido às condições precárias de conservação, e causam intoxicações em massa. Um exemplo clássico ocorreu em 1996, no Instituto de Doenças Renais, na cidade de Caruaru, em Pernambuco: cianobactérias se proliferaram no local de captação de água e liberaram a toxina microcistina. O tratamento inadequado da água causou a intoxicação de pacientes submetidos à hemodiálise na clínica. Dos 142 pacientes, quase a metade morreu.

As queimadas naturais de florestas e as atividades vulcânicas também liberam compostos tóxicos, como o MP, NO_x , SO_2 , CO e CO_2 , e contribuem, em parte, com a poluição atmosférica, porém, em menores proporções. No Brasil, as queimadas da floresta tropical e do cerrado são comuns e ocorrem naturalmente nos meses de inverno. No caso do CO_2 , a emissão durante a queimada pode ser reincorporada à vegetação durante o seu restabelecimento no ciclo natural, porém, isto não ocorre em situações de desmatamento.



Assimile

Existem milhares de fontes de poluição ambiental! A lista de agentes tóxicos provindos de ações antropogênicas e naturais é imensa. Pratique um olhar holístico e comece a examinar os agentes tóxicos ao seu redor, associando-os com suas origens. Você verá que estamos em contato com agentes tóxicos todo o tempo, seja no ar, na água, em alimentos e roupas.

Sem medo de errar

Caro aluno,

Agora, retomaremos o trabalho na empresa de consultoria. Você e seus colegas devem levantar os principais agentes tóxicos emitidos pela empresa de produtos de cuidados pessoais e localizar as principais fontes de poluição do local.

Como vimos nesta seção, as fontes industriais emitem milhares de substâncias químicas diferentes no ambiente. Portanto, você deverá fazer um levantamento dos principais poluentes pelos quais este tipo de indústria é responsável, de acordo com os produtos que fabrica e os respectivos processos industriais que utiliza para produzi-los. Por exemplo, durante o processo de fabricação, há perdas de compostos utilizados nas formulações dos produtos, e estas perdas são lançadas aos recursos hídricos pelos efluentes industriais. Podemos citar aqui alguns agentes tóxicos presentes em produtos de higiene e cuidados pessoais que são lançados aos recursos hídricos por efluentes industriais:

- Corantes artificiais: largamente utilizados em maquiagens, tinturas de cabelo e produtos de higiene pessoal (sabonetes, shampoos, hidratantes). Muitos deles são conhecidos como carcinogênicos e mutagênicos.

- Ftalatos: presentes nos esmaltes, em algumas fragrâncias e em embalagens. Eles são teratogênicos além de induzirem diversos efeitos tóxicos ao fígado, rins e pulmão.

- Fragrâncias sintéticas: também são potenciais poluentes, consideradas tóxicas para o sistema imunológico e alergênicas. Elas podem ser formuladas com cerca de três a quatro mil ingredientes diferentes, incluindo os ftalatos.

- Parabenos: conservantes largamente utilizados em produtos cosméticos e cuidados pessoais. Atuam como desregulador endócrino devido à sua semelhança com o hormônio estrógeno. Ao mimetizar os estrógenos, eles podem gerar disfunções no comportamento hormonal e aumentar a suscetibilidade ao câncer de mama em mulheres, além de causar a esterilidade em homens.

Além destes compostos citados, há aqueles que são lançados na atmosfera. Eles são, em maioria, os COV, devido aos diversos solventes aplicados nas formulações dos produtos, além da emissão de gases provindos de queima de combustíveis fósseis.

Não se esqueça de que os poluentes são divididos em primários (lançados diretamente pela fonte poluidora) e secundários (ao serem lançados ao ambiente, reagem com outras espécies químicas e formam compostos secundários). Muitas vezes um agente torna-se altamente tóxico após esta reação. Portanto, durante a seleção dos agentes tóxicos do local, é importante diferenciá-los.

Além de focar nos agentes tóxicos lançados pela indústria em questão, você deve lembrar de que os funcionários também poluem, principalmente pela locomoção com seus veículos automotores até o trabalho, o que gera mais poluição atmosférica. E a poluição pode atingir locais a quilômetros de distância, portanto não descarte a possibilidade de poluições lançadas em outros locais também atingirem a área estudada.

Avançando na prática

Indústria automotiva

Descrição da situação-problema

Caro aluno,

Vamos praticar mais? Imagine-se no ano de 2012. A FX CAPITAL, empresa multinacional do ramo automotivo, amplia suas atividades com a abertura de uma indústria no polo industrial no município de Itatiaia, estado do Rio de Janeiro, situada próximo ao encontro de três rios. Em um levantamento dos possíveis agentes tóxicos presentes nesta área, quais poluentes você poderia encontrar? Pense nas possíveis fontes poluidoras locais. O que você sugeriria para prevenir e/ou mitigar os problemas ambientais para este local?

Resolução da situação-problema

O levantamento dos poluentes provindos da indústria FX CAPITAL pode ser realizado por setores. Você pode construir planilhas para cada setor com a identificação do poluente e sua fonte (atividade ou equipamento responsável pelo poluente), a quantificação e/ou frequência produzida, o tipo de poluente (atmosférico, efluente líquido, resíduos sólidos) e a destinação final. Por exemplo, o setor de pintura utiliza tintas, vernizes, solventes, óleos e derivados e massa plástica ou PVC. No Quadro 2.2, deixamos um exemplo simplificado de uma planilha.

Quadro 2.2 | Levantamento de poluentes provindos da FX CAPITAL.

Resíduos	Fonte	Geração (kg/mês)	Tipologia	Destinação
Tinta	Cabine de pintura	12.600	Líquido	Co-processamento
Solvente	Preparação da tinta	40.000	Líquido	Reciclagem
Óleo	Preparação da tinta	20.000	Líquido	Tratamento de efluentes
Pó de lixamento	Preparação do veículo	-	Atmosférico	Sem tratamento
PVC	Preparação do veículo	1.330	Sólido	Tratamento de resíduos

Fonte: adaptada de Potrich et al. (2007).

Após identificar os poluentes e verificar quais apresentam problemas reais de impacto na área, sugira à indústria a implantação de um programa para reduzir os rejeitos na fonte e o volume total de rejeitos no processo, além da eliminação da poluição com tratamentos adequados no fim do processo de produção. A exemplo disso, pode-se sugerir a implantação do Sistema de Gestão Ambiental (SGA), de acordo com as normas da ISO 14000.

Não se esqueça da importância de sempre caracterizar o local de estudo, incluindo as dimensões do local, os serviços realizados e/ou prestados, a quantidade de funcionários, assim como o tráfego de veículos. Inclua, por exemplo, a quantidade média de tráfego de veículos, pois os veículos são potenciais fontes emissoras de poluentes, como vimos nesta seção.

Faça valer a pena

1. “Queimadas naturais iniciadas por descargas atmosféricas são eventos comuns em várias regiões do mundo. Elas fazem parte da dinâmica desses ecossistemas e já foram bem estudadas e documentadas em outros países. No Brasil, há evidências de que queimadas naturais são frequentes no _____, contudo, elas permanecem praticamente desconhecidas da ciência. O fogo no _____ é considerado um distúrbio natural e integrante de sua dinâmica, e as queimadas naturais podem ser importantes para a manutenção dos processos ecológicos e da biodiversidade, sobretudo nas unidades de conservação (UC).” (FAPESP, 2011)

De acordo com o texto anterior, o termo que melhor completa a sentença é:

- a) cerrado
- b) litoral
- c) mangue
- d) centro urbano
- e) deserto

2. “Os efluentes industriais – oriundos dos mais diversificados processos de industrialização – têm sido, historicamente, um importante fator de degradação ambiental. O despejo de efluentes industriais, tanto nos corpos d’água quanto na rede de esgoto a ser tratada, sem o devido tratamento prévio, provoca sérios problemas sanitários e ambientais.”

Fonte: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/viewFile/6711/6055>> Acesso em: 24 jun. 2017.

Os principais poluentes lançados nos recursos hídricos de origem industrial são:

- a) Compostos inorgânicos (solventes, detergentes) e metais (chumbo, cobre).
- b) Compostos orgânicos (solventes, detergentes) e metais (chumbo, cobre).
- c) Hidrocarbonetos (solventes, detergentes) e metais (aldeídos, cetonas).
- d) Compostos orgânicos (metais) e hidrocarbonetos (aldeídos, benzenos).
- e) Hidrocarbonetos (solventes, metais) e fluoretos (chumbo, cobre).

3. "Os poluentes atmosféricos são geralmente classificados como primários ou secundários. Poluentes primários são os contaminantes diretamente emitidos pelas fontes para o ambiente, como no caso dos gases dos automóveis (_____, _____ e _____). Já os poluentes secundários resultam de reações dos poluentes primários com substâncias presentes na camada baixa da atmosfera e frações da radiação solar, como, por exemplo, _____, _____ e _____." (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE)

Os termos que melhor completam as sentenças, respectivamente, são:

- a) CO; SO₂; material particulado; O₃; peróxido de hidrogênio; CO₂
- b) O₃; peróxido de hidrogênio; aldeídos; CO₂; NO_x; aldeídos
- c) O₃; CO; NO_x; CO₂; hidrocarbonetos; SO₂
- d) CO₂; SO₂; material particulado; O₃; CO; hidrocarbonetos
- e) CO; SO₂; material particulado; O₃; peróxido de hidrogênio; ácido sulfúrico

Seção 2.2

Toxicologia das plantas

Diálogo aberto

Caro aluno,

Nesta seção, iniciaremos os estudos das fontes toxicológicas naturais: as plantas. Apesar do potencial tóxico da industrialização e do desenvolvimento tecnológico para a saúde humana e ambiental, outras fontes toxicológicas devem ser levadas em conta. As plantas são grandes produtoras de toxinas para se defenderem de pragas e predação. Entretanto, tais toxinas muitas vezes apresentam alta toxicidade para outros organismos que não sejam alvos expostos.

Retomando o seu trabalho na empresa de consultoria, agora, os desafios serão novos! Os trabalhadores do distrito industrial de Barreiras não estão expostos somente às substâncias químicas produzidas pelas indústrias, mas também às substâncias químicas naturais. Por estarem distantes da cidade, muitas vezes, os trabalhadores descansam em áreas de bosques e permanecem em contato direto com as plantas locais. Há registros de dermatites e alergias respiratórias. Durante o levantamento dos agentes tóxicos que vocês realizaram, as informações sobre toxinas de plantas presentes na área também são de grande importância, visto que se trata de uma área afastada detentora de grande diversidade biológica. Diante disso, quais informações vocês incluiriam no relatório técnico ambiental e que recomendações vocês dariam aos trabalhadores locais? Havendo contato com as plantas, a que sintomas eles devem ficar atentos?

A seguir, vamos conhecer diversas plantas tóxicas e nos familiarizar com as toxinas mais comuns no Brasil. Abordaremos as principais plantas tóxicas, seus mecanismos de toxicidade e sintomas de intoxicação. Contudo, vale ressaltar que existem milhares de toxinas com efeitos adversos específicos. Durante o levantamento dos agentes tóxicos em áreas de estudo, é necessário identificar as plantas presentes e verificar a toxicidade de cada uma delas.

Não pode faltar

Milhares de plantas produzem substâncias tóxicas, as quais chamamos de toxinas. Essas substâncias são produzidas visando à autoproteção contra pragas e predadores, como fungos e insetos. A concentração das toxinas em uma planta varia de acordo com algumas características:

- *Partes da planta*: raízes, caule, folhas e sementes podem produzir quantidades diferentes de toxinas.
- *Idade da planta*: as plantas maduras podem produzir mais ou menos toxinas que as jovens.
- *Clima e qualidade do solo*: influenciam diretamente na produção das toxinas.
- *Diferenças genéticas intraespécies*: a variabilidade no material genético de plantas da mesma espécie pode influenciar na capacidade de produção de toxinas.

De acordo com o tipo de toxina, as plantas induzem seus efeitos tóxicos em diferentes órgãos-alvo: pele, pulmão, fígado, rins, bexiga, ossos, sistema cardiovascular, nervoso e reprodutivo. Dos milhares de plantas que produzem toxinas, selecionamos algumas conforme a frequência de exposição, a importância e a gravidade dos efeitos tóxicos.



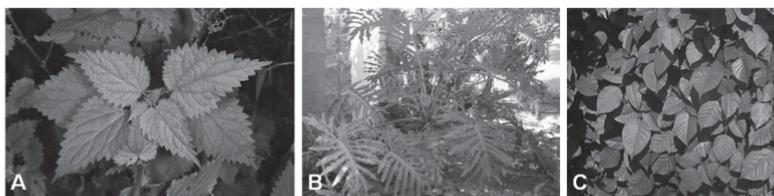
Assimile

Lembre-se: a absorção de agentes tóxicos pode ocorrer por diferentes vias de acesso: ingestão (via gastrointestinal), inalação (via pulmonar) e topicamente (vias dérmicas, epidérmicas e/ou olhos).

Via dérmica: muitas plantas produzem toxinas irritantes após o contato, causando a dermatite de contato. A *Urtica dioica* (Figura 2.3 A), por exemplo, possui tricomas (apêndices epidérmicos) recobrendo caule e folhas, que se rompem ao entrar em contato com a pele, liberando toxinas contendo histamina, acetilcolina,

serotonina e ácido fórmico. A resposta é caracterizada por dor intensa e eritema, uma vermelhidão causada pela vasodilatação dos capilares sanguíneos. Da mesma forma, a planta banana-de-macaco (*Philodendrom bipinnatifidum*) (Figura 2.3 B) produz resorcinóis nas folhas, caules e frutos, que são capazes de provocar dermatites. Sua ingestão induz intensas irritações nas mucosas, e doses elevadas provocam edemas na faringe a ponto de causar a obstrução das vias respiratórias e morte. A hera venenosa (*Rhus radicans*) (Figura 2.3 C) possui uma toxina chamada urushiol em todas as partes da planta. Essas toxinas são compostas por catecóis que, ao entrar em contato com a pele, são oxidados a quinonas e reagem com as proteínas, induzindo à dermatite.

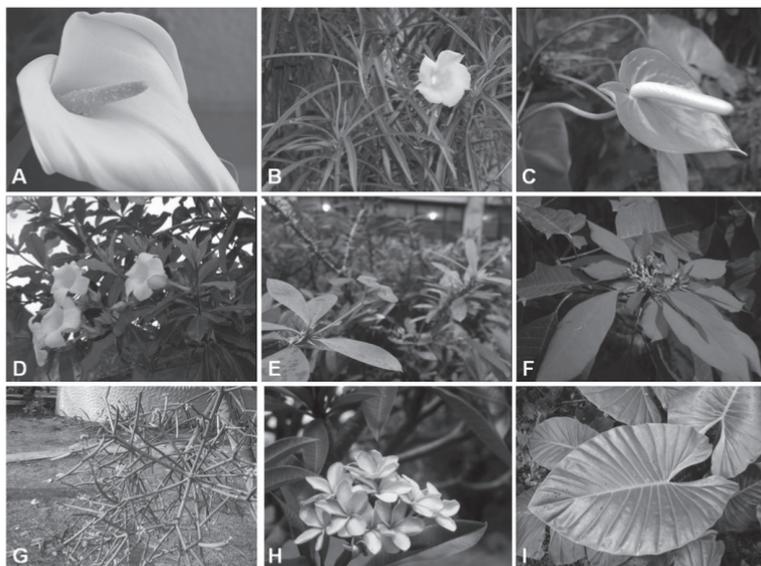
Figura 2.3 | Exemplos de (A) *Urtica dioica*, (B) *Philodendrom bipinnatifidum* e (C) *Rhus radicans*



Fonte: <<https://goo.gl/TU7nBV>>; <<https://goo.gl/xmyYvp>>; <<https://goo.gl/CN6hSw>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

Muitos indivíduos também sofrem com o látex natural da seringueira (*Hevea brasiliensis*). Ele é um polipeptídeo alergênico chamado de heveína e pertence à família das quinases, isto é, atua na quebra de quitina de exoesqueletos de insetos e paredes celulares dos fungos. Indivíduos alérgicos à heveína são usualmente sensibilizados ao contato com algumas frutas, como banana, tomate e abacate, pois elas contêm quitinases com atividades semelhantes à heveína. No Brasil, outras plantas comuns produtoras do látex são: copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*), chapéu-de-napoleão (*Thevetia nerifolia*), bico-de-papagaio (*Euphorbia pulcherrima*), avelós (*E. tirucalli*), coroa-de-cristo (*E. mili*), leiteiro-vermelho (*E. cotinifolia*), leiteiro-branco (*E. leucocephala*), antúrio (*Anthurium* spp.), alamanda amarela (*Allamanda cathartica*), alamanda roxa (*A. blanchetti*), jasmim-manga (*Plumeria rubra*), ficus (*Ficus benjamina*) e inhame (*Alocasia* spp.) (Figura 2.4).

Figura 2.4 | Plantas ricas em látex: (A) copo-de-leite (*Zantedeschia aethiopica*), (B) chapéu-de-Napoleão (*Thevetia neriifolia*), (C) antúrio (*Anthurium spp.*), (D) alamanda amarela (*Allamanda cathartica*), (E) coroa-de-cristo (*Euphorbia milii*), (F) bico-de-papagaio (*E. pulcherrima*), (G) avelós (*E. tirucalli*), (H) jasmim-manga (*Plumeria rubra*), (I) inhame (*Alocasia spp.*)



Fonte: <<https://goo.gl/vK2RFp>>; <<https://goo.gl/HvEJ5o>>; <<https://goo.gl/bdCA7N>>; <<https://goo.gl/5rYbjW>>; <<https://goo.gl/EYPCgz>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

Via respiratória: algumas toxinas induzem o reflexo da tosse ao serem inaladas, outras desencadeiam rinites alérgicas. As reações alérgicas são comuns em indivíduos sensíveis aos efeitos irritantes dos alérgenos, enquanto que as reações de tosse ocorrem devido à presença da toxina. As capsaicinas, por exemplo, são produzidas por pimentas caiena (*Capsicum annuum*) e chili (*Capsicum frutescens*), e desencadeiam o reflexo da tosse junto com a sensação de queimação ou calor, seguidos da diminuição da sensibilidade (efeito analgésico) ao se ligarem a receptores específicos. Todavia, indivíduos em contato prolongado com capsaicinas podem inalar partículas e apresentar irritações na via respiratória e vesiculação, isto é, bolhas, tal como as formadas em queimaduras de segundo grau. A dose letal média (DL50) foi determinada em camundongos: 47,2 mg/kg.

Figura 2.5 | Plantas ricas em capsaicinas: (A) pimenta caiena (*Capsicum annuum*) e (B) pimenta chili (*C. frutescens*)

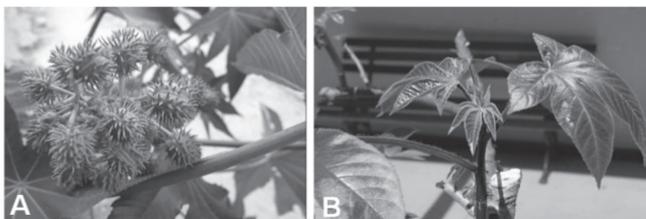


Fonte: <<https://goo.gl/nHttGq>>; <<https://goo.gl/iCdZNd>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

Via gastrintestinal: os sintomas mais comuns de intoxicações gastrointestinais são náuseas, vômitos e diarreia, devido a irritações nas paredes intestinais. Sementes da mamona (*Ricinus communis*), por exemplo, produzem a toxalbumina chamada ricina, que inativa os ribossomos e inibe a síntese proteica celular. Se ingeridas, provocam náuseas, vômitos e diarreias de forma gradativa. Em alguns dias, os sintomas se agravam e levam à morte em uma semana. Cerca de 20 sementes são suficientes para matar um adulto, e cinco a seis são suficientes para causar a morte em

crianças. As folhas e frutos do pinhão-roxo (*Jatropha curcas*) produzem a toxalbumina chamada curcina, também inibidora da síntese proteica.

Figura 2.6 | Plantas ricas em toxalbuminas: (A) mamona (*Ricinus communis*) e (B) pinhão-roxo (*Jatropha curcas*)



Fonte: <<http://sinitox.icict.fiocruz.br/plantas-toxicas>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

Plantas que produzem o oxalato de cálcio como toxina também são tóxicas à via gastrintestinal. O oxalato de cálcio forma pequenos cristais na forma de agulhas, e a ingestão pode perfurar os tecidos do sistema digestivo, como faringe e esôfago, causando edemas, asfixia e morte. São exemplos de plantas produtoras de oxalato de

cálcio: copo-de-leite (*Zantedeschia arthropica*), comigo-ninguém-pode (*Dieffenbachia picta*), tinhorão (*Caladium bicolor*), taioba-brava (*Colocasia antiquorum*) e banana-de-macaco (*Philodendron bipinatifidum*) (Figura 2.7).

Figura 2.7 | Plantas ricas em oxalato de cálcio: (A) comigo-ninguém-pode (*Dieffenbachia picta*), (B) tinhorão (*Caladium bicolor*), (C) taioba-brava (*Colocasia antiquorum*) e (D) banana-de-macaco (*Philodendron bipinatifidum*)

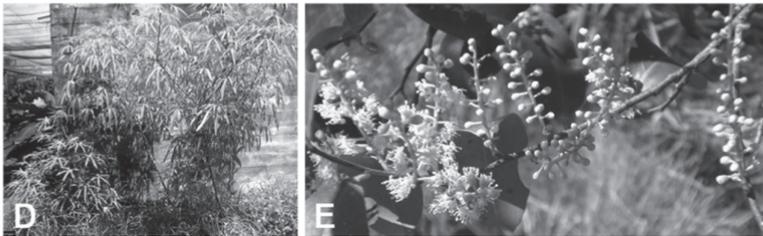


Fonte: <<https://goo.gl/AJ0F5c>>; <<https://goo.gl/zpki2b>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

Sistema cardiovascular: toxinas cardiotóxicas causam, em geral, arritmias cardíacas e espasmos musculares. Os glicosídeos cardioativos, por exemplo, inibem o funcionamento da bomba de sódio/potássio ATPase das células musculares cardíacas (cardiomiócitos) e, como consequência, provocam arritmias cardíacas, náuseas e vômitos. As plantas que contêm glicosídeos cardioativos incluem, entre elas: chapéu-de-napoleão (*Thevetia peruviana*), cega-olho (*Asclepias curassavica*), espirradeira (*Nerium oleander*), dedaleira (*Digitalis purpurea*), mandioca-brava (*Manihot utilissima*) e pessegueiro-bravo (*Prunus sphaerocarpa*) (Figura 2.8).

Figura 2.8 | Plantas ricas em glicosídeos cardioativos: (A) cega-olho (*Asclepias curassavica*), (B) espirradeira (*Nerium oleander*), (C) dedaleira (*Digitalis purpurea*), (D) mandioca-brava (*Manihot utilissima*) e (E) pessegueiro-bravo (*Prunus sphaerocarpa*)

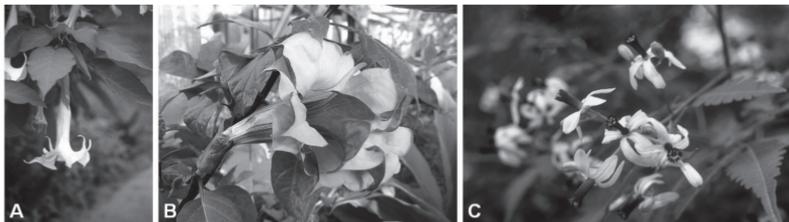




Fonte: <<https://goo.gl/vdcSBz>>; <<https://goo.gl/iUKnkK>>; <<https://goo.gl/a4qzd3>>; <<https://goo.gl/MPV6rc>>; <<https://goo.gl/8u1aM4>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

Alcaloides também possuem ação tóxica no sistema cardiovascular. Várias espécies produzem diferentes tipos de alcaloides, com características particulares de intoxicação após a ingestão: náuseas, vômitos, hiper ou hipotensão, taqui ou bradicardia, arritmias cardíacas e espasmos musculares. A saia-branca (*Datura suaveolens*), por exemplo, produz alcaloides beladonados (*atropina*, *escopolamina* e *hioscina*), a saia-roxa (*D. metel*) produz alcaloides daturinas, e os lírios (*Melia azedarach*) produzem alcaloides neurotóxicos (azaridina) (Figura. 2.9).

Figura 2.9 | Plantas ricas em alcaloides: (A) saia-branca (*Datura suaveolens*), (B) saia-roxa (*D. metel*) e (C) lírios (*Melia azedarach*)



Fonte: <<https://goo.gl/4L9w5n>>; <<https://goo.gl/3Nsf2Z>>; <<https://goo.gl/ssL4XM>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

Sistema hepático: após a biotransformação, alguns alcaloides provocam doenças hepáticas. Os alcaloides pirrolizidínicos, por exemplo, por si sós não apresentam toxicidade, porém sua biotransformação no fígado forma tóxicos altamente reativos. Estes inibem a mitose dos hepatócitos e induzem a megalocitose (aumento do tamanho dos glóbulos vermelhos), necrose e morte celular. Em casos agravados, os indivíduos desenvolvem a doença venoclusiva hepática, em que ocorre a obstrução de vênulas e

sinusoides. No Brasil, a flor-das-almas (*Senecio brasiliensis*) é a planta mais conhecida pela produção de alcaloides pirrolizidínicos (Figura 2.10).

Figura 2.10 | Flor-das-almas (*Senecio brasiliensis*), rica em alcaloides pirrolizidínicos



Fonte: <http://www.ufrgs.br/fitoecologia/florars/open_sp.php?img=7433>. Acesso em: 24 jun. 2017.

5. Sistema nervoso: algumas toxinas são extremamente neurotóxicas, induzindo desde cefaleias até convulsões e morte. A cicuta (*Cicuta maculata*), por exemplo, produz a cicutoxina, que atua nos canais de sódio do sistema GABA e causa convulsões fatais. Outras plantas induzem cefaleia, tonturas, confusão mental e distúrbios visuais, como a espirradeira (*Nerium oleander*), cega-olho (*Asclepias curassavica*) e artemisia (*Arthemisia absinthium*) (Figura 2.11).

Figura 2.11 | Plantas neurotóxicas: (A) cicuta (*Cicuta maculata*) e (B) artemisia (*Arthemisia absinthium*)



Fonte: <<https://goo.gl/YyW3WX>>; <<https://goo.gl/ozPYnJ>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

Quadro 2.3 | Plantas tóxicas representativas do Brasil

Resíduos	Fonte	Geração (kg/mês)	Tipologia	Destinação
Seringueira	<i>Hevea brasiliensis</i>	Látex	Cascas	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilidade dérmica • Alergênico dérmico
Pimentas caiena e chili	<i>Capsicum annum</i> <i>C. frutescens</i>	Capsaicina	Toda a planta	<ul style="list-style-type: none"> • Irritação dérmica • Irritação respiratória
Copo-de-leite	<i>Zantedeschia arthropica</i>	Oxalato de cálcio	Folha e caule	<ul style="list-style-type: none"> • Irritação gastrointestinal • Edemas, asfixia e morte
Comigo-nin-guém-pode	<i>Dieffenbachia picta</i>	Oxalato de cálcio	Toda a planta	<ul style="list-style-type: none"> • Irritação gastrointestinal • Edemas, asfixia e morte
Mamona	<i>Ricinus communis</i>	Toxalbumina	Sementes	<ul style="list-style-type: none"> • Irritação gastrointestinal • Morte
Espirradeira	<i>Nerium oleander</i>	Glicosídeo cardioativo	Toda a planta	<ul style="list-style-type: none"> • Arritmias cardíacas • Distúrbios neurológicos
Chapéu-de-na-poleão	<i>Thevetia peruviana</i>	Glicosídeo cardioativo	Toda a planta	<ul style="list-style-type: none"> • Náuseas, vômitos • Arritmias cardíacas
Saia-roxa e saia-branca	<i>Datura metel</i> <i>D. suaveolens</i>	Alcaloide	Toda a planta	<ul style="list-style-type: none"> • Taquicardia, hipertermia • Dilatação das pupilas • Alucinação e morte
Lírios	<i>Melia azedarach</i>	Alcaloide	Frutos e folhas	<ul style="list-style-type: none"> • Bradicardia, hipotensão • Arritmia cardíaca • Depressão do SN
Flor-da-alma	<i>Senecio brasiliensis</i>	Alcaloide pirrolizidíneo	Folhas e flores	<ul style="list-style-type: none"> • Megalocitose, necrose • DVH

*Principais locais de produção. SN: sistema nervoso. DVH: Doença venoclusiva hepática.

Fonte: Brasil [s.d.].

Algas são plantas? Dentro da taxonomia, as algas podem ser classificadas como plantas, bactérias ou protozoários. Elas não estão agrupadas em um único reino, embora tenha existido o

obsoleto Reino Algae L. (1751). Atualmente, os grupos são formados de acordo com desenvolvimento evolutivo. Por exemplo, as cianobactérias (também chamadas de algas azuis e cianofíceas) são organismos procariontes (sem membrana celular verdadeira) do Reino Monera; os dinoflagelados e diatomáceas são eucariontes primitivos do Reino Protista, e as algas verdes (clorófitas), vermelhas (rodófitas), dentre outras, são eucariontes (com membrana celular completa) do Reino Plantae. Duas espécies chamam a atenção quanto à toxicidade das toxinas: cianobactérias e dinoflagelados.

As toxinas produzidas por cianobactérias são polipeptídios com diferentes modos de ação: hepatotoxinas, neurotoxinas e dermatotoxinas. As dermatotoxinas irritam a pele e mucosas, e são tóxicas para a via gastrintestinal. As neurotoxinas (anatoxina-a, anatoxina-a(s), neosaxitoxina e saxitoxina) bloqueiam as transmissões neuromusculares e causam a morte por paralisia dos músculos respiratórios. As hepatotoxinas (microcistinas e nodularinas) retraem os hepatócitos e provocam hemorragias hepáticas, causando a morte em poucos dias ou horas. O contato dérmico com hepatotoxinas pode desencadear rinite, conjuntivite, dispneia e dermatite, e a ingestão induz gastroenterite, diarreia, náuseas, vômito, febre, hepatite, anorexia, astenia e hepatomegalia.



Exemplificando

O controle de cianobactérias em águas de abastecimento no Brasil teve início com a Portaria 1469, de 29 de dezembro de 2000, após a "tragédia da hemodiálise" na cidade de Caruaru (PE) em 1996. A água captada para o Instituto de Doenças Renais continha microcistinas de cianobactérias, e cerca de 60 pacientes morreram após a hemodiálise com a água contaminada. Atualmente, o valor máximo permitido de microcistina na água é 1 µg/L, e este valor deve ser zero nas águas de abastecimento para hemodiálise, pois a absorção via corrente sanguínea é altamente tóxica.

Outra problemática com toxinas de algas ocorreu em 2007, na Baía de Todos os Santos (BA). Uma grande floração de dinoflagelados, algas microscópicas marinhas, aumentou a produção das neurotoxinas saxitoxinas e neosaxitoxinas durante os

fenômenos da maré vermelha. Essas toxinas provocaram a morte de aproximadamente 50 toneladas de animais das mais diversas espécies marinhas. Além disso, elas são conhecidas por seus efeitos bioacumulativos em mariscos, ostras e outros crustáceos, e por causarem efeitos tóxicos aos humanos que consumirem estes organismos.



Refleta

Você sabe o que é o fenômeno da maré vermelha? A *U.S. Integrated Ocean Observing System*[®] criou um método para prever e detectar locais com florações de algas. O objetivo é proporcionar às comunidades avisos de alertas para que todos se previnam contra contaminações e doenças frente a este evento. Para saber mais, acesse o vídeo disponível em: <<http://oceanservice.noaa.gov/facts/redtide.html>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

Tratamento

O tratamento por qualquer tipo de intoxicação por plantas deve ser iniciado com urgência por profissionais da área médica. A primeira medida a ser tomada, antes mesmo da chegada de um médico, é a retirada ou diminuição da exposição do organismo à toxina. Em casos de ingestão, é importante que haja a eliminação do que restou dentro da boca, enxaguando-a com água corrente abundante. É preciso ser cuidadoso com os primeiros socorros. Em alguns casos, não é aconselhável provocar o vômito, e sim a ingestão de água. Aconselha-se guardar a planta para a posterior identificação da intoxicação, com o objetivo de facilitar a escolha do tratamento adequado.



Pesquise mais

A Fundação Instituto Oswaldo Cruz (Fiocruz) disponibiliza um manual de primeiros socorros em casos de acidente. Para saber mais, acesse o manual, disponível em: <<http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/manuais/biosseguranca/manualdeprimeirosocorros.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

Finalizamos mais uma etapa desta jornada, na qual você se familiarizou com agentes tóxicos originários de fontes naturais: plantas. Na próxima seção, vamos abordar as toxinas de animais peçonhentos, portanto, prepare-se e comece a examinar os animais ao seu redor, de grandes a pequenos organismos. Você verá que existem milhares deles distribuídos por todo o mundo e, portanto, devemos ficar atentos às suas toxinas.

Sem medo de errar

Caro aluno,

Vamos voltar ao nosso novo desafio? Lembre-se de que os trabalhadores do distrito industrial de Barreiras não estão expostos somente às substâncias químicas produzidas pelas indústrias, mas também às substâncias químicas naturais. Diante do exposto, você e seus colegas consultores poderiam providenciar um levantamento das plantas locais, uma vez que se trata de uma área afastada do centro urbano e com grande diversidade biológica. Esse fato aumenta o risco de intoxicação por diversas toxinas de plantas presentes na área. As informações levantadas, tais como nome popular e científico das plantas e suas respectivas toxinas e toxicidades, podem ser inclusas no relatório técnico ambiental, visto que estas também são agentes tóxicos. Não se esqueça de que a via de exposição é uma importante informação, pois ela altera a absorção e efeitos tóxicos.

Além disso, recomende aos trabalhadores locais a leitura de cartilhas com informações a respeito dessas plantas. O conhecimento prévio pode prevenir futuras intoxicações. Também alerte àqueles que são sensíveis e/ou alérgicos, por exemplo: indivíduos que apresentam dermatites alérgicas e alergias respiratórias. Uma sugestão é a recomendação da leitura do manual de primeiros socorros da Fiocruz. Em casos de intoxicações, dermatites ou problemas respiratórios devido às toxinas das plantas, sempre recomende o isolamento do local e a retirada ou diminuição da exposição, até a chegada de um profissional da área médica. Contudo, como vimos nesta seção,

os primeiros socorros variam de acordo com a toxina: em alguns casos, não é aconselhável provocar o vômito, e sim a ingestão de água. Seja cuidadoso!

Avançando na prática

Toxinas em condomínios

Descrição da situação-problema

Caro aluno,

Podemos afirmar que os indivíduos intoxicados por plantas tóxicas são, em grande maioria, crianças. E podemos atribuir isto à desinformação da população. Levando isso em conta, agora, você foi solicitado por uma construtora de Goiânia (GO) atuante no segmento de condomínios de alto padrão para realizar o levantamento das espécies vegetais situadas nos condomínios administrados pela empresa. Isso porque esses condomínios possuem grandes áreas de convívio localizadas em parques e áreas verdes, com diversas espécies de plantas ornamentais. Devido ao crescimento deste setor imobiliário e à grande quantidade de famílias moradoras com crianças até 12 anos, é preciso realizar com urgência o levantamento das possíveis plantas tóxicas locais.

Após visitar os condomínios e realizar o levantamento das espécies, você foi encarregado de confeccionar um material educativo com essas informações. Nele devem constar: o nome científico e popular das plantas, quais são as toxinas encontradas, quais partes delas são tóxicas e quais são os sinais e sintomas da intoxicação. Para auxiliá-lo, consulte o dossiê técnico "*Plantas tóxicas mais comuns no Brasil*", elaborado pelo Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (2012. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTcwNg==>>. Acesso em: 24 jun. 2017). Aproveite este levantamento para pesquisar e conhecer as espécies de plantas tóxicas da sua região!

Resolução da situação-problema

Para confeccionar o material educativo, uma dica é a elaboração de tabelas contendo as informações solicitadas. Por exemplo, foram encontradas espécies como a *Dieffenbachia picta*, popularmente conhecida como comigo-ninguém-pode. Sua toxina é o oxalato de cálcio, presente em toda a planta. Seus principais sintomas são irritação gastrointestinal, edemas, asfixia e morte. Tendo em vista um material didático e de fácil compreensão, você pode transpor os dados conforme o exemplo do Quadro 2.4.

Quadro 2.4 | Plantas tóxicas presentes no condomínio Vista Alegre (Goiás, GO)

Resíduos	Fonte	Geração (kg/mês)	Tipologia	Destinação
Comigo-ninguém-pode	<i>Dieffenbachia picta</i>	Oxalato de cálcio	Toda a planta	<ul style="list-style-type: none">• Irritação gastrointestinal• Edemas• Asfixia• Morte

Fonte: elaborada pelo autor.

Faça valer a pena

1. As plantas produzem toxinas como forma de autoproteção. No entanto, existem algumas características que influenciam diretamente na concentração desta toxicidade. Analise as seguintes afirmações:

I. As variações genéticas das plantas, quando da mesma espécie, podem influenciar na capacidade de produção de toxinas.

II. As condições do habitat, como o clima e a qualidade do solo, influenciam na toxicidade das plantas.

III. A maturidade das plantas sinaliza uma produção maior das suas toxinas.

Qual(is) afirmação(ões) está(ão) correta(s)?

- a) Somente II e III estão corretas.
- b) Somente I e II estão corretas.
- c) Somente I e III estão corretas.
- d) I, II e III estão corretas.
- e) Somente a II está correta.

2. De acordo com as toxinas produzidas pelas plantas, os efeitos tóxicos gerados no corpo humano podem ser extremamente perigosos.

Assinale a alternativa correta quanto ao nome popular da planta que, após a ingestão, tem suas toxinas biotransformadas, gerando compostos que podem levar à megalocitose.

- a) Comigo-ninguém-pode.
- b) Mamona.
- c) Copo-de-leite.
- d) Saia-branca.
- e) Flor-da-alma.

3. A *Ricinus communis* é uma planta da família das euforbiáceas, largamente distribuída pelas regiões urbanas do Brasil, em jardins, terrenos e praças. Dela, extrai-se um óleo utilizado para inúmeras aplicações industriais de plásticos, esmaltes, biodiesel etc. Apesar disso, esta espécie apresenta toxicidade elevada ao ser humano.

Assinale a afirmativa que detalha corretamente a toxina gerada pela espécie *Ricinus communis* e qual local da sua estrutura apresenta maior toxicidade.

- a) Toxalbumina; nas sementes.
- b) Oxalato de cálcio; em toda a planta.
- c) Oxalato de cálcio; nas folhas e caule.
- d) Alcaloide; em toda a planta.
- e) Alcaloide; nas frutas e folhas.

Seção 2.3

Toxicologia dos animais

Diálogo aberto

Caro aluno,

Como vimos na seção anterior, os agentes tóxicos podem ser produzidos por plantas tóxicas, e nesta seção daremos continuidade aos estudos: animais peçonhentos. Existem dados epidemiológicos de casos de acidentes por animais peçonhentos em todo o território brasileiro, dentre eles escorpiões, serpentes, abelhas, aranhas, entre outros. Devido ao desmatamento de grandes áreas e à urbanização rápida e desenfreada, esses animais também se adaptaram a ambientes em áreas urbanas, e passaram a habitar prédios residenciais e comerciais.

Retomando o seu trabalho na empresa de consultoria, você e seus colegas consultores darão continuidade aos desafios das fontes toxicológicas naturais. Você se lembra de que os trabalhadores do distrito industrial de Barreiras não estão expostos somente às substâncias químicas produzidas pelas indústrias, mas também a substâncias químicas naturais? Além dos registros de casos de dermatites e alergias respiratórias devido ao contato com as plantas locais, também foram registrados casos de trabalhadores intoxicados por toxinas de animais, tais como picadas de aranha e abelhas. Por se tratar de um local afastado da cidade e com grande diversidade biológica, quais recomendações você e seus colegas incluiriam no relatório técnico ambiental? Que sintomas indicam intoxicações por toxinas animais? Os tratamentos devem ser iniciados imediatamente ou é recomendado aguardar até que uma ambulância e/ou resgate chegue ao local?

Para ajudá-lo, a seguir, conheceremos algumas das espécies de animais peçonhentos mais relevantes para a saúde pública no Brasil, e entenderemos sobre suas toxinas e seus efeitos adversos. Contudo, é importante lembrar que, assim como existem milhares de toxinas com efeitos adversos específicos para plantas, a mesma regra vale para toxinas de animais. Em geral, as toxinas de animais são misturas muito complexas, e seus efeitos tóxicos podem variar.

Vamos lá?

Não pode faltar

Os animais também são grandes produtores de substâncias tóxicas, chamadas toxinas. Elas visam à autoproteção e à predação. Esses animais podem ser classificados em dois grupos:

- *Animais peçonhentos*: a toxina é produzida em células ou glândulas secretórias desenvolvidas, e os animais a inoculam no momento da mordida ou picada.

- *Animais venenosos*: a toxina está presente nos tecidos em sua totalidade, sendo que a ingestão destes tecidos induz a intoxicações.

As toxinas produzidas pelos animais são altamente complexas, compostas por proteínas, lipídios, aminas, esteroides, aminoácidos, quinonas etc., capazes de induzir danos às células. Em geral, os efeitos são irritantes e neurotóxicos, mas, devido à complexidade das toxinas, existem vários sítios alvos ou receptores a que elas se ligam, e eles induzem diversos tipos de efeitos. Algumas características podem afetar o efeito e a intensidade tóxica: 1) via de absorção; 2) distribuição pelos tecidos; 3) capacidade de atravessar membranas celulares (altamente lipofílicas); 4) acumulação; 5) metabolismo; 6) excreção.

De acordo com o Ministério da Saúde, em 2015 houve 105.862 notificações de acidentes por animais peçonhentos registradas pelo Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), sendo que 47% do total notificado eram acidentes com escorpiões; seguido pelas aranhas, com 18% dos acidentes; as serpentes, com 17%; as abelhas, com 8%; e o restante, por lagartas e outros animais. A região Sudeste foi a que apresentou a maior quantidade de registros, com 37.345 notificações. O Nordeste aparece em segundo lugar, com 32.580 notificações, seguido do Sul, com 19.545, Norte, com 10.996 e Centro-Oeste, com 5.396.

O processo de desmatamento e urbanização desenfreada tem aumentado o número de casos de acidentes por animais peçonhentos. Com a chegada das chuvas, os animais peçonhentos saem de seus esconderijos e buscam novos abrigos, seja em áreas

urbanas ou afastadas. Assim, não é difícil encontrá-los nas áreas residenciais ou parques. Além disso, a falta de saneamento básico, como o acúmulo de lixo, entulhos e esgoto a céu aberto, propicia o surgimento de abrigo para animais peçonhentos. A seguir, selecionamos os organismos peçonhentos de maior importância para a saúde pública no Brasil, conforme a frequência de exposição e a gravidade dos efeitos tóxicos.



Assimile

Atenção! Existem muitos gêneros que apresentam espécies peçonhentas e não peçonhentas. Portanto, não é correto generalizar, por exemplo, que todas as espécies de serpentes são peçonhentas. Muitas delas não possuem o aparelho inoculador das toxinas, portanto são não peçonhentas.

Serpentes: possuem glândulas produtoras de toxinas, ligadas por um ducto aos dentes inoculadores. Elas injetam-nas em presas e predadores no momento da mordida. Suas toxinas, em geral, alteram os vasos sanguíneos (deixando-os mais frágeis) e os mecanismos de coagulação do sangue, causando sangramentos no local da mordida, no nariz, urina, saliva etc. Também alteram o funcionamento dos sistemas cardíaco, pulmonar, nervoso e respiratório, paralisando os músculos dos olhos, face e deglutição, os grandes músculos e, por fim, a musculatura respiratória, a qual provoca asfixia. Como primeiros socorros, é importante lavar o local da picada, manter a vítima em repouso e procurar o serviço médico. Não é recomendado fazer cortes ou torniquetes. A identificação do animal facilita o tratamento com soroterapia.

No Brasil, as serpentes de interesse em saúde pública pertencem à Família Viperidae:

Crotalus: inclui a cascavel (*Crotalus durissus*) (Figura 2.12 A), além de suas diversas subespécies. A cascavel habita áreas abertas como campos, e se caracteriza por possuir um chocalho na ponta da cauda, formado por diversos quizes.

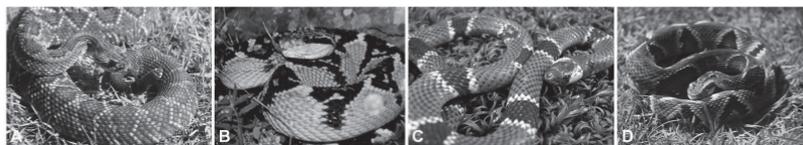
Lachesis: inclui a surucucu (*Lachesis muta*) (Figura 2.12 B), com duas subespécies. A surucucu habita matas primárias e se

caracteriza por ser a maior serpente peçonhenta das Américas, podendo ultrapassar 4 m de comprimento.

Micrurus: inclui a coral-verdadeira ou apenas coral (*Micrurus lemniscatus*) (Figura 2.12 C). Habita locais embaixo da terra e se caracteriza por ser pequena (até 1 m de comprimento) e por ter a coloração vistosa, com anéis vermelhos, pretos e brancos ou amarelos. Existem espécies não peçonhentas com o mesmo padrão de coloração das corais, denominadas falsas-corais.

Bothrops: atualmente dividido em dois gêneros, *Bothrops* e *Botrocophias*, possui cerca de 30 espécies, dentre elas a jararaca (*Bothrops jararaca*) (Figura 2.12 D). Possui hábito noturno, vive em matas, preferencialmente em locais úmidos, mas também se adapta às áreas urbanas e próximas à cidade. Essa espécie pertence ao grupo que mais causa acidentes no Brasil.

Figura 2.12 | Serpentes peçonhentas: cascavel (*Crotalus durissus*) (A), curucucu (*Lachesis muta*) (B), coral-verdadeira (*Micrurus sp.*) (C), jararaca (*Bothrops jararaca*) (D)



Fonte: <http://www.vitalbrazil.rj.gov.br/cobras_venenosas.html>. Acesso em: 24 jun. 2017.

Aranhas: possuem um par de quelíceras, onde se encontra o aparelho inoculador, chamado de ferrão, responsável pela picada e injeção de toxinas em presas e predadores. Suas toxinas, de forma geral, induzem efeitos neurotóxicos agudos. No caso de acidentes, é importante lavar o local da picada, usar compressas mornas para alívio da dor e procurar atendimento médico. A identificação do animal facilita o tratamento com a soroterapia correta.

No Brasil, os principais gêneros de importância para a saúde pública são:

Aranha-marrom (*Loxosceles sp.*): encontrada em ambientes domésticos escuros e úmidos, chega a até 3 cm de comprimento

total (Figura 2.13 A). Apesar de a espécie não ser agressiva, pois ataca somente ao sentir-se ameaçada, sua toxina é muito ativa. A picada é pouco dolorida (equivalente a uma picada de formiga), mas suas toxinas induzem hemorragias e necroses locais. Casos graves apresentam efeitos sistêmicos: febre, náuseas, vômito, cólicas, hemólises (sangue na urina), trombocitopenia (redução do número de plaquetas no sangue) e falência renal.

Armadeira (Phoneutria sp.): conhecida como uma das maiores aranhas do mundo (até 20 cm de envergadura) (Figura 2.13 B), é uma espécie bastante agressiva e chega a saltar até 40 cm de distância. Utiliza suas toxinas para capturar aranhas, insetos e pequenos vertebrados (lagartos, filhotes de pássaros e camundongos). De forma geral, sua picada é extremamente dolorida e causa vermelhidões locais e irradiação de dores para tecidos adjacentes. Dentre os efeitos sistêmicos, destacam-se a taquicardia, hipertensão e agitação psicomotora. Em casos graves e raros, ocorre enrijecimento muscular, edemas no pulmão e morte.

Viúva-negra (Latrodectus sp.): espécie pouco agressiva, as fêmeas podem atingir até 2 cm e os machos, até 3 mm (Figura 2.13 C), mas somente as fêmeas tem a capacidade de penetrar a pele humana. Suas toxinas induzem câibras, espasmos musculares e fraqueza. Em casos graves, ocorre a rigidez dos músculos da região abdominal.

Algumas caranguejeiras, como a negra-brasileira (*Grammostola pulchra*) e rosa-brasileira (*Lasiadora parahybana*), também são encontradas no Brasil, entretanto, possuem toxinas de baixa toxicidade para o ser humano e não causam acidentes graves.

Figura 2.13 | Aranhas peçonhentas: aranha-marrom (*Loxosceles*) (A), armadeira (*Phoneutria*) (B) e viúva-negra (*Latrodectus*) (C)



Fonte: <<http://www.ivb.rj.gov.br/aranhas.html>>. Acesso em: 24 jun. 2017.



A *Theraphosa blondi*, popularmente conhecida como Goliath Bird Eater, é endêmica da região amazônica e considerada a maior aranha do mundo, com relatos de que ela tenha até 40 cm de comprimento. Seus pelos abdominais são extremamente irritantes e sua picada causa dores e náuseas.

Escorpiões: possuem um aparelho inoculador chamado télson, ou ferrão, responsável pela injeção das toxinas em presas e predadores. No Brasil, o escorpião-amarelo (*Tityus serrulatus*) é considerado o mais venenoso (Figura 2.14). Sua toxina possui ação neurotóxica e de efeito agudo e forte, e causa alterações locais e sistêmicas. Os sintomas de intoxicação incluem dor intensa que se irradia por todo o corpo, taquicardia, hipertensão, aumento da frequência respiratória e morte por asfixia pelo bloqueio dos comandos que controlam a respiração. Os primeiros socorros recomendados são lavar o local e levar a vítima ao atendimento médico. Compressas mornas e analgésicos podem aliviar a dor.

Figura 2.14 | Exemplar de escorpião-amarelo (*Tityus serrulatus*)

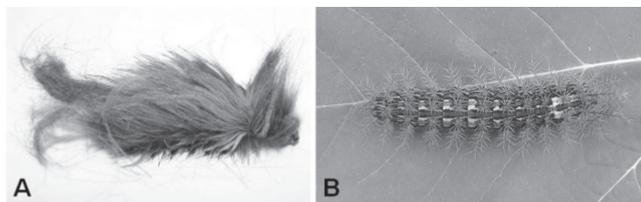


Fonte: <<http://www.ivb.rj.gov.br/imagens/escorpiao2.jpg>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

Lagartas: possuem corpos recobertos por cerdas urticantes que, ao serem tocadas, injetam suas toxinas nos predadores. No Brasil, as espécies que mais causam acidentes pertencem às famílias Megalopygidae (lagarta-cachorrinho) e Saturniidae (lagarta-

taturana) (Figura 2.15). Os sintomas são apenas locais, como dores locais intensas que se irradiam pelo corpo, exceto o gênero da lagarta-taturana (*Lonomia*), que induz alterações sistêmicas. Suas toxinas contêm alcaloides, esteroides, histaminas e proteínas que alteram a coagulação sanguínea, induzem hemorragias espontâneas (sem causa aparente), lesões na pele, hematomas, náuseas e vômitos. Em caso de acidente, deve-se lavar o local, fazer compressa fria e procurar atendimento médico. Os acidentes com *Lonomia* precisam de avaliação médica, caso seja necessário fazer tratamento com soroterapia. O Brasil é o único país produtor do soro antilonômico (SALon), específico para o tratamento de acidentes causados por essas lagartas.

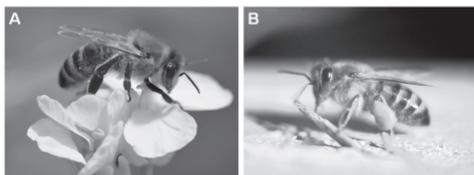
Figura 2.15 | Lagarta-cachorrinho (*Lonomia obliqua*) (A) e Lagarta-taturana (*Podalia sp.*) (B)



Fonte: <http://www.cit.sc.gov.br/site/?page_id=775>. Acesso em: 24 jun. 2017.

Abelhas: possuem um aparelho inoculador chamado ferrão, responsável pela injeção de suas toxinas em predadores. As espécies mais conhecidas são a *Apis mellifera* e *Apis mellifera scutellata* (abelha africanizada) (Figura 2.16). Suas toxinas contêm proteínas, enzimas, histaminas, dopaminas, lipídeos, entre outros elementos que geram dor local, queimação, vermelhidão, edemas e prurido (coceira). Aproximadamente 50 picadas são o suficiente para causar disfunções respiratórias, hipertensão, problemas cardíacos, hepáticos e falência renal, e 100 picadas tornam o efeito potencialmente letal. Como primeiros socorros, o ferrão deve ser removido, o local lavado, e compressas frias e analgésicos aliviam a dor. Mas reações alérgicas podem causar efeitos graves, como náuseas, cólicas intestinais, dificuldade para respirar, aumento da pressão arterial, choque anafilático e morte, necessitando de atendimento médico imediato.

Figura 2.16 | Abelhas *Apis mellifera* (A) e *Apis mellifera scutellata* (abelha africanizada) (B)



Fonte: <<https://goo.gl/cbAzVs>>; <<https://goo.gl/qVbkhN>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

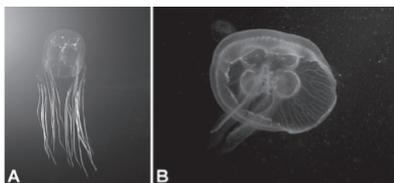


Refleta

Você sabe por que as abelhas atacam em enxames? Ao injetar toxinas em um indivíduo, as primeiras abelhas liberam um feromônio para que outras abelhas ataquem o mesmo alvo.

Águas-vivas: possuem cnidócitos (células urticantes) contendo o nematocisto, uma cápsula injetora de toxinas em presas e predadores. Os cnidócitos concentram-se nos tentáculos e, ao serem tocados, os nematocistos ejetam minúsculos espinhos que penetram a pele e injetam toxinas, causando intensa sensação de queimadura, calafrios, náuseas e dores de cabeça, além de ser paralisante do sistema nervoso. As águas-vivas habitam ambientes marinhos e variam entre 2 cm a 2 m de comprimento. A medusa-da-lua (*Aurelia aurita*) (Figura 2.17 A) possui toxinas de baixa toxicidade e é encontrada em todos os oceanos do mundo, ao contrário da vespa-do-mar (*Chironex fleckeri*) (Figura 2.17 B), com toxinas que levam à falência circulatória, paralisia respiratória e morte em três minutos, encontrada no Caribe e Estados Unidos. Como primeiros socorros, os espinhos devem ser removidos, aplicando-se vinagre doméstico sobre a lesão a fim de bloquear mais ferroadas mesmo após a remoção dos tentáculos ou morte da água-viva.

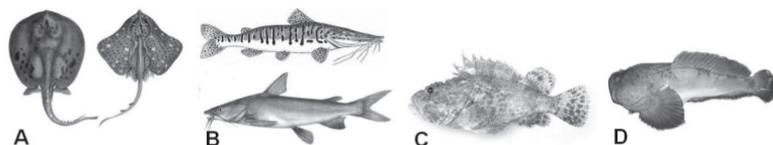
Figura 2.17 | Água-viva vespa-do-mar (*Chironex fleckeri*) (A) e medusa-da-lua (*Aurelia aurita*) (B)



Fonte: <<https://goo.gl/fkBgGG>>; <<https://goo.gl/Tyz5fD>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

Peixes peçonhentos: possuem esporões com toxinas localizados nas nadadeiras dorsais e peitorais e/ou na cauda. No Brasil, existem cerca de 40 espécies de peixes peçonhentos, entre eles a arraia de água doce (*Potamotrygon sp.*) (Figura 2.18 A), o bagre (*Cathorops sp.*) (Figura 2.18 B), o peixe-escorpião (*Scorpaena plumieri*) (Figura 2.18 C) e o niquim (*Thalassophryne nattereri*) (Figura 2.18 D). Em geral, suas toxinas contêm proteínas que provocam lesões puntiformes, lacerantes e muitas vezes profundas, com grande sangramento. Os sintomas incluem dor pulsátil, espasmódica ou latejante, hipotensão arterial, taquicardia, vômitos, diarreias, sudorese e paralisia muscular. Como primeiros socorros, deve-se imergir o local afetado em água quente (43-45°C) por 30 a 40 minutos, ou até a dor diminuir, visto que as toxinas são termossensíveis, ou seja, se desnaturam com o calor.

Figura 2.18 | Peixes peçonhentos: arraia (*Potamotrygon sp.*) (A), bagre (*Cathorops sp.*) (B), peixe-escorpião (*Scorpaena sp.*) (C), niquim (*Thalassophryne nattereri*) (D)



Fonte: <<http://imunorregulacaoibu.com.br/7-pesquisa/22-peixes-peconhentos/50-peixes-peconhentos>>. Acesso em: 24 jun. 2017.



Pesquise mais

Existem espécies de peixes venenosos, com toxinas na pele, músculos, vísceras e/ou gônadas, cuja ingestão causa intoxicações. Ao contrário das toxinas de peixes peçonhentos, estas não são termossensíveis, portanto não são destruídas pelo calor. Para saber mais, acesse a apresentação *O fascinante mundo dos peixes peçonhentos e venenosos*, de Gervaz (2014), Disponível em: <<https://prezi.com/xojipqw18vx5/o-fascinante-mundo-dos-peixes-peconhentos-e-venenosos/>> Acesso em: 24 jun. 2017.

Agora, finalizamos mais uma etapa desta jornada. Você compreendeu diversas fontes toxicológicas, com enfoque nas fontes naturais. Todavia, sabemos que existem milhares de outras fontes capazes de induzir danos tóxicos. Portanto, que tal você exercitar a identificação de potenciais fontes de toxicidade ao

seu redor? Na próxima unidade, abordaremos agentes tóxicos específicos de origem antropogênica. Bons estudos e até lá!

Sem medo de errar

Caro aluno,

Voltando ao nosso desafio, vamos ajudar os trabalhadores do distrito industrial de Barreiras? Após aprender sobre os animais peçonhentos, você e seus colegas consultores poderiam providenciar um levantamento dos animais existentes no distrito industrial, assim como foi sugerido para as plantas tóxicas. Sabemos que a diversidade dos organismos ali viventes pode ser alta, o que dificulta o levantamento. Portanto, foque em áreas de bosques que os trabalhadores frequentemente usam para descanso ou para qualquer outro tipo de atividade. Dê continuidade à ao quadro elaborado na seção anterior, todavia, com os dados levantados para os animais peçonhentos, tais como nome popular e científico dos organismos e suas respectivas toxinas e toxicidades, como demonstrado no Quadro 2.5. Não se esqueça de que as toxinas de animais são, em geral, misturas complexas, portanto o item “toxina” pode ser complementado apenas com os principais componentes.

Quadro 2.5 | Animais peçonhentos presentes no distrito industrial de Barreiras (BA).

Animal	Espécie	Toxina	Local	Ação local	Ação sistêmica
Abelha	<i>Apis mellifera</i>	Proteínas Enzimas Histaminas Dopaminas Lipídeos	Ferrão	<ul style="list-style-type: none">• Dor e queimação• Edemas• Prurido• Morte	<ul style="list-style-type: none">• Hipertensão• Disfunção respiratória• Taquicardia• Alterações hepáticas• Falência renal• Morte

Fonte: elaborada pelo autor.

Em relação aos sintomas induzidos, é difícil generalizá-los devido à alta complexidade das toxinas animais. Existem diversos sítios ativos ou receptores a que estas toxinas se ligam, induzindo diferentes efeitos, dentre eles os locais (inchaço, vermelhidão, prurido) e os sistêmicos (neurotoxicidade, taquicardia). Portanto,

previna os trabalhadores do local sobre a presença de potenciais animais peçonhentos na área, e aconselhe a leitura de cartilhas com informações a respeito destes animais peçonhentos, como o Manual de Primeiros Socorros, elaborado pela Fiocruz. Disponível em: <<http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/manuais/biosseguranca/manualdeprimeirossocorros.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2017. Para se aprofundar mais no tema, também existe o Manual de Diagnóstico e Tratamento de Acidentes por Animais Peçonhentos, elaborado pela Fundação Nacional da Saúde (Funasa). Disponível em: <http://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/publicacoes/funasa/manu_peconhentos.pdf>. Acesso em 24 jun. 2017.

É importante, também, que a empresa implemente um programa de avaliação e notificação de riscos associados ao trabalho. Portanto, recomende a inclusão do item “acidentes por animais peçonhentos” em um mapa de riscos, auxiliando na informação dos trabalhadores. De acordo com a Norma Regulamentadora 5 (NR 5), a identificação dos riscos do processo de trabalho e elaboração de mapas de riscos é de responsabilidade da Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA), portanto vale a pena verificar o trabalho da CIPA e o mapa de risco elaborado.

Em casos de intoxicações, recomende o isolamento da área e a retirada ou diminuição da exposição, até que um profissional da área médica analise o caso. Como os primeiros socorros variam de acordo com a toxina, seja cauteloso! Analise a situação imediatamente e recorra às recomendações de primeiros socorros sugeridas pelos manuais.

E para concluir a segunda fase de identificação dos agentes tóxicos na área em estudo, você e seus colegas de trabalho finalizarão o relatório técnico ambiental ao prefeito de Barreiras. Você está lembrado do primeiro relatório entregue ao finalizar a Unidade 1? Nele havia informações básicas de caracterização do local de estudo, identificação das emissões de poluentes e suas respectivas classificações, além das considerações finais baseadas nas legislações que você conheceu. Pois agora complementaremos este relatório com informações sobre o levantamento e a identificação de agentes tóxicos de fontes

naturais (plantas e animais). Aproveite para completar o Mapa Mental iniciado na Seção 1.1 com as toxinas de fontes naturais, e o insira no relatório. Não se esqueça: use sua criatividade! Como você faria o levantamento das potenciais toxinas presentes no local?

Avançando na prática

Temporada de chuvas e animais peçonhentos

Descrição da situação-problema

Caro aluno,

Vamos analisar uma situação cotidiana? Sabemos que a temporada de chuvas e a falta de saneamento básico estão diretamente relacionadas com a infestação por animais peçonhentos em áreas urbanas. O acúmulo de lixo em locais inapropriados, por exemplo, aumenta a infestação por estes animais, especialmente em épocas chuvosas. Agora, imagine que estamos na temporada de chuvas diárias, e diversos casos de acidentes por animais peçonhentos foram registrados em uma empresa atuante no mercado de soja. Sua estrutura física conta com uma unidade de processamento e diversos armazéns que guardam os grãos já processados até sua comercialização. Por descuido da empresa, restos de sacos, caixas e grãos podres foram deixados em um galpão próximo aos armazéns por vários dias até serem devidamente descartados.

Diante desta situação, a empresa solicitou que você os auxilie nesta problemática. Quais providências você os aconselharia tomar? Que estratégias poderiam contribuir para a melhoria da saúde ocupacional?

Resolução da situação-problema

Na situação exposta, é importante que você primeiramente faça um levantamento dos registros de acidentes por animais

peçonhentos. Será que a grande maioria dos casos se trata de picadas por escorpiões? Também é de suma importância saber quais são os possíveis animais peçonhentos presentes na área, principalmente na temporada de chuvas. Após o levantamento dos animais peçonhentos e a quantidade de acidentes que cada um deles causa, relacione os locais de maior ocorrência para cada tipo de acidente. A partir disto, enfatize à empresa a importância de fazer sinalizações com os mapas de riscos setoriais, ou seja, com alertas especiais nas áreas de maior ocorrência de acidentes.

Em relação ao galpão de armazenamento de descartes, recomende a melhor forma de armazená-los e descartá-los (conforme a legislação vigente), de forma que nem o ambiente e nem os processos industriais da empresa sejam prejudicados, tornando o descarte de resíduos mais eficiente. Lembre-se de que em temporadas de chuvas os animais peçonhentos tendem a sair à procura de novos abrigos, portanto as frestas devem ser vedadas e as janelas, preferencialmente fechadas com telas; as áreas internas e ao redor do local ser mantidas limpas; e caixas e quaisquer outros locais escuros devem ser cuidadosamente verificados, pois servem de esconderijo a muitos desses animais.

Faça valer a pena

1. A toxicidade das toxinas produzidas pelos animais peçonhentos é determinada pela sua composição. Entretanto, diversas características alteram seus efeitos tóxicos.

Assinale a alternativa com os fatores em sequência de acontecimentos da toxicocinética que podem alterar os efeitos tóxicos das toxinas:

- a) A ligação com o sítio alvo, as reações em cascata e o desencadeamento da intoxicação.
- b) A via de absorção, a capacidade de atravessar membranas celulares, o potencial de acumulação e a metabolização.
- c) A via de absorção, os sintomas e os sinais clínicos.
- d) Os sinais clínicos, os sintomas e as alterações fisiológicas.
- e) A capacidade de atravessar membranas celulares, os efeitos adversos e a intoxicação.

2. Os animais peçonhentos produzem toxinas altamente complexas, capazes de induzir diferentes tipos de efeito tóxico.

Assinale a alternativa com a correta associação entre o animal e os efeitos tóxicos provocados pela sua toxina:

a) Abelhas: suas toxinas induzem dor local, queimação, vermelhidão, edemas e prurido. Diversas picadas simultâneas podem causar disfunções respiratórias, hipertensão, problemas cardíacos, hepáticos e falência renal, mas nunca são letais.

b) Lagartas: suas toxinas sempre induzem quadros de envenenamento sistêmico, como problemas de coagulação sanguínea, hemorragias espontâneas (sem causa aparente), lesões na pele, hematomas, náuseas e vômitos.

c) Escorpiões: possuem toxinas neurotóxicas e de efeito crônico, ou seja, se manifestam e permanecem a longo prazo. Os sintomas incluem dor intensa, taquicardia, hipertensão, aumento da frequência respiratória e morte por asfixia pelo bloqueio dos comandos que controlam a respiração.

d) Aranhas-marrons: sua picada é extremamente dolorida e pode causar vermelhidões locais e irradiação de dores para tecidos adjacentes. Também causam taquicardia, hipertensão, agitação psicomotora, enrijecimento muscular, edemas no pulmão e morte.

e) Serpentes: suas toxinas alteram os vasos sanguíneos e os mecanismos de coagulação do sangue, causando hemorragias locais e em outros tecidos. Também causam paralisia muscular dos olhos, da face, da deglutição, grandes músculos e, por fim, musculatura respiratória e consequente morte por asfixia.

3. No Brasil, existem diversas espécies de peixes peçonhentos capazes de produzir toxinas ativas ao ser humano.

Assinale a alternativa correta com relação ao tema:

a) O envenenamento por toxinas de peixes causa apenas lesões locais puntiformes, lacerantes e muitas vezes profundas, com grande sangramento.

b) Toxinas de peixes podem induzir hipotensão arterial, taquicardia, vômitos, diarreias, sudorese e paralisia muscular.

c) As toxinas de peixes peçonhentos são altamente estáveis, sendo de difícil degradação após cocção.

d) Os peixes possuem cnidócitos, onde se concentram as toxinas. Ao tocá-los, o nematocisto ejeta um minúsculo espinho, que penetra na pele e injeta toxinas irritantes.

e) As águas-vivas são peixes com esporões distribuídos na cauda, que causam intensa sensação de queimadura, calafrios, náuseas e dores de cabeça, além de serem potentes agentes neurotóxicos paralisantes do sistema nervoso.

Referências

ALMEIDA, M. et al. **Redução do teor de flúor nos efluentes gasosos da indústria cerâmica.** Cerâmica Industrial, v. 6, n. 3, p. 7-13, 2001.

AMERICAN CHEMICAL SOCIETY (ACS). **CAS Assigns the 100 Millionth CAS Registry Number® to a Substance Designed to Treat Acute Myeloid Leukemia.** 2015. Disponível em: <<http://www.cas.org/news/media-releases/100-millionth-substance>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

ANDRADE, M. et al. Compostos carbonílicos atmosféricos: fontes, reatividade, níveis de concentração e efeitos toxicológicos. **Química Nova**, v. 25, n. 6B, p. 1117-1131, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Intoxicações por Plantas Tóxicas.** Disponível em: <http://www.saude.pr.gov.br/arquivos/File/zoonoses_intoxicacoes/plantas/Intoxicacoes_por_Plantas_Toxicas.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2017.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria n.º 1469, de 29 de dezembro de 2000.** Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Portaria_MS_1469-00.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2017.

_____. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. **Manual de diagnóstico e tratamento de acidentes por animais peçonhentos.** 2. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2001, 120p. Disponível em: <http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/funasa/manu_peconhentos.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2017.

_____. Ministério da Saúde. Fundação Instituto Oswaldo Cruz. **Manual de primeiros socorros.** Rio de Janeiro: Fundação Instituto Oswaldo Cruz, 2003, 170p. Disponível em: <<http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/manuais/biosseguranca/manualdeprimeirosocorros.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

_____. Ministério da Saúde. **Sistema de informação de agravos de notificação.** Dados Epidemiológicos Sinan. Disponível em: <<http://portalsinan.saude.gov.br/dados-epidemiologicos-sinan>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. **Portaria n.º 25, de 29 de dezembro de 1994.** Aprova o texto da Norma Regulamentadora n.º 9 - Riscos Ambientais e inclui na Norma Regulamentadora n.º 5, item 5.16, a alínea "o". Disponível em: <http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Portaria_MS_1469-00.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2017.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 05. Comissão Interna de Prevenção de Acidentes. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_05.pdf> 2009. Acesso em: 24 jun. 2017.

_____. **Resolução Conama nº 316, de 29 de outubro de 2002.** Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. s. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=338>>. Acesso em: 22 ago. 2017.

BRASIL. **Resolução Conama 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. . Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 22 ago. 2017.

BROOKE, D.; RIBEIRO, D.; RODRIGUES, L.; CAMPOS, M.; MENDES, R. Algas e seus impactos em sistemas de tratamento de águas para abastecimento: estudo de caso sistema Guarapiranga. **Microbiologia Aplicada a Operações e Processos de Engenharia Sanitária e Ambiental.** São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo. p. 9, 2008.

CAMPOS, S. C. et al. Toxicidade de espécies vegetais. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 18, n. 1, supl. I, p. 373-382, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-084X/15_057> Acesso em: 24 jun. 2017

CORREIA, S. J.; DAVID, J. P.; DAVID, J. M. Metabólitos secundários de espécies de Anacardiaceae. **Química Nova**, v. 29, n. 6, p. 1287-1300, 2006.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Série Relatórios: Qualidade do ar no estado de São Paulo.** São Paulo (SP): CETESB, 2012. 124p.

COSTA, L. C.; FERREIRA, A. P.; NEVES, E. B. Aplicação do Sistema de Projeção de Poluição Industrial (Modelo IPPS) na bacia hidrográfica da baía de Sepetiba (Rio de Janeiro, Brasil): estudo de caso. **Caderno de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 66-73, 2011.

FREITAS, R. et al. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 167-185, 2005.

GASPAR, A. Alergênicos do látex/padrões de sensibilização. **Revista Portuguesa de Imunoalergologia**, v. 13, supl. I, p. 13-17, 2005.

HESS, P. L.; SQUAIELLA-BAPTISTÃO, C. C. Toxinas animais: serpentes da família Colubridae e seus venenos. **Estud. Biol**, v. 34, n. 83, p. 135-142, 2012.

JACONDINO, G. B.; CYBIS, H. B. B. **Avaliação de modelos de emissão de poluentes em simuladores de tráfego.** Disponível em: <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/art_cybis31.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2017.

KLAASSEN, C. D.; AMDUR, M. O.; DOULL, J. **Casarett and Doull's toxicology: the basic science of poisons.** New York: McGraw-Hill, 1996, 5. ed. 1111 p.

LANDMANN, M. C. **Estimativa das emissões de poluentes dos automóveis na RMSP considerando as rotas de tráfego.** Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro2/GT/GT11/marcelo_camilli.pdf>. Acesso em: 24 jun 2017.

LINA, J. et al. China's international trade and air pollution in the United States. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 5, p. 1736-1741, 2014. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1312860111>.

LOUREIRO, L. N. **Panorâmica sobre emissões atmosféricas estudo de caso: avaliação do inventário emissões atmosféricas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro para fontes móveis**. Tese. (Mestrado em ciências) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

MATOS, E. H. S. F. **Dossiê Técnico: plantas tóxicas mais comuns no Brasil**. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico - CDT/UnB, 2012.

OLIVEIRA, M. et al. Toxinas de cianobactérias e microalgas marinhas: um desafio para a ecotoxicologia aquática. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes**: Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 57-80, 2010.

PINTO. **Análise das emissões veiculares em regiões urbanas e metodologia para quantificação de poluentes**. Dissertação. (Mestrado em engenharia ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, 2005.

POTRICH, A. L.; TEIXEIRA, C. E.; FINOTTI, A. R. Avaliação de impactos ambientais como ferramenta de gestão ambiental aplicada aos resíduos sólidos do setor de pintura de uma indústria automotiva. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 3, n. 3, p. 162-175, 2007.

RÓTULO, D. E. **Negociação e implementação de acordos de poluição transfronteiriça: o caso Brasil-Uruguai em relação à termelétrica de Candiota (RS)**, 2003, 387 f. Tese (doutorado), Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas, Fundação Getúlio Vargas, 2003.

SANCHES, M. et al. Presença da toxina microcistina em água, impactos na saúde pública e medidas de controle. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 33, n. 2, p. 181-187, 2012.

SANDINI, T. M.; BERTO, M. S. U.; SPINOSA, H. S. Senecio brasiliensis e alcaloides pirrolizidínicos: toxicidade em animais e na saúde humana. **Biotemas**, v. 26, n. 2, p. 83-92, 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/view/26024>> Acesso em: 24 jun. 2017

SITPRIJA, V.; SUTEPARAK, S. Animal toxins: an overview. **Asian Biomedicine**, v. 2, n. 6, p. 451-457, 2008.

SOR, J. L et al. **Relatório piloto com aplicação da metodologia IPPS ao Estado do Rio de Janeiro: uma estimativa do potencial de poluição industrial do ar**. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2008.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (2002) User's Guide to MOBILE 6.0 –Mobile Source Emission Factor Model. EPA 420-R-02-001.

_____. **TSCA Chemical Substance Inventory**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/oppt/existingchemicals/pubs/tscainventory/index.html>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

UNIVERSITY OF CONNECTICUT PLANT DATABASE, Mark H. Brand, **Department of Plant Science and Landscape Architecture, Storrs**, CT 06269-4067 USA. Disponível em: <<http://hort.uconn.edu/>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

USDA, NRCS. 2017. **The PLANTS Database. National Plant Data Team**, Greensboro, NC 27401-4901 USA. Disponível em: <<http://plants.usda.gov>>. Acesso em: 24 jun. 2017.

VIRGENS, I. O. et al. Revisão: *Jatropha curcas* L.: aspectos morfofisiológicos e químicos. **Brazilian Journal of Food and Technology**, v. 20, e2016030, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1981-67232017000100300&lng=pt&tlng=pt> Acesso em: 24 jun. 2017.

Tipos de toxicologia

Convite ao estudo

Caro aluno,

na Unidade 2 nós aprendemos sobre diversos agentes tóxicos de origem antrópica, como a emissão de poluentes industriais ou por veículos automotores; e naturais, como toxinas produzidas por plantas e animais. Nesta unidade nós continuaremos nossos estudos sobre a toxicidade de agentes tóxicos provenientes de fontes antropogênicas: as indústrias. A expansão industrial possibilitou uma vida mais confortável, modernizou diversos processos da agricultura e trouxe consigo bilhões de toneladas de resíduos.

Vamos retomar o trabalho da empresa de consultoria? Você e seus colegas consultores iniciaram uma terceira fase do trabalho. Agora vocês avaliarão uma segunda indústria presente na área em estudo: uma famosa fábrica de fertilizantes e agrotóxicos largamente utilizados por agricultores. Como maior desafio, os agrotóxicos possuem diversos agentes tóxicos compondo suas formulações, tais como os ingredientes ativos e outras substâncias declaradas inativas, que são mantidas confidenciais pelos fabricantes. Além da potencial toxicidade das formulações, as atividades industriais também utilizam substâncias químicas consideradas perigosas durante o processamento dos produtos. Portanto, as indústrias de agrotóxicos e fertilizantes são produtoras de toneladas de agentes tóxicos, causando impactos diretos no ambiente local. E quais os efeitos que os agentes tóxicos lançados por esta indústria causam no ambiente? Como identificar as populações que estão em risco?

Nesta nova etapa da nossa jornada abordaremos os metais, solventes e praguicidas, extensivamente utilizados e/ou

produzidos pelas indústrias e causadores de grandes impactos ambientais, e enfatizaremos suas características toxicológicas. Seja bem-vindo à nova unidade e vamos lá!

Seção 3.1

Toxicologia dos metais

Diálogo aberto

Caro aluno,

Nesta seção nós iniciaremos nossos estudos sobre a toxicidade dos metais, abordando as principais fontes de emissão industrial e suas características toxicológicas. Você sabia que nós precisamos de alguns metais para funções vitais do nosso organismo? Todavia, a dose dos metais dita a indução de seus benefícios ou de seus efeitos tóxicos.

Para começar esta nova fase, você e seus colegas consultores terão um novo desafio: foram solicitados para levantar informações sobre a contaminação do solo local pela Indústria de Fertilizantes e Agrotóxicos. Esta indústria era a maior poluidora do Rio Grande, mas após ser notificada pelo INEMA (Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia), começou o tratamento correto de seus efluentes. Entretanto, o prefeito recebeu uma denúncia anônima sobre o descarte de resíduos de fertilizantes químicos no solo. Imediatamente, ele ligou à sua equipe de consultores para contar o caso. De acordo com as informações coletadas (Quadro 3.1), esta indústria lança efluentes líquidos em solo sem revestimento.

Quadro 3.1 | Valores de metais encontrados no solo e limites máximos de metais permitidos em fertilizantes orgânicos.

Resíduos	Valor encontrado no solo (mg/kg)	Valor máximo permitido (mg/kg)*
Cadmio	0,7	3
Chumbo	56	150
Cromo hexavalente	0,3	2
Mercúrio	0,09	1
Níquel	18	70

Fonte: adaptado de Brasil (2006).

Além disso, uma pequena horta utilizada na alimentação dos funcionários está instalada ao lado da fábrica, o que preocupou o prefeito. Todavia, ele ficou aliviado ao perceber que as concentrações de resíduos encontrados no solo eram mais baixas que o valor máximo permitido. Percebendo o erro do prefeito, vocês precisam orientá-lo! O que há de errado com a interpretação do prefeito? Quais são os impactos que estes efluentes podem causar ao local? Que risco os trabalhadores locais estão sujeitos? Para auxiliá-lo, nesta seção, discutiremos a toxicologia dos metais. Selecionamos alguns dos principais metais para a toxicologia ambiental: chumbo, cádmio, arsênio, mercúrio, cromo, níquel e manganês. Que tal conhecer um pouco mais sobre cada um deles? Prepare-se para esta nova etapa e vamos lá!

Não pode faltar

Os metais são elementos químicos definidos de acordo com as propriedades físicas: refletividade (brilho), condutividade elétrica, condutividade térmica, maleabilidade, dureza, ductilidade e densidade. À temperatura ambiente (25 °C), os metais são sólidos, com exceção do mercúrio, que possui ponto de fusão muito baixo (-38°C). Os metais pesados como os elementos químicos com densidade maior que 4 g/m^3 e peso atômico entre 63,546 e 200,590, dentre eles o chumbo, cádmio, arsênio, mercúrio, cromo, níquel e manganês. Como característica geral, os metais ocorrem naturalmente na crosta terrestre, não podendo ser criados de forma antropogênica, além de serem indestrutíveis, ou seja, não são biodegradáveis, o que contribui para a bioacumulação deles nos organismos vivos.

A distribuição dos metais pela biosfera ocorre pelos ciclos biogeoquímicos, com a incorporação por plantas e animais em alimentos, eventos como a chuva, que dissolve metais de rochas para corpos hídricos e ressuspende metais de solos e sedimentos. Entretanto, o aumento na concentração de metais no ambiente está diretamente relacionado com as emissões antropogênicas,

intensificadas após a Revolução Industrial, e o seu excesso pode causar um estresse na biota local.

Apesar dos efeitos tóxicos dos metais, alguns desempenham funções **essenciais** para determinados processos fisiológicos dos seres vivos, como é o caso do ferro, essencial no transporte de oxigênio e formação da hemoglobina; o cálcio, essencial para a estrutura óssea; o cobre, essencial na fotossíntese; dentre outros, como o magnésio, cromo; manganês; níquel; cobre; cobalto; e molibdênio, envolvidos em outros processos metabólicos. Por outro lado, alguns metais **não essenciais** podem causar danos aos seres vivos (Figura 3.1).

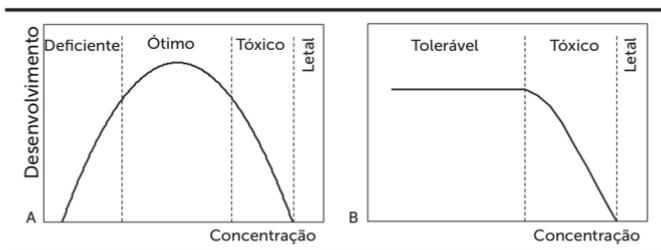


Assimile

Apesar de os seres vivos necessitarem de pequenas quantidades de alguns metais para a realização de funções vitais, níveis excessivos podem ser extremamente tóxicos. Já os metais não essenciais não possuem nenhuma função para os organismos e a sua acumulação provoca doenças graves.

Na Figura 3,1, vemos o comportamento de metais no organismo: (A) essenciais e (B) não essenciais. Os efeitos tóxicos de um metal são determinados pela concentração presente nos seres vivos: metais essenciais possuem uma faixa de concentração ótima para desempenhar funções essenciais em processos fisiológicos, enquanto que metais não essenciais possuem um limite de concentração tolerável. Concentrações superiores aos limites ótimos e toleráveis podem ser tóxicas.

Figura 3.1 | Comportamento de metais no organismo: (A) essenciais; (B) não essenciais



Fonte: adaptada de Lima e Merçon (2011).

Geralmente, o mecanismo de toxicidade dos metais ocorre pela inativação de enzimas proteicas. Entretanto, alguns fatores alteram significativamente os efeitos tóxicos, como a idade e as condições físicas do organismo exposto. A toxicidade de um metal também é dependente da espécie química que se encontra no ambiente, podendo ser uma espécie livre, ou formar compostos inorgânicos ou orgânicos. De acordo com a espécie química, cada metal pode reagir com uma grande variedade de moléculas biológicas e apresentar diferentes efeitos tóxicos sobre os seres vivos.

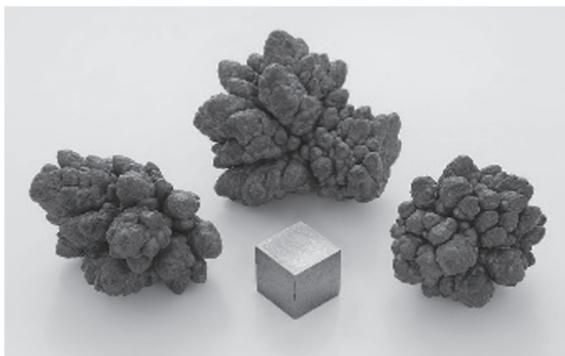
Uma característica importante a se levar em conta é a solubilidade dos metais, também dependente da espécie química em que se encontra, da temperatura e do pH do local. Por exemplo, a diminuição do pH aumenta a solubilidade dos metais, enquanto a elevação do pH é utilizada no processo de precipitação química de metais em tratamento de efluentes industriais. As formas hidrossolúveis são mais facilmente absorvidas pelas plantas, aumentando o risco de entrarem na cadeia trófica, e também podem ser lixiviadas, aumentando a mobilidade dos metais no ambiente e oferecendo risco de poluição para as águas subterrâneas. Já as formas lipossolúveis tendem a se adsorverem em solos e sedimentos, diminuindo a disponibilidade e mobilidade do metal.

No Brasil, existem limites toleráveis de metais utilizados na fabricação de determinados produtos que podem ser ingeridos diariamente ou serem lançados no ambiente, estabelecidos por legislações e resoluções específicas. Uma ferramenta de monitoramento ambiental é a quantificação da biomassa da microbiota local e suas atividades enzimáticas, que aumentam como forma de compensação à exposição a metais. Outra ferramenta de monitoramento dos metais na biota é a quantificação de enzimas da família metalotioneínas, presentes em microrganismos eucariontes e procariontes, plantas superiores e todo o reino animal. Estas enzimas se ligam aos metais e atuam na sua detoxificação, sendo utilizadas como biomarcadores biológicos, ou seja, o aumento na quantidade de metalotioneínas é uma resposta ao aumento dos níveis de metais no organismo.

A seguir, exemplificaremos a toxicidade dos metais de maior importância para a toxicologia ambiental: chumbo, cádmio, arsênio, mercúrio, cromo, níquel e manganês.

Chumbo (Pb): sua principal fonte natural é o minério galena, além de ser encontrado em concentrações menores no carvão, petróleo e em outros minerais. Placas de Pb são mundialmente utilizadas como escudo contra raios X devido à alta densidade do metal. A capacidade de bloquear a radiação está relacionada com a nuvem de elétrons que gira ao redor do núcleo dos átomos de Pb, facilitando a dissipação da energia contida no raio X. Os sais inorgânicos de Pb são insolúveis em água, exceto o nitrato, clorato e cloreto de Pb, e são utilizados por indústrias metalúrgicas, de fundições, de papel, incineradores de resíduos, usinas de produção de energia e baterias de veículos automotores. Também encontrados em tintas, soldas e encanamentos antigos. Já as formas orgânicas, como o Pb tetraetila $((\text{CH}_3 \text{CH}_2)_4 \text{Pb})$, além de serem insolúveis em água, são altamente voláteis, o que permite que o Pb seja transportado para a atmosfera, distribuindo-se de forma rápida para diversos locais afastados das fontes emissoras.

Figura 3.2 | Chumbo



Fonte: <goo.gl/DhyGJq>. Acesso em: 2 ago. 2017.

O Pb orgânico é absorvido mais facilmente pelos seres vivos, sobretudo pelas vias de exposição inalatória e gastrointestinal. Após a absorção, o Pb é distribuído para o sangue e tecidos, e parte dele é excretada pela urina e, em menores quantidades, pelas fezes, suor e cabelo. Outra parte é armazenada nos tecidos mineralizados, como os ossos e dentes. Eles contêm 90% a 95% do Pb presente em adultos e 70% em crianças. A meia-vida do Pb pode atingir 30 anos, entretanto, com o aumento da idade, ele é liberado para o

sangue devido à descalcificação dos ossos. Os efeitos tóxicos são mutagênicos e carcinogênicos, induzindo câncer de pulmão, cérebro e bexiga, além de afetar cronicamente o sistema gastrointestinal, cardiovascular, renal, reprodutivo, endócrino e, principalmente, o sistema nervoso, causando encefalopatias. No ambiente, os sais inorgânicos de Pb tendem a se precipitar devido à baixa solubilidade em água, diminuindo a biodisponibilidade. Entretanto, plantas podem incorporar o Pb presente tanto no ar quanto na água e solo, transferindo-o aos animais pela cadeia alimentar.



Exemplificando

As crianças são as mais vulneráveis aos efeitos tóxicos do Pb. Elas estão expostas no útero devido à capacidade do Pb de atravessar a placenta e de estar presente na amamentação com leite materno. Elas também se expõem ao levarem à boca a mão suja com poeira ou tinta contendo Pb. O intestino de crianças também absorve o Pb mais rápido do que o de adultos. Além disso, o sistema nervoso é mais sensível e a sua taxa de respiração é mais elevada, aumentando a exposição. Os efeitos tóxicos induzem déficits cognitivos de aprendizagem e memória.

Até a década de 80, o Pb tetraetila era largamente aplicado como aditivo à gasolina, mas, devido à alta toxicidade do Pb, esta adição foi proibida em vários países, incluindo o Brasil (Resolução CONAMA 18/1986). Atualmente, o uso do Pb também é proibido no Brasil em soldas de embalagens metálicas para acondicionamento de gêneros alimentícios, exceto para produtos secos ou desidratados (Lei 9.832/1999). Também foi fixado um limite máximo de Pb na fabricação de pilhas e baterias (Resolução CONAMA 401/2008, alterada pela 424/2010) e para tintas imobiliárias e de uso infantil e escolar, vernizes e materiais similares (Lei 11.762/2008). Apesar do uso reduzido do Pb, ainda assim os níveis no ambiente continuam altos, sendo ele classificado como poluente global.

Cádmio (Cd): é um metal encontrado em minérios de zinco, chumbo e cobre, e em concentrações baixas no carvão, petróleo, rochas e solo. Existem diversos sais inorgânicos de Cd bastante solúveis em água, como o cloreto, sulfato e acetato de Cd, facilitando a mobilidade no ambiente pelos recursos hídricos.

Por outro lado, os óxidos, hidróxidos e sulfetos de Cd são pouco solúveis, e não existem evidências de formas orgânicas de Cd no ambiente. Na indústria, ele é utilizado na galvanoplastia, fabricação de pigmentos, plásticos, fertilizantes e, principalmente, baterias, além de ser produto secundário de metalúrgicas de zinco. O Cd também é um importante metal para o avanço tecnológico, aplicado em indústrias de eletrônica, comunicação, aeroespacial, na geração de energia e em baterias recarregáveis.

Figura 3.3 | Cadmio



Fonte: <goo.gl/4JIRUZ> Acesso em: 2 ago. 2017.

A principal via de exposição ao Cd é a inalatória e, secundariamente, a gastrointestinal. Após a absorção, o Cd é distribuído para o sangue e tecidos, sendo uma parte excretada pela urina e outra parte armazenada principalmente nos rins e no fígado. A meia-vida do Cd atinge de 30 a 40 anos, induzindo efeitos carcinogênicos a longo prazo, além de afetar o sistema respiratório com insuficiência respiratória e edemas pulmonares. Além disso, o sistema gastrointestinal pode apresentar gastroenterite e danos renais crônicos. Os efeitos tóxicos do Cd no ser humano e em outras espécies de animais são muito semelhantes, bioacumulando e biomagnificando ao longo da cadeia alimentar. O crescimento de plantas também é afetado após a absorção do metal pela alteração da abertura dos estômatos, da transpiração e da fotossíntese. Já os invertebrados terrestres são pouco afetados pelo metal.

A disposição final inadequada dos resíduos pela incineração de baterias e plásticos aumenta o Cd atmosférico. Resíduos sólidos dispostos em locais inadequados e a geração de efluentes líquidos

em atividades de extração de minérios também aumentam a contaminação das águas superficiais e do lençol freático. Devido à sua toxicidade, o uso na fabricação pilhas e baterias também foi limitado no Brasil (Resolução CONAMA 401/2008, alterada pela 424/2010).

Arsênio (As): é um semimetal presente em mais de 200 minerais. O As elementar e seus compostos inorgânicos (trióxido e pentóxido de As, arsenito de sódio, arseniato de cálcio, ácido arsênico etc.) possuem baixa solubilidade em água, sendo utilizados em descolorantes, clareadores e dispersantes de bolhas na produção de vidrarias e na conservação de couros e madeiras. O gás arsina (AsH_3) é a espécie de maior toxicidade, sendo utilizado por indústrias de microeletrônicos e semicondutores. As formas orgânicas (ácido arsenílico, ácido metilarsônico e arsenobetaina) são menos tóxicas que as inorgânicas, utilizadas na fabricação de praguicidas, herbicidas e outros produtos agrícolas. Rejeitos de mineração também possuem grandes quantidades de As.

Figura 3.4 | Arsênio



Fonte: <goo.gl/rxAcHb>. Acesso em: 2 ago. 2017.

A absorção gastrointestinal é a principal via de exposição, seguida pela inalatória e dérmica. O As é distribuído por todo o organismo, acumulando-se nas unhas, cabelos e em ossos. Ele induz efeitos carcinogênicos e letais, e pode afetar vários sistemas e órgãos, como a pele e os sistemas respiratório, gastrointestinal e nervoso. Vários estudos demonstraram uma relação dose-efeito entre a exposição ao As inorgânico e um aumento do risco de câncer na pele e pulmões. Em relação aos efeitos tóxicos na biota, o metal inibe o crescimento e a fotossíntese de plantas e altera

a reprodução e o comportamento de animais, além de causar a morte dos organismos.

Mercúrio (Hg): é o único metal líquido à temperatura ambiente. As fontes naturais de Hg incluem atividades vulcânicas, incêndios florestais, entre outras. Devido à grande quantidade de reações químicas das quais o Hg pode participar, vários compostos são formados, orgânicos ou inorgânicos, com características bastante distintas entre si, variando a solubilidade e mobilidade no ambiente. As espécies químicas lipossolúveis, por exemplo, se bioacumulam e biomagnificam ao longo da cadeia alimentar. Amostras de gelo e sedimentos coletadas em áreas distantes de fontes de poluição indicam que o metal aumentou a concentração em três a cinco vezes. Atualmente, as principais aplicações industriais são na produção de cloro-soda, tintas, plásticos, produtos farmacêuticos, baterias, lâmpadas, fungicidas, mineração e produtos eletrônicos, sendo o Hg classificado como poluente global. A amalgamação, amplamente utilizada para extração de metais nobres nos garimpos, principalmente o ouro, acarreta na liberação de mercúrio, por meio da queima do amálgama. Destaca-se o emprego desta técnica na Amazônia (LINHARES et al., 2009).

Qualquer espécie química do Hg presente no ambiente pode ser convertida por bactérias em metilmercúrio, muito tóxico para o ser humano. Após ser absorvido pelo organismo, o Hg pode atravessar a barreira hematoencefálica e atingir o cérebro, o principal órgão armazenador do metal. Devido à neurotoxicidade do metal, os tremores são os sintomas mais característicos, atingindo os membros superiores, lábios e língua.

Figura 3.5 | Mercúrio



Fonte: <goo.gl/Ny7XLG>. Acesso em: 2 ago. 2017.



Você sabia que diversos trabalhadores aposentam por invalidez ao serem expostos ao Hg? Em 1930, diversos ingleses que trabalhavam em fábricas de embalagem de sementes foram expostos ao metilmercúrio utilizado como desinfetante e conservante. Eles desenvolveram a síndrome de Hunter-Russel, que causa perda visual e ataxia cerebelar, com perda da coordenação motora. E no Brasil, quais foram os desastres relacionados ao Hg?

Cromo (Cr): é um metal encontrado na natureza no minério cromita, em rochas, solo, poeiras, névoas vulcânicas, água, plantas e animais. O uso do Cr em indústrias inclui a fabricação de ligas metálicas e estruturas da construção civil, devido à resistência à oxidação, ao desgaste e ao atrito; a fabricação de tintas, pigmentos, conservantes de madeira; e seu uso também se dá na galvanoplastia e indústrias de curtumes. A toxicidade do Cr depende da forma como ele é encontrado. As principais vias de exposição são a inalatória e dérmica. Uma vez absorvido, o Cr é distribuído para vários órgãos e tecidos, concentrando-se especialmente nos rins, pulmões, fígado e baço. Ele induz efeitos carcinogênicos, cutâneos (irritações nas mãos e formação de úlceras), nasais (inflamações e formações crostosas), broncopulmonares (alteram a função respiratória) e gastrointestinais (úlceras gastroduodenais).

Figura 3.6 | Cromo



Fonte: <goo.gl/fCnW6c>. Acesso em: 2 ago. 2017.

Níquel (Ni): é um metal encontrado em diversos minerais, meteoritos e no núcleo da Terra. Ele forma compostos inorgânicos hidrossolúveis (hidróxidos, sulfatos, cloretos e nitratos) e insolúveis (óxidos e sulfetos). Grande parte do Ni extraído é utilizado na siderurgia (cerca de 70%) devido à sua alta resistência à oxidação, e o restante é empregado na composição de ligas não ferrosas para consumo no setor industrial, na galvanoplastia, em material bélico, na fabricação de moedas e baterias, em próteses clínicas e dentárias, em pigmentos, na área de transporte, de aeronaves e da construção civil. As principais vias de absorção são a inalação, seguida da dérmica e gastrointestinal. Os compostos mais hidrossolúveis são absorvidos mais rapidamente e excretados na urina, enquanto compostos lipossolúveis são absorvidos lentamente e resultam em acúmulo no pulmão.

Figura 3.7 | Níquel

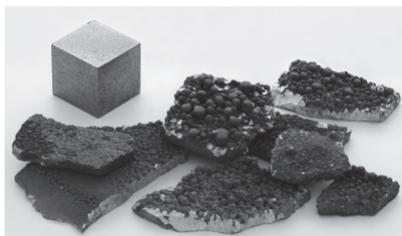


Fonte: <goo.gl/aBQCxS>. Acesso em: 2 ago. 2017.

Manganês (Mn): é um dos metais mais abundantes da crosta terrestre, compondo uma grande variedade de minerais, como óxidos, carbonatos, fosfatos e silicatos, e distribuído em solos, sedimentos, rochas, água e materiais biológicos. É importante para o crescimento das plantas e para funções vitais de animais, além de apresentar aplicações industriais relevantes. Cerca de 95% do Mn utilizado pelas indústrias é consumido na metalurgia, e outros usos incluem mineração, produção de fertilizantes, fungicidas, secantes em tintas e vernizes, pilhas secas, vidros, cerâmica e produtos farmacêuticos. A inalação é a principal via de exposição. Após ser absorvido, o Mn é distribuído para vários órgãos, como fígado,

pulmões, rins, glândulas endócrinas, intestino e testículos, e pode atravessar a barreira hematoencefálica, causando neurotoxicidade. Os ossos e o cérebro são locais de eliminação mais lenta. No ambiente, o Mn pode acumular-se em alguns organismos de níveis tróficos inferiores, como algas, moluscos e alguns peixes.

Figura 3.8 | Manganês



Fonte: <goo.gl/RWT65y>. Acesso em: 2 ago. 2017.

Como vimos anteriormente, existem algumas legislações vigentes que determinam o uso dos metais em produtos manufaturados. Mas não podemos esquecer das legislações estabelecidas pelo CONAMA, que visam minimizar a poluição ambiental por metais. Por exemplo, a Resolução 420/2009, alterada pela Resolução 460/2013, estabelece os valores de referência de qualidade (VRQ) de metais no solo, já a Resolução 357/2005, complementada e alterada pela Resolução 430/2011, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, e inclui a presença de alguns metais na sua lista. Em relação à exposição ocupacional, é importante lembrar de algumas normas regulamentadoras, como a NR5, que destaca a importância da Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA), a NR6, que dispõe sobre o uso de equipamentos de proteção individual e coletiva, e a NR9, que estabelece o Programa de Prevenção de Riscos Ambientais.



Pesquise mais

Nesta seção aprendemos sobre os metais e sua capacidade de produzir efeitos tóxicos a organismos expostos, e conhecemos a utilização dos principais metais. Para finalizarmos, que tal aprofundar mais os

seus conhecimentos? Existem padrões que limitam valores máximos permitidos de metais no solo, no ar e na água. Para saber mais, acesse o material da CETESB, Informações Toxicológicas:

Disponível em: <<http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/servicos/informacoes-toxicologicas/>>. Acesso em: 2 ago. 2017

Sem medo de errar

Caro aluno,

Retomando o trabalho na consultoria, você e seus colegas consultores foram solicitados para levantar informações sobre a contaminação do solo de Barreiras (BA) por fertilizantes químicos de uma indústria local. Para a elaboração deste trabalho, primeiramente, é sempre necessária a caracterização do local. Portanto, uma visita técnica é importante para avaliar a funcionalidade do empreendimento e os possíveis riscos de acidentes ambientais decorrentes de suas atividades.

Após o diagnóstico dos riscos de acidentes ambientais, é importante ter conhecimento das legislações vigentes que se enquadram neste estudo de caso. De acordo com as informações mostradas no Quadro 3.1, esta indústria lança diariamente efluentes líquidos contendo metais em solo, entretanto, não foram levantadas as quantidades de metais em solo não contaminado. Lembre-se de que os metais estão naturalmente presentes e distribuídos pela crosta terrestre? Portanto, é preciso realizar a quantificação de metais em uma amostra do local sem despejo de efluentes ou de qualquer outra contaminação antrópica, identificando a tipologia do solo e determinando os valores de referência de qualidade (VRQ), conforme estabelecido pela Resolução COMANA 420/2009, alterada pela Resolução 460/2013. É preciso ficar atento às legislações escolhidas, pois deve-se comparar os valores encontrados no solo com a legislação vigente específica para resíduos em solo.

Outro ponto levantado é a disposição de resíduos em solo sem revestimento. É preciso atender às Resoluções CONAMA 313/2002 (que dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais) e 430/2011 (que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementando e alterando a Resolução 357/2005). Com relação ao risco a que os trabalhadores estão sujeitos, ressaltamos a importância da Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (CIPA) (NR5), do uso de equipamentos de proteção individual e coletiva (NR6) e do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (NR9).

Ao final do trabalho, aponte os impactos que a disposição final dos resíduos acomete: contaminação do solo, contaminação do lençol freático, poluição hídrica e/ou poluição atmosférica. Alerta os trabalhadores caso haja contaminação, para que desativem a pequena horta instalada ao lado da fábrica ou a transfiram para outro local sem contaminação. Outra sugestão é a reciclagem de resíduos produzidos na maioria dos processos industriais, visando à proteção do ambiente, assim como os benefícios econômicos gerados neste processo, obedecendo às regulamentações existentes.

Avançando na prática

Derramamento de chumbo

Descrição da situação-problema

Em 2003, o Rio Paraíba do Sul foi palco de um acidente industrial, o qual prejudicou o ecossistema local. A Indústria Cataguases de Papel Ltda., situada no município de Cataguases (MG), derramou 1,2 bilhão de litros de resíduos químicos no Rio Pomba, um dos maiores afluentes da porção média do Rio Paraíba do Sul. O reservatório continha chumbo e mercúrio, além de diversas outras substâncias tóxicas utilizadas na fabricação de papel. A biota foi gravemente prejudicada: cerca de 60 espécies de peixes foram dizimadas, assim como parte da mata ciliar. As atividades de

pesca locais e o abastecimento de água de 60 municípios foram interrompidos. Cerca de 12 anos após o acidente, o gestor da área ambiental da empresa disse que “não houve muitos danos ambientais no Rio Pomba [...]. Os danos foram sociais, devido à grande repercussão que tomou o caso”.

Como consultor contratado para analisar este caso, você afirmaria que os danos ambientais poderiam ser sanados definitivamente 12 anos após a ocorrência do acidente? Existem impactos ambientais considerados irreversíveis?

Resolução da situação-problema

Devido à grande repercussão deste acidente, considerado um dos maiores acidentes ambientais no Brasil, houve uma mobilização sobre a necessidade de avançar em termos de segurança de barragens, o que culminou com a Lei 12.334, de 20 de setembro de 2010, a Lei de Segurança de Barragens, a fim de reduzir a ocorrência de acidentes e desastres. Todavia, jamais se conseguirá eliminar completamente os danos ambientais por eventos já ocorridos.

Os metais, por exemplo, podem facilmente serem adsorvidos no solo e/ou sedimento dos rios atingidos, o que os torna indisponíveis para a biota local. Entretanto, a alteração do pH dos corpos hídricos e a ressuspensão dos sedimentos por eventos como a chuva podem trazer os metais de volta à biodisponibilidade aos organismos. Plantas cultivadas próximas a estes locais também podem incorporar os metais contidos no solo e na água, possibilitando a bioacumulação e biomagnificação pela cadeia alimentar.

Faça valer a pena

1. A presença de metais no ambiente pode causar efeitos tóxicos em plantas e animais.

Em relação à toxicidade e à disposição de metais por fontes antrópicas em território nacional, assinale a alternativa correta.

- a) O chumbo é atualmente encontrado em tintas, soldas, encanamentos e como aditivo em gasolinas.
- b) O mercúrio é um poluente global, capaz de induzir efeitos neurotóxicos devido à sua capacidade de atravessar a pele.
- c) O manganês não causa efeitos adversos aos seres vivos.
- d) O níquel é um dos metais mais abundantes da crosta terrestre, importante para o crescimento das plantas e para funções vitais de animais.
- e) O cromo é um carcinógeno capaz de induzir efeitos cutâneos, nasais, bronco-pulmonares e gastrointestinais.

2. Alguns metais desempenham funções essenciais para determinados processos fisiológicos dos seres vivos. Outros metais não essenciais podem causar danos ao metabolismo.

No que se refere à toxicidade dos metais, assinale a alternativa correta.

- a) O ferro é um metal não essencial, apesar de sua importância no transporte de oxigênio e na formação da hemoglobina.
- b) No Brasil, existem limites toleráveis de metais a serem ingeridos diariamente, entretanto, não existem legislações para o lançamento no ambiente.
- c) A toxicidade de um metal depende da espécie química em que se encontra, podendo ser uma espécie livre ou formar compostos inorgânicos ou orgânicos.
- d) A solubilidade dos metais interfere nos efeitos tóxicos dos metais. As formas lipossolúveis são mais facilmente absorvidas pelas plantas, aumentando o risco de entrarem na cadeia trófica.
- e) Apesar da existência de fontes antropogênicas de metais, as fontes naturais, como o vulcanismo, rochas e incêndios florestais, são as principais contribuintes para o seu aumento nas concentrações ambientais.

3. Em uma estação de tratamento de efluentes de uma indústria de galvanoplastia foi detectada a presença de metais. Uma das estratégias para evitar que o metal seja despejado nos corpos hídricos receptores do efluente pode ser a _____, a fim de precipitar os metais.

Assinale a alternativa que complementa corretamente o texto anterior.

- a) elevação da condutividade

- b) elevação do pH
- c) diminuição do oxigênio
- d) diminuição do pH
- e) elevação do oxigênio

Seção 3.2

Toxicologia dos hidrocarbonetos e solventes

Diálogo aberto

Caro aluno,

Nesta seção nós daremos continuidade aos estudos sobre os agentes tóxicos com um novo tema: os hidrocarbonetos. Você sabe o quanto está exposto aos hidrocarbonetos no seu dia a dia? Qual a importância deles para a sociedade?

Os hidrocarbonetos estão distribuídos por todo o mundo! Eles estão presentes no ar, em tintas, plásticos, esmaltes, combustíveis etc., e são considerados poluentes globais. Existem milhares de fontes de hidrocarbonetos, e é impossível viver um dia sem estar exposto a eles.

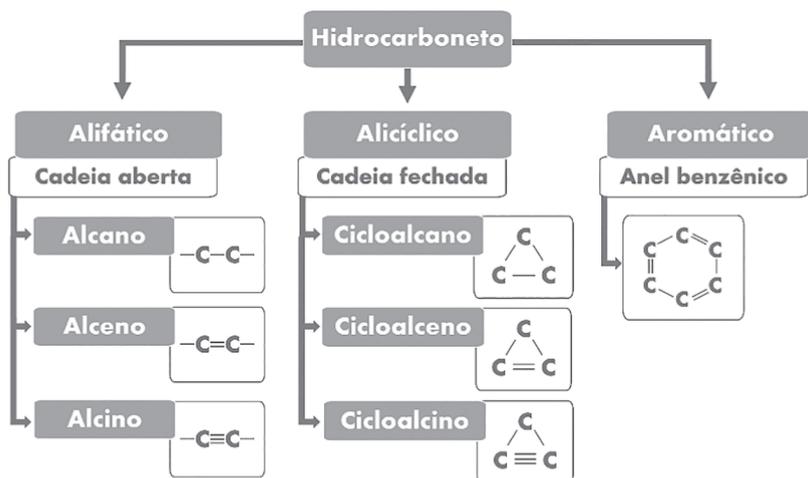
Para dar início aos estudos, vamos retomar o trabalho na empresa de consultoria? Lembre-se que você e seus colegas consultores estão avaliando uma Indústria de Fertilizantes e Agrotóxicos no município de Barreiras (BA). Devido aos problemas que esta indústria vem causando ao ambiente, o prefeito pediu a vocês para analisarem os resíduos produzidos durante a fabricação dos agrotóxicos em busca de novas irregularidades. Durante o processo da produção industrial, vocês observaram o uso de alguns solventes orgânicos, como o xileno e o tolueno na produção dos agrotóxicos, e o tricloroetileno e hexano para limpeza das maquinarias. Sabendo disso e ainda preocupado com as questões ambientais, o prefeito questionou como os funcionários são expostos aos solventes orgânicos. Eles devem se preocupar com a exposição diária? Quais são as principais vias de exposição a estes solventes? Qual a toxicidade que estes compostos possuem?

Para que você consiga resolver os problemas levantados pelo prefeito, a seguir abordaremos os principais hidrocarbonetos e solventes para a toxicologia ambiental. Que tal aprender sobre os diferentes tipos de hidrocarbonetos e a aplicação industrial que possuem? Você entenderá a importância das propriedades físico-químicas destes compostos e a sua relação com a toxicidade. Vamos lá?

Não pode faltar

Os hidrocarbonetos são compostos orgânicos formados exclusivamente por átomos de carbono e hidrogênio, sendo divididos entre hidrocarbonetos com cadeias abertas (alifáticos) e fechadas (alíciclicos e aromáticos), e subdivididos entre cadeias saturadas (alcanos, contendo apenas ligações covalentes simples) e insaturadas (alcenos e alcinos, contendo ligações duplas e triplas, respectivamente). Os hidrocarbonetos aromáticos são formados por anéis benzênicos, e cada anel benzênico (ou anel aromático) é formado por seis átomos de carbono que apresentam ressonância entre si, ou seja, uma nuvem eletrônica é uniformemente distribuída pela molécula. Na presença de dois ou mais anéis fundidos, são chamados de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) (Figura 3.9). Embora a definição de hidrocarboneto exclua compostos que contenham heteroátomos, muitas vezes os átomos de carbono se ligam a átomos de oxigênio, flúor, enxofre, cloro, nitrogênio, bromo etc. devido a reações que ocorrem no ambiente ou mesmo durante o uso em processos industriais, formando os derivados de hidrocarbonetos.

Figura 3.9 | Classificação dos hidrocarbonetos



Fonte: elaborada pelo autor.

As propriedades físico-químicas destas substâncias são fundamentais para a avaliação da toxicidade aos organismos expostos no ambiente, variando de acordo com a estrutura química de cada hidrocarboneto. Os principais determinantes de toxicidade dos hidrocarbonetos e seus derivados são: 1) o número de átomos de carbono; 2) se as ligações entre os carbonos são saturadas (simples), duplas ou triplas; 3) se a cadeia de carbonos é aberta, fechada ou aromática; e 4) se existem heteroátomos ou outros grupos funcionais, como aldeídos, álcoois ou cetonas. Uma pequena mudança nestes fatores é capaz de acarretar grandes diferenças na toxicidade.

Em geral, os hidrocarbonetos possuem pontos de fusão e ebulição elevados e baixa solubilidade em água, a qual facilita a absorção pela via dérmica (lipofilicidade elevada) e adsorção em sedimentos e matérias orgânicas. Os hidrocarbonetos de baixo peso molecular são gases, e, à medida que aumenta o número de átomos de carbono, os pontos de fusão e ebulição aumentam, e eles passam a formar líquidos cada vez mais viscosos, até chegar aos hidrocarbonetos sólidos. Com o aumento do peso molecular, a lipofilicidade também aumenta, enquanto a volatilidade diminui.



Assimile

As propriedades físico-químicas dos hidrocarbonetos são essenciais no estudo da toxicologia de cada composto. Os efeitos tóxicos variam conforme o tipo de cadeia e tamanho da molécula, além da presença de ligações covalentes simples, duplas ou triplas. A presença de heteroátomos, como cloro, enxofre, nitrogênio, oxigênio, dentre outros, também altera a toxicidade.

Diversos hidrocarbonetos e seus derivados são conhecidos pelo potencial mutagênico e carcinogênico que apresentam, tendo grande importância para a toxicologia ambiental (Quadro 3.2). As fontes de emissão são diversas, sendo naturais, como as atividades vulcânicas e queimadas de florestas, ou antropogênicas, como: derramamento ou combustão do petróleo e seus derivados, em processos industriais e seus resíduos e queima do cigarro. As fontes fixas e móveis estão dentre as principais emissoras de hidrocarbonetos, em especial dos HPAs, por exemplo, pela combustão incompleta de combustíveis

orgânicos. Particularmente sobre o setor industrial, o uso de solventes para dissolver, diluir ou dispersar materiais insolúveis em água contribui de forma significativa para a poluição ambiental. A maior parte dos solventes utilizados são hidrocarbonetos obtidos de refinados de petróleo, formados muitas vezes por misturas complexas.

Quadro 3.2 | Hidrocarbonetos e seus derivados de importância para a toxicologia ambiental

Classificação	Exemplos	Uso industrial	Toxicidade
Alifático	Etileno, acetileno, parafina, hexano	Siderúrgica, calçados, combustível	Neurotóxico, asfíxiante
Alicíclico	Ciclohexano, alfa-pireno, metilciclohexano	Alimentícia, plásticos, tintas, vernizes, fungicidas, corantes	Neurotóxico
Aromático	HPA, benzeno, tolueno, xileno, naftaleno	Petroquímica, farmacêutica, siderúrgica, tinta, verniz, calçado, madeira, agrotóxicos, combustível	Neurotóxico, nefrotóxico, carcinogênico
Halogenado	Clorofórmio, dicloretileno, tricloroetileno	Siderúrgica, plástico, borracha, cosmética	Neurotóxico, nefrotóxico, hepatotóxico
Álcool	Metanol, etanol, isopropanol	Cosmética, gráfica, tintas, vernizes, combustível, biodiesel farmacêutica, bebidas, plástico	Neurotóxico, hepatotóxico
Éter	Éter etílico	Explosivos, farmacêutica, cosmética, tintas, vernizes	Neurotóxico, teratogênico
Éster	Acetato de etila	Tintas, vernizes, alimentícia, cosmética	Neurotóxico
Cetona	Metil-etil-cetona, acetona	Plástico, borracha, farmacêutica, tintas, vernizes, alimentícia	Neurotóxico

Fonte: elaborado pelo autor.

A contaminação atmosférica ocorre principalmente pela volatilização dos hidrocarbonetos durante o uso. O vento auxilia na dispersão destes compostos orgânicos voláteis (COV) por toda a

atmosfera. Eles são encontrados em áreas a milhares de quilômetros de distância das fontes de emissão. Por outro lado, a contaminação dos recursos hídricos ocorre principalmente pelo derramamento de petróleo ou por qualquer outro tipo de disposição de hidrocarbonetos sobre o solo e/ou águas superficiais.

A seguir, abordaremos as características de alguns dos principais hidrocarbonetos largamente utilizados como solventes em processos industriais: benzeno, tolueno, xileno e HPA. Eles são facilmente absorvidos pela via inalatória, em especial devido às emissões pelos escapamentos de automóveis e fumaça de cigarro, ou pela manipulação de produtos que os contenha. A pele também é uma importante via de absorção devido à lipossolubilidade elevada dos solventes. Apesar das vias de absorção serem semelhantes, após a distribuição pelos tecidos do organismo exposto, estes hidrocarbonetos induzem diferentes efeitos tóxicos.

Benzeno: é um hidrocarboneto aromático (Figura 3.10) líquido à temperatura ambiente, incolor, lipossolúvel, volátil, inflamável, com odor característico. Ele é encontrado no cigarro, petróleo, gás natural e carvão, além de ser utilizado como solvente em indústrias de ferro e aço, plásticos, borracha, laboratórios de pesquisa, e em diversos outros produtos químicos, além de servir como antidetonante na gasolina livre de chumbo. Os efeitos tóxicos agudos incluem irritações nas mucosas, edema pulmonar e efeitos neurotóxicos, como sonolência, tonturas, cefaleia, náuseas, tremores e convulsões. A exposição crônica ao benzeno induz à toxicidade hematopoiética, causando uma depressão da medula óssea, ou seja, redução dos componentes sanguíneos, como hemácias, leucócitos e plaquetas, um efeito muitas vezes fatal. Vários tipos de leucemia são relacionadas à exposição ao benzeno.

Figura 3.10 | Estrutura química do benzeno



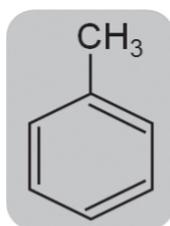
Fonte: elaborada pelo autor.



Devido aos efeitos neurotóxicos do chumbo, o uso deste metal em combustíveis foi proibido em diversos países, incluindo o Brasil. Após a proibição, o chumbo foi substituído pelo benzeno como antidetonante em gasolinas. Quais as vantagens e desvantagens da substituição do chumbo pelo benzeno em gasolinas?

Tolueno: é um hidrocarboneto aromático (Figura 3.11) líquido à temperatura ambiente, incolor, lipossolúvel, inflamável, com odor característico. Ele é encontrado no alcatrão, carvão e petróleo, sendo utilizado na produção de corantes, detergentes, polímeros como o nylon, plásticos, garrafas, produtos farmacêuticos, tintas, esmaltes de unhas e na síntese de produtos químicos orgânicos, como em misturas de benzeno e gasolina, além de sua aplicação como solvente em processos industriais de borrachas, tintas, revestimentos e óleos. A toxicidade aguda é semelhante à do benzeno. Já a exposição crônica induz efeitos neurotóxicos, como sonolência, tremores, movimentos involuntários dos olhos, atrofia cerebral e distúrbios na fala, audição e visão.

Figura 3.11 | Estrutura química do tolueno

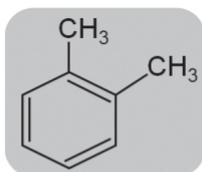


Fonte: elaborada pelo autor.

Xileno: é um hidrocarboneto aromático também conhecido por alquilbenzeno (Figura 3.12), líquido à temperatura ambiente, incolor, inflamável, volátil e de odor adocicado. Ele é encontrado no petróleo e carvão, sendo utilizado em produtos de limpeza, em combustíveis de aviões e na gasolina. Como solvente, o xileno é utilizado em indústrias de tintas, vernizes, revestimentos, borrachas e couros. Os isômeros do xileno são utilizados na fabricação de corantes, drogas e agrotóxicos.

Os efeitos tóxicos agudos incluem irritações na pele, olhos, nariz e garganta, problemas respiratórios, dificuldades de memória, além de efeitos hepatotóxicos e nefrotóxicos. Em exposições crônicas, pode causar neurotoxicidade e até mesmo a morte.

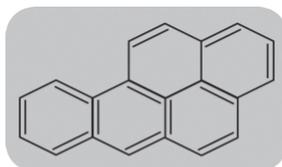
Figura 3.12 | Estrutura química do xileno



Fonte: elaborada pelo autor.

HPA: é constituído por um grupo de compostos formados por dois ou mais anéis benzênicos fundidos, sendo que o benzopireno e seus derivados são os mais estudados (Figura 3.13). As propriedades físico-químicas dos HPAs variam conforme o número de anéis do composto. Com o aumento do número de anéis, a lipossolubilidade aumenta, enquanto a volatilidade diminui. As principais fontes de HPA são a produção de carvão, refinamento de petróleo, incineração de resíduos industriais e domésticos, queima completa e incompleta de combustíveis fósseis, síntese de benzeno, tolueno e outros solventes orgânicos, incêndios e fumaças de cigarro. Quando absorvidos pela via inalatória, os HPAs são rapidamente metabolizados e eliminados pelo organismo, havendo baixa bioacumulação. O benzopireno, por exemplo, é eliminado em uma hora. Contudo, se os HPAs estão associados a materiais particulados, a eliminação pode demorar semanas. No ambiente, são considerados poluentes orgânicos persistentes (POPs), e muitos deles são carcinogênicos e potenciais mutagênicos.

Figura 3.13 | Estrutura química do benzopireno



Fonte: elaborada pelo autor.



Todos os HPA são sólidos à temperatura ambiente devido ao ponto de fusão mais elevado. Porém, diversos deles sofrem sublimação, ou seja, passam do estado sólido diretamente para o gasoso, como o naftaleno.

Além das fontes fixas e móveis de emissão de hidrocarbonetos, a poluição é acentuada pelos acidentes ambientais. No Brasil, os desastres com derramamentos de petróleo são vários. Em 2011, a petroleira Chevron foi responsável por uma mancha de petróleo de 162 km² na Bacia de Campos (RJ), e este não foi o maior episódio de derramamento. A Petrobrás já foi responsável pelo vazamento de cerca de 1,3 milhão de litros de óleo cru na Baía de Guanabara (RJ) e por cerca de quatro milhões de litros de petróleo lançados na Bacia do Rio Iguaçu (PR) em 2000, dentre diversos outros acidentes (PORTAL EBC, 2015).

Segundo a Resolução CONAMA 452, de 2 de julho de 2012, os solventes orgânicos e halogenados são enquadrados como resíduos perigosos de classe I. A disposição final de resíduos contendo estes solventes deve atender às condições, parâmetros, padrões e diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, como estabelecido pela Resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011 (Quadro 3.3).

Quadro 3.3 | Padrões de lançamento de efluentes

Parâmetros orgânicos	Valores máximos (mg/L)
Benzeno	1,2
Etilbenzeno	0,84
Clorofórmio	1,0
Tricloroeteno	1,0
Tolueno	1,2
Xileno	1,6

Fonte: Conama (2011).



Além da poluição hídrica por derramamentos de petróleo, episódios de acidentes por incêndios no Brasil também aumentaram a poluição atmosférica por hidrocarbonetos, como o incêndio ocorrido em 2015 no Terminal Alemoa, em Santos (SP), envolvendo tanques de gasolina e etanol. Para saber mais, acesse o material *Carta de Santos – 2015*, disponível em: <<http://www.abtl.org.br/wp-content/themes/abtl/arquivos/GT%20-%20INC%C3%8ANDIO%20ALEMOA%20-%20RELAT%C3%93RIO%20FINAL%20-%20Vers%C3%A3o%20final%2019.07.16.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

E não paramos os estudos sobre os agentes tóxicos por aqui. Ainda existe outro grupo de poluentes potencialmente tóxicos para a saúde humana e ambiental: os defensivos agrícolas. Você sabe o quanto estamos expostos a eles e quais as consequências desta exposição? Que tal aprender um pouco mais sobre a toxicologia destes produtos químicos? Na próxima seção abordaremos as toxicidades e fontes de poluição dos principais defensivos agrícolas utilizados no Brasil. Nos vemos lá!

Sem medo de errar

Caro aluno,

Agora voltaremos ao trabalho na empresa de consultoria. Lembre-se de que o prefeito de Barreiras (BA) solicitou que você e seus colegas consultores avaliassem a fábrica de fertilizantes e agrotóxicos? Esta fábrica utiliza alguns solventes orgânicos, como o xileno e o tolueno na produção dos agrotóxicos, além do tricloroetileno e do hexano para limpeza das maquinarias. Decorrente disso, o prefeito incluiu a análise dos solventes no relatório técnico. Algumas questões foram levantadas: como os trabalhadores são expostos aos solventes? Que toxicidade esses compostos possuem? Os trabalhadores devem se preocupar com a exposição diária?

É importante lembrar que a principal via de exposição aos solventes é a inalatória. Devido à volatilidade dos solventes orgânicos

de hidrocarbonetos, ao respirar as suas partículas de vapores, eles penetram facilmente pelos pulmões e são distribuídos pelos tecidos. Além disso, respingos de solventes poderiam entrar em contato com a pele, penetrando-a facilmente devido à sua lipossolubilidade elevada.

Em geral, os hidrocarbonetos apresentam efeitos neurotóxicos, mas vale ressaltar que a toxicidade dos hidrocarbonetos varia de acordo com a estrutura química e com as propriedades físico-químicas da molécula, portanto observe sempre qual é o solvente em questão. Especificamente sobre os solventes utilizados pela fábrica, o xileno e tolueno são hidrocarbonetos aromáticos neurotóxicos, atuando sobre o sistema nervoso e induzindo tonturas, cefaleia e náuseas. Em casos de exposições a longo prazo, o tolueno também provoca sonolência, tremores, movimentos involuntários dos olhos, atrofia cerebral e distúrbios na fala, audição e visão. O xileno, além de ser um agente neurotóxico, também atua como hepatotóxico e nefrotóxico, atingindo fígado e rins. Por outro lado, os solventes tricloroetileno e hexano são hidrocarbonetos halogenado e alifático do tipo alcano, respectivamente. Também são neurotóxicos e irritantes para as mucosas e pele, e provocam náuseas e tonturas, além dos efeitos tóxicos particulares de cada um.

Levando em conta a manipulação diária dos solventes orgânicos na fábrica, a intoxicação pode ser gradativa devido à exposição crônica. Reforce sobre a importância dos equipamentos de proteção individual (EPI) e coletiva (EPC). O uso de luvas nitrílicas e máscaras, por exemplo, diminuem a exposição, e locais arejados facilitam a dispersão dos vapores de solventes.

Avançando na prática

Postos de gasolina

Descrição da situação-problema

Caro aluno,

A preocupação com contaminações por solventes orgânicos tem aumentado em todo o país. A seguir, leia o trecho do artigo *Contaminação do subsolo por hidrocarbonetos do petróleo*, extraído da revista *Ciências Exatas e Tecnológicas*:

Com o aumento da frota de veículos no país, cresce a demanda por combustível, assim se elevando o número de postos de gasolina no território nacional. Porém, a partir do crescimento desenfreado, aliado à falta de manutenção e desgaste dos armazenamentos e dutos dos postos, podem acarretar em problemas muito graves ao meio ambiente e ao ser humano. Um desses é o vazamento de combustíveis dos tanques de armazenamento, que geralmente se localizam no subsolo dos postos. Normalmente, estes vazamentos são de uma escala mínima, difíceis de notar, porém a situação vai se agravando com o passar do tempo, e geralmente quando é notada, uma grande parte de combustível já contaminou o subsolo e as águas subterrâneas. Uma das principais preocupações em relação a esta problemática é que haja a contaminação de lençóis freáticos e aquíferos, que são utilizados para consumo humano. Os contaminantes denominados de BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e os xilenos) encontrados na gasolina são prejudiciais à saúde humana, alguns até cancerígenos. (MACIEL et al., 2015).

Agora, imagine que um posto de gasolina solicitou a sua consultoria como engenheiro ambiental. Este posto apresenta problemas de vazamento associados à corrosão no revestimento dos tanques devido à falta de manutenção. Sabendo que os solventes BTEX são potencialmente tóxicos, quais implicações um vazamento de gasolina traria ao local? Estes vazamentos poderiam causar impactos globais?

Resolução da situação-problema

Antes de iniciar os processos de remediação do local contaminado com gasolina, é necessário que você sugira um estudo detalhado da área para identificar os produtos presentes no solo e compreender os danos causados, que podem ir além de impactos locais. Por exemplo, além da saturação do solo local com os BTEX adsorvidos às partículas, os solventes podem atingir as águas subterrâneas, uma das principais preocupações quando os aquíferos são utilizados para o abastecimento de consumo humano. Verifique o índice pluviométrico do local, uma vez que

altos índices pluviométricos também contribuem para a lixiviação e distribuição dos BTEX pelo ambiente. Vale lembrar que, devido à alta volatilidade dos solventes, também pode haver a contaminação do ar, o que implica na necessidade de estudos específicos.

Particularmente sobre a contaminação das águas subterrâneas, lembre-se de que a mobilidade dos solventes permite que os BTEX sejam transportados para longas distâncias da fonte poluidora, especialmente em direção às áreas onde ocorre a retirada de água devido à alteração do fluxo de água pelo bombeamento. Caso os BTEX sejam detectados nos aquíferos, alerte que a população que é abastecida por água contaminada corre um alto risco de desenvolver doenças no sistema nervoso, na medula óssea ou câncer, como a leucemia, por exposição crônica.

Faça valer a pena

1. As propriedades físico-químicas dos hidrocarbonetos são fundamentais para a avaliação da toxicidade aos organismos expostos no ambiente, e variam de acordo com a estrutura química de cada molécula.

Assinale a alternativa que expressa corretamente a relação entre o número de carbonos e o estado físico dos hidrocarbonetos.

- a) Quanto maior a cadeia carbônica, mais líquido é o hidrocarboneto.
- b) Quanto menos átomos de carbono, mais viscoso é o hidrocarboneto.
- c) Quanto maior a cadeia carbônica, mais sólido é o hidrocarboneto.
- d) Cadeias carbônicas longas facilitam a volatilização dos hidrocarbonetos.
- e) Com o aumento da cadeia carbônica, a hidrossolubilidade aumenta.

2. Uma determinada indústria deixa vaziar uma grande quantidade de resíduos de benzeno em um rio próximo ao local, sendo condenada por crime ambiental por ter negligenciado a disposição final do solvente, com padrão máximo de lançamento de 1,2 mg/L em corpos de água receptores (Resolução CONAMA 430/2011).

De acordo com a Resolução CONAMA 23/1996, os resíduos contendo solventes orgânicos, como o benzeno, são classificados como:

- a) Resíduos perigosos – classe I.
- b) Resíduos não inertes - classe II.
- c) Resíduos inertes - classe III.
- d) Resíduos reativos.
- e) Outros resíduos.

3. Considere as seguintes afirmações:

I. Os hidrocarbonetos aromáticos são formados por pelo menos um anel benzênico, ou seja, uma cadeia fechada contendo seis átomos de carbono ligados a seis átomos de hidrogênio.

II. O benzeno é um hidrocarboneto aromático neurotóxico, depressor do sistema hematopoiético e carcinogênico.

III. O benzopireno é um hidrocarboneto policíclico aromático (HPA) formado por dois anéis benzênicos fundidos, e possui ação carcinogênica.

Considere as opções a seguir e assinale a alternativa que contém as afirmações corretas:

- a) Somente I.
- b) Somente I e II.
- c) Somente II e III.
- d) Somente I e III.
- e) Somente III.

Seção 3.3

Toxicologia dos defensivos agrícolas

Diálogo aberto

Caro aluno,

Nesta seção nós abordaremos a classe dos agrotóxicos, substâncias com elevada aplicabilidade em agriculturas e jardins, em áreas urbanas, na saúde pública, dentre outras utilidades. Desde 2008, o Brasil ocupa a posição de maior consumidor de agrotóxicos do mundo (ANVISA, 2012), o que vem ao encontro da preocupação crescente relativa aos seus potenciais riscos à saúde humana e ambiental.

Para finalizarmos mais esta etapa do seu trabalho na empresa de consultoria, lembra-se da fábrica de fertilizantes e agrotóxicos na área de estudo em Barreiras (BA)? O prefeito da cidade solicitou que você e seus colegas consultores analisassem o herbicida à base de glifosato, encontrado em amostras de água e solo locais. Sabe-se que o glifosato atua sobre uma enzima produzida apenas pelas plantas, e não por animais, o que o torna altamente eficiente e, por isso, é comercializado em mais de 160 países. Entretanto, diversas notícias têm relacionado este composto a problemas para a saúde ambiental e humana. Como explicar ao prefeito essas informações contraditórias? Pode-se afirmar que as populações da área em estudo expostas a este herbicida estão livres de efeitos adversos? Quais recomendações que poderiam ser sugeridas à indústria para que sejam diminuídos os riscos de contaminação?

Estas e outras questões sobre os agrotóxicos serão discutidas nesta seção. Você entenderá os conceitos e os principais usos dos agrotóxicos, e quais os riscos que eles trazem à saúde das populações expostas, bem como as medidas legais para garantir a segurança alimentar no Brasil. Vamos lá?

Não pode faltar

O termo agrotóxico passou a ser utilizado no Brasil em substituição ao termo defensivo agrícola, hoje obsoleto por não evidenciar a toxicidade destes compostos para a saúde humana e ambiental. De acordo com a Lei Federal 7.802, de 11 de julho de 1989, agrotóxicos e afins são definidos como:

- a) os produtos e os agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou implantadas, e de outros ecossistemas e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos;
- b) substâncias e produtos, empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento. Em síntese, podemos considerar que os agrotóxicos são destinados à prevenção, destruição ou controle de qualquer ser vivo nocivo que cause prejuízos aos produtos agrícolas e outros ecossistemas, assim como para ambientes urbanos. (BRASIL, 1989).



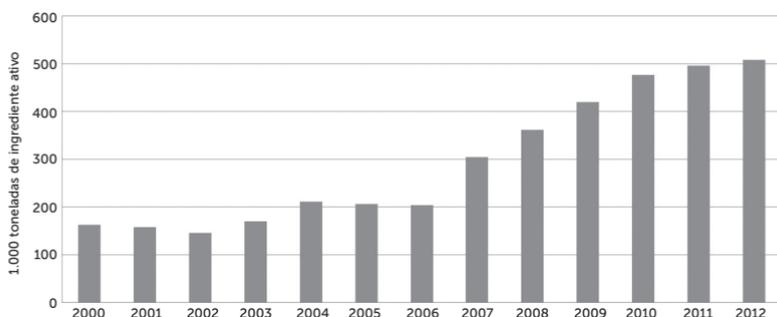
Assimile

Outro termo bastante utilizado para se referir aos agrotóxicos é o praguicida, devido à denominação de "pragas" aos seres vivos nocivos, tais como insetos, larvas, fungos, carrapatos e algumas vegetações, como as ervas daninhas.

Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) e o Observatório da Indústria dos Agrotóxicos da Universidade Federal do Paraná, dados divulgados em abril de 2012 mostraram que em dez anos o mercado mundial de agrotóxicos cresceu 93%, enquanto o mercado brasileiro cresceu 190%, o que o fez assumir o posto de maior mercado mundial de agrotóxicos (ANVISA, 2012). Em 2014, foram comercializados 508,556.84 toneladas de agrotóxicos no

Brasil (Figura 3.14), o que movimentou bilhões de dólares no mercado nacional. Os herbicidas representaram 58% do total de agrotóxicos comercializados; seguido dos inseticidas, com 12,3%; fungicidas, com 10,6%; e as demais classes, com 19,1% (IBAMA, 2016).

Figura 3.14 | Consumo de agrotóxicos e afins no Brasil entre os anos de 2000 a 2014

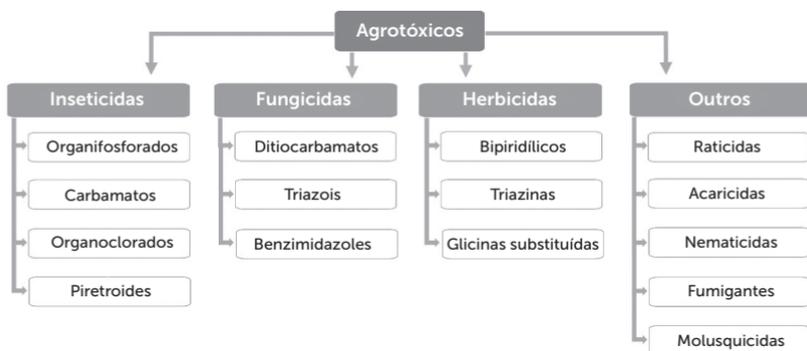


Fonte: <http://ibama.gov.br/phocadownload/qualidadeambiental/relatorios/2014/grafico_historico_comercializacao_2000_2014.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2017.

A maior utilização dos agrotóxicos é na agricultura. Entretanto, estima-se que menos de 0,1% dos agrotóxicos aplicados em culturas em todo o mundo atinge os alvos específicos, deixando uma grande quantidade de resíduos (99,9%) livres para se moverem nos diferentes compartimentos do ambiente (PIMENTEL, 1995). Além da contaminação do solo onde os agrotóxicos são largamente aplicados e dos alimentos provindos de plantações, o ar também é contaminado pela evaporação das gotas durante a aspersão dos produtos, a qual resulta na formação de pequenas partículas carregadas pelas correntes de ar por grandes distâncias. A água também é contaminada por aplicações excessivas, por processos de lixiviação, derramamento acidental de formulações ou na aplicação em locais próximos a rios ou lagoas. É também comum o uso de agrotóxicos no armazenamento de grãos e sementes, no tratamento de madeira, na produção de flores, na pecuária, no combate a parasitas no homem, como piolhos e ácaros, e na saúde pública para o controle de vetores. A dedetização de residências para o controle de vetores transmissores de doenças, tal como para o controle do mosquito *Aedes aegypti* e suas larvas, aumenta ainda mais a exposição dos moradores. Dado isso, as vias de exposição podem ser inalatórias, gastrointestinais (por alimentos contendo resíduos de agrotóxicos) e dérmicas, e os efeitos tóxicos alteram de acordo com a via a qual o organismo foi exposto.

Para facilitar os estudos sobre os agrotóxicos foram criadas classificações de acordo com os organismos alvos de ação (inseticida, fungicida, herbicida, raticida etc.) e o grupo químico (organofosforado, organoclorado, triazois, glicinas substituídas etc.) (Figura 3.15). Entretanto, apesar desta classificação, os agrotóxicos não são altamente seletivos e causam efeitos tóxicos para outros organismos não-alvos expostos. Um inseticida, por exemplo, pode induzir danos aos insetos, aves e mamíferos. Desta forma, os agrotóxicos estão entre as substâncias químicas mais estudadas em todo o mundo para esclarecer a toxicidade e a ecotoxicidade. Portanto, eles também são classificados pela Anvisa de acordo com o perigo para a saúde humana (extremamente tóxico, altamente tóxico, medianamente tóxico e pouco tóxico) (Figura 3.16).

Figura 3.15 | Classificação dos agrotóxicos de acordo com o organismo alvo e classe química



Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 3.16| Classificação dos agrotóxicos de acordo com a periculosidade, e a respectiva cor apresentada no rótulo e bula do produto

Classe	Toxicidade	Cor da faixa
Classe I	Extremamente tóxico	Vermelha
Classe II	Altamente tóxico	Amarela
Classe III	Medianamente tóxico	Azul
Classe IV	Pouco tóxico	Verde

Fonte: Anvisa (2011).

A seguir, abordaremos as principais classes de agrotóxicos utilizados no Brasil de grande importância para a toxicologia ambiental, e alguns de seus principais grupos químicos.

Inseticidas: possuem ação tóxica contra insetos. Dentro da classe inseticidas também existem os larvicidas, específicos para as fases larvais dos insetos. Esta classe engloba quatro principais grupos químicos: organoclorados, organofosforados, carbamatos e piretroides.

Os **organoclorados** possuem alta eficiência como inseticidas devido às características físico-químicas, tais como alta estabilidade e lipossolubilidade, baixa volatilidade e biodegradação. Todavia, estas mesmas características os tornam altamente tóxicos. Hoje, este grupo de inseticidas está incluído na relação dos poluentes orgânicos persistentes (POPs), banidos devido à longa persistência no ambiente e alta acumulação na cadeia alimentar. Eles possuem ação neurotóxica pela interferência nos canais de sódio das células nervosas, bloqueando sua abertura. A toxicidade aguda é moderada, com aumento da agitação motora, tremores, hipersensibilidade à luz, toque e sons e convulsões em casos de intoxicações graves. Já a exposição crônica está associada a efeitos adversos no fígado, no sistema endócrino e reprodutor.



Exemplificando

O DDT é um inseticida clássico do grupo dos organoclorados. Ele foi descoberto em 1939 pelo suíço Paul Müller, o que lhe rendeu o Prêmio Nobel de Medicina pelo combate à malária, e teve seu auge na década de 1940 com sua aplicação na agricultura. Em 1962, com o lançamento do livro *Primavera Silenciosa* de Rachel Carson, iniciou-se uma preocupação contra o uso do DDT e, na década de 1970, ele foi banido de vários países, tendo sido proibido no Brasil em 2009 pela Lei nº. 11.936, de 14 de maio de 2009.

Os **organofosforados** e **carbamatos** possuem ação tóxica semelhante, apesar de pertencerem a diferentes grupos químicos: derivados de ésteres do ácido fosfórico (por exemplo: diclorvós, malation, paration e temefós) e derivados de ésteres do ácido carbâmico (por exemplo: carbaril e aldicarb), respectivamente. Ambos possuem baixa persistência no ambiente, ganhando espaço em substituição aos organoclorados. Entretanto, são altamente neurotóxicos e atuam inibindo a enzima acetilcolinesterase (AChE),

responsável pela hidrólise do neurotransmissor acetilcolina (ACh). Com a inibição da AChE, ocorre um acúmulo de ACh nas terminações nervosas, induzindo problemas neuromotores. Os sintomas de intoxicação aguda são sudorese, salivação, diarreias, espasmos musculares e insuficiência respiratória. A exposição crônica vem sendo associada a anomalias neurocomportamentais, sobretudo no que se refere ao sistema cognitivo.



Assimile

A quantificação da enzima AChE em organismos não-alvos é uma ferramenta importante para o monitoramento de compostos anticolinesterásicos no ambiente.

Os **piretroides** são obtidos dos extratos de flores do crisântemo (*Chrysanthemum cinerariaefolium*), mas hoje são produzidos em laboratório de forma sintética, com melhoramentos nas características físico-químicas, que aumentam a eficácia do inseticida. Eles são neurotóxicos pela interferência nos canais de sódio das células nervosas, causando tremores, salivação, hipersensibilidade e paralisia em exposições agudas. Ao contrário dos outros grupos, eles não estão associados a efeitos crônicos adversos. Deste contexto surgem vários inseticidas piretroides para uso doméstico e agrícola, como medicamentos contra escabiose e piolhos, além de repelentes.

Fungicidas: possuem ação tóxica contra fungos. Esta classe apresenta uma série de estruturas químicas, dentre elas os ditiocarbamatos, triazóis e benzimidazoles. Em geral, apresentam baixa toxicidade aguda para mamíferos.

Os **ditiocarbamatos** são estruturas associadas a cátions metálicos, como, por exemplo, o maneb associado ao manganês, o zineb associado ao zinco, e o mancozeb associado ao manganês e zinco. Apesar da baixa toxicidade para mamíferos, após a biotransformação destes compostos, seus metabólitos chamados de etilenotiourea induzem efeitos tóxicos na tireoide, os quais podem progredir para carcinomas.

Os **triazóis** são de baixa toxicidade, entretanto as formulações contendo estes compostos, tais como o tetraconazole, difenoconazole

e tebuconazole, são consideradas extremamente tóxicas para a saúde humana e ambiental, incluindo muitos microrganismos aquáticos. Em geral, eles atuam na alteração da membrana plasmática e na parede celular.

Os **benzimidazoles** são potenciais carcinogênicos, sendo alguns produtos proibidos em diversos países. O carbendazim, por exemplo, é legalizado no Brasil mas, devido à possível atividade carcinogênica, foi proibido nos Estados Unidos. Segundo a agência norte-americana *Food and Drug Administration* (FDA), o consumo deste fungicida está associado ao aumento de tumores hepáticos.

Herbicidas: possuem ação tóxica contra ervas daninhas. Esta classe é a mais utilizada em todo o mundo. Entre seus produtos, encontram-se os compostos bipiridílicos, as triazinas e as glicinas substituídas.

Os compostos **bipiridílicos** apresentam uma das mais altas toxicidades desta classe. Eles são herbicidas não seletivos, aplicados em plantações e no controle de vegetação aquática em represas, lagos, canais de irrigação, reservatórios etc. O paraquat, por exemplo, é um bipiridílico que se acumula nos pulmões e rins, e induz edemas, inflamação e anoxia.

As **triazinas** são compostos não seletivos altamente persistentes no ambiente, sendo consideradas importantes poluentes do ambiente aquático, como a atrazina e a simazina. Alguns estudos associam o efeito destes compostos ao desenvolvimento de câncer de ovário.

As **glicinas substituídas** são não seletivas, e compreendem o grupo amplamente utilizado devido à expansão das culturas transgênicas e sua tolerância para a aplicação destes compostos, ou seja, uma plantação transgênica pode ser pulverizada com herbicidas sem que a cultura morra. O glifosato é o herbicida mais popular deste grupo e exerce sua toxicidade na biossíntese de aminoácidos de plantas, fungos e algumas bactérias, através da inibição da enzima EPSPS (5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintase), ausente em vertebrados. Desta forma, diversos cientistas e agências regulatórias assumem que o glifosato é seguro para animais, incluindo os humanos. A exposição ao glifosato é quase inevitável, pois ele está presente na agricultura, em jardins domésticos e em mercados de plantas. A exposição aguda provoca sangramentos gastrointestinais, hipotensão, disfunção pulmonar e renal.



Às vezes nos deparamos com dados contraditórios sobre a toxicidade de substâncias químicas. Segundo a *European Chemicals Agency* (ECHA) dos Estados Unidos, o glifosato é tóxico para os olhos e para os organismos aquáticos. Entretanto, não é classificado como carcinogênico, apesar de diversas fontes se oporem a estes dados, dentre elas a *World Health Organization* (WHO). Apesar das dúvidas, o glifosato é banido nos Estados Unidos, mas permitido no Brasil. Seria possível excluir o glifosato dos nossos alimentos no Brasil?

Além das classes abordadas anteriormente, ainda existem outros grupos: os raticidas (contra ratos e camundongos), acaricidas (contra ácaros), nematicidas (contra nematódeos), molusquicidas (contra moluscos) e fumigantes (contra insetos, ácaros, nematoides, sementes de ervas daninhas, fundos e roedores), geralmente aplicados na forma de gás ou vapor.

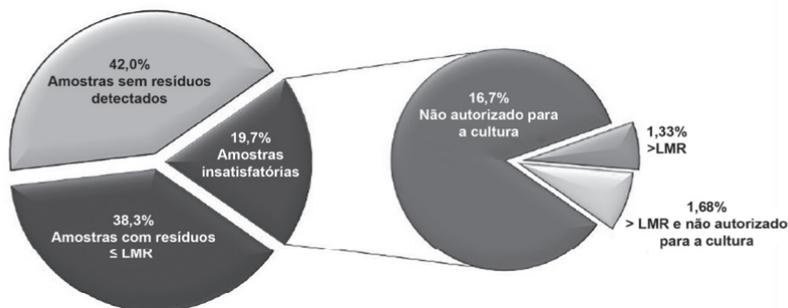
Segurança alimentar

A Anvisa tem a competência de avaliar os agrotóxicos e suas toxicidades. Os resultados dos estudos toxicológicos são utilizados para estabelecer a classificação toxicológica dos produtos, e para calcular os parâmetros de referência aguda pela dose de referência aguda (DRA) e crônico pela ingestão diária aceitável (IDA) de cada ingrediente ativo. A Anvisa ainda estabelece o limite máximo de resíduos (LMR) permitido nas culturas após a aplicação do agrotóxico, e o intervalo de segurança entre a última aplicação do agrotóxico e a colheita ou comercialização.

Segundo análises de amostras coletadas entre 2013 e 2015 pelo Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA) da Anvisa, 9.680 amostras (80,3%) estavam satisfatórias quanto à presença de resíduos de agrotóxicos, sendo que em 5.062 (42,0%) não foram detectados resíduos e 4.618 (38,3%) estavam com os resíduos abaixo do LMR. As 2.371 amostras consideradas insatisfatórias (19,7%) excederam o LMR ou utilizaram um agrotóxico sem autorização para a cultura (Figura 3.17) (ANVISA, 2016). Nestes casos, uma avaliação específica é efetuada para comparar a exposição esperada com

os parâmetros de referência agudo (DRfA) e crônico (IDA). Caso a exposição exceda os parâmetros de referência, existe um potencial risco à saúde do consumidor.

Figura 3.17 | Distribuição de amostras de alimentos analisadas segundo a presença ou a ausência de resíduos de agrotóxicos e o tipo de irregularidade.



Fonte: Anvisa (2016).



Pesquise mais

Caro aluno, finalizamos esta Unidade 3 com a abordagem sobre os agrotóxicos. Mas não se esqueça de que existem milhares de agentes tóxicos espalhados pelo mundo! Lembra-se que estamos diariamente expostos a estes agentes? O documentário *UNSAFE: The Truth Behind Everyday Chemicals* relaciona doenças atuais, como o autismo, a infertilidade e o câncer com as substâncias químicas a que estamos expostos diariamente no ar que respiramos, na água que bebemos, nos alimentos que comemos, em todos os produtos de higiene e cuidados pessoais, nos móveis, nos brinquedos, nos produtos de agricultura e jardinagem. Assista ao vídeo disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=4VAUh9QtjDE>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

Sem medo de errar

Caro aluno,

Nesta seção você se familiarizou com os efeitos tóxicos induzidos pelos agrotóxicos. Vamos retomar o seu trabalho na empresa de consultoria? Lembra-se de que o prefeito de Barreiras (BA) solicitou

que você e seus colegas consultores analisassem o herbicida à base de glifosato, encontrado em amostras de água e solo locais? Sabe-se que o glifosato atua sobre uma enzima produzida apenas pelas plantas, mas diversas notícias relacionam este composto a problemas para a saúde ambiental e humana. Como explicar ao prefeito estas informações contraditórias? Pode-se afirmar que as populações da área em estudo expostas a este herbicida estão livres de efeitos adversos? Quais as recomendações que poderiam ser sugeridas a indústria para que diminua os riscos de contaminação?

As informações toxicológicas sobre o glifosato estão sendo amplamente estudadas, mas infelizmente ainda sem uma conclusão definitiva. Estudos apontam que o glifosato tem potencial carcinogênico para mamíferos, por outro lado, outros estudos não encontraram uma relação concreta entre o glifosato e o câncer em humanos, apesar das evidências. Portanto, as populações expostas ao herbicida podem estar em risco. As medidas preventivas deverão sempre ser seguidas partindo do pressuposto de que o glifosato possui potencial carcinogênico, especialmente em relação à exposição ocupacional, a qual é muito mais elevada que a exposição apenas por alimentos, por exemplo. (CARNEIRO et al. 2015; CRESSEY, 2015; ECHA, 2017)

Os equipamentos de proteção individual (EPI) devem ser utilizados atentamente pelos trabalhadores locais, diminuindo assim a exposição ao herbicida. Em relação ao ambiente, um estudo detalhado é necessário para avaliar a mobilidade do glifosato no solo, verificando a persistência do herbicida no local, a taxa de degradação e/ou adsorção. Quanto mais adsorvido ao solo, menor a biodisponibilidade para sofrer processos de lixiviação e atingir águas subterrâneas e superficiais. A meia-vida dos agrotóxicos e a adsorção ao solo e aos sedimentos sempre dependem das características do solo (textura, pH, matéria orgânica etc.). Além disso, um estudo de monitoramento da contaminação local (solo, água e sedimentos) auxiliaria no conhecimento do comportamento do herbicida no ambiente, visando diminuir os riscos à biota e a possível contaminação de água, ar, solo e alimentos.

Embalagens de agrotóxicos

Descrição da situação-problema

Em 2009, o Brasil registrou 11.484 casos de intoxicação por agrotóxicos, sendo que 2.812 foram por uso doméstico e 5.204 por uso agrícola, e os demais por produtos veterinários e raticidas (SINITOX, 2009). Levando em conta estes números alarmantes, um empreendedor da cidade de Porto Nacional (TO) solicitou a uma empresa de consultoria que analisasse as principais fontes de contaminação ambiental pelos agrotóxicos. Você, como consultor ambiental da empresa, fez um levantamento do destino das embalagens vazias de agrotóxicos, e verificou que muitos fabricantes não estavam cumprindo a logística reversa, na qual as embalagens vazias devem ser retornadas até o fabricante (Lei 12.305/2010). Foram encontradas diversas embalagens em um terreno baldio, sobre o solo sem revestimento. O empreendedor que o contratou questionou se as águas subterrâneas poderiam ter sido contaminadas, pois abastecem a cidade e seriam uma grande fonte de intoxicação por agrotóxicos, e também perguntou por quanto tempo aquele solo estaria contaminado. Que procedimentos você deve realizar para esclarecer as dúvidas do empreendedor?

Resolução da situação-problema

A contaminação de águas subterrâneas pela lixiviação de agrotóxicos presentes no solo depende das características do produto em questão. Por exemplo, os organoclorados são lipossolúveis, o que facilita a adsorção ao solo e diminui a lixiviação para as águas subterrâneas. Todavia, eles possuem alta estabilidade e baixa biodegradação, tornando-os muito persistentes no ambiente. Eventuais episódios naturais, como erosão e chuvas fortes etc., ou outras atividades antrópicas no local, poderiam facilitar a redistribuição dos organoclorados. Portanto, deve-se realizar análises do solo local para verificar quais produtos o contaminaram e quais são as características físico-químicas de cada produto, com o propósito de analisar a persistência dos agrotóxicos no ambiente e sua movimentação nos diferentes compartimentos ambientais.

Faça valer a pena

1. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) atua na avaliação da segurança de alimentos, a fim de proteger e promover a saúde da população brasileira. Dentre as orientações fornecidas aos agricultores, solicitam o atendimento ao intervalo de segurança.

O intervalo de segurança pode ser corretamente definido como:

- a) Período de tempo entre a última aplicação do agrotóxico e o reinício das atividades de colheita ou comercialização.
- b) Período de tempo entre a primeira e a última aplicação do agrotóxico.
- c) Período de tempo entre a última aplicação do agrotóxico e a inativação do solo.
- d) Período de tempo entre a colheita e o consumo dos alimentos.
- e) Período de tempo entre a colheita e a próxima aplicação do agrotóxico no replantio.

2. Analise as afirmações a seguir:

I. O DDT é um inseticida piretroide, inicialmente obtido dos extratos de flores do crisântemo (*Chrysanthemum cinerariaefolium*), mais tarde produzido sinteticamente em laboratório.

II. No rótulo e bula dos agrotóxicos é obrigatória a apresentação da classificação segundo a periculosidade do produto.

III. Os agrotóxicos são classificados de acordo com os organismos alvos de ação e o grupo químico dos compostos, como os herbicidas, contra ervas daninhas; os inseticidas, contra insetos; e os fungicidas, contra fungos.

Considere as opções e assinale a que contém as afirmações corretas:

- a) Somente I.
- b) Somente I e II.
- c) Somente II.
- d) Somente II e III.
- e) I, II e III.

3. Leia o texto a seguir:



A partir do ano 2025 metade das crianças nascidas nos EUA será diagnosticada com autismo, segundo a especialista Stephanie Seneff, pesquisadora sênior do Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory mundialmente respeitado, Massachusetts Institute of Technology (MIT). A Dra Seneff, assim como muitos outros cientistas, afirma que o autismo não é um distúrbio neurológico apenas genético – é praticamente certo que ocorra devido a fatores ambientais. Dois desses fatores estão relacionados à exposição ao RoundUp (glifosato) da Monsanto e a um coquetel de metais pesados, incluindo o alumínio

Fonte: <<http://www.eco21.com.br/textos/textos.asp?ID=3483>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

De acordo com o texto, assinale a alternativa correta acerca do glifosato.

- a) O glifosato apresenta elevada eficiência na eliminação de ervas daninhas, atuando na inibição da enzima EPSPS, relacionada com a biossíntese de aminoácidos em plantas e animais.
- b) O glifosato é amplamente utilizado em culturas transgênicas, devido à tolerância destas plantas à aplicação do herbicida.
- c) A exposição ao glifosato pode ser completamente evitada a partir da não ingestão de alimentos pulverizados com ele.
- d) O glifosato não induz efeitos tóxicos em organismos após a exposição aguda.
- e) Segundo a *European Chemicals Agency* (ECHA) e *World Health Organization* (WHO), o glifosato é tóxico para os olhos e para os organismos aquáticos, o que levou ao seu banimento nos Estados Unidos e Brasil.

Referências

ALVES, V. B. S.; SILVA, J. E.; BERSTEIN, A. **Impactos do acidente na Indústria de Papel e Celulose Cataguases, no Rio Paraíba do Sul**. Biblioteca Meio Ambiente, 2013. Disponível em: <<http://www.educacaopublica.rj.gov.br/biblioteca/meioambiente/0040.html>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

ARIAS, A. R. L.; SANTOS, V. G. Metalotioneína: processos celulares e moleculares. **Caderno de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 4, p. 701-716, 2008.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos em Alimentos (PARA). **Programa de análise de resíduos de agrotóxicos em alimentos - PARA: Relatório das análises de amostras monitoradas no período de 2013 a 2015**, 2016. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/programa-de-analise-de-registro-de-agrotoxicos-para>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Cartilha sobre agrotóxicos - Série Trilhas do Campo**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2011. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/documents/111215/451956/Cartilha+sobre+Agrot%C3%B3xicos+S%C3%A9rie+Trilhas+do+Campo/6304f09d-871f-467b-9c4a-73040c716676>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Seminário volta a discutir mercado de agrotóxicos em 2012**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/resultado-de-busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=2665456&_101_type=content&_101_groupId=219201&_101_urlTitle=seminario-volta-a-discutir-mercado-de-agrotoxicos-em-2012&inheritRedirect=true>. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Relatórios de comercialização de agrotóxicos**. 2016. Disponível em: <http://ibama.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=594&Itemid=546>. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. **Lei Federal nº. 7.802, de 11 de julho de 1989**. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7802.htm>. Acesso em: 2 ago. 2017.

BRASIL. **Lei nº 9.832, de 14 de setembro de 1999**. Proíbe o uso industrial de embalagens metálicas soldadas com liga de chumbo e estanho para acondicionamento de gêneros alimentícios, exceto para produtos secos ou desidratados. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 14 set. 1999. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9832.htm>. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. **Lei nº 11.762, de 1 de agosto de 2008.** Fixa o limite máximo de chumbo permitido na fabricação de tintas imobiliárias e de uso infantil e escolar, vernizes e materiais similares e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 1 ago. 2008. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/l11762.htm Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. **Lei Federal nº. 11.936, de 14 de maio de 2009.** Proíbe a fabricação, a importação, a exportação, a manutenção em estoque, a comercialização e o uso de diclorodifeniltricloretano (DDT) e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/Lei/L11936.htm. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. **Lei Federal nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **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. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº. 23, de 12 de dezembro de 1996.** Dispõe sobre as definições e o tratamento a ser dado aos resíduos perigosos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basileia sobre o controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos perigosos e seu Depósito. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1996_023.pdf. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução No. 235, de 07 de Janeiro de 1998.** Altera o anexo 10 da Resolução CONAMA nº 23, de 12 de dezembro de 1996. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23597.html>. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº. 244, de 16 de Outubro de 1998.** Exclui item do anexo 10 da Resolução CONAMA nº 23, de 12 de dezembro de 1996 Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=244>. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº. 228, de 20 de Agosto de 1997.** Dispõe sobre a importação de desperdícios e resíduos de acumuladores elétricos de chumbo. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=228>. Acesso em: 2 ago. 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº. 460, de 30 de dezembro de 2013.** Altera a Resolução CONAMA No. 420, de 28 de dezembro de 2009, que dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=702>. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº. 420, de 28 de dezembro de 2009.** Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. 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. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **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. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº. 313, de 29 de outubro de 2002.** Revoga a Resolução No. 6/88. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2002_313.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional Do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 18 de 6 de maio de 1986.** Dispõe sobre a criação do Programa de Controle de Poluição do Ar por veículos Automotores – PROCONVE. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=41>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional Do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 424, de 22 de abril de 2010.** Revoga o parágrafo único do art. 16 da Resolução CONAMA nº 401/2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=629>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional Do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução nº 401, de 4 de novembro de 2008.** Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=589>> Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução No. 452, de 02 de julho de 2012.** Dispõe sobre os procedimentos de controle da importação de resíduos, conforme as normas adotadas pela Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=676>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. Ministério do Trabalho e Emprego. **Portaria nº. 25, de 29 de dezembro de 1994.** Aprova o texto da Norma Regulamentadora nº 9 - Riscos Ambientais e inclui na Norma Regulamentadora nº 5, item 5.16, a alínea "o". Disponível em: <http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Portaria_MS_1469-00.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2017.

_____. Secretário de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa nº. 27, de 5 de junho de 2006.** Alterada pela Instrução Normativa No. 7, de 12 de abril de 2016. Dispõe sobre os fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados.

_____. Organização Mundial da Saúde (OMS) e Programa Internacional sobre Segurança Química (IPCS). **Substâncias químicas perigosas à saúde e ao ambiente.** São Paulo: Cultura Acadêmica, 2008.

CALDAS, L. Q. A. **Intoxicações exógenas agudas por carbamatos, organofosforados, compostos bipiridílicos e piretróides.** Centro de Controle de Intoxicações, 2000. Disponível em: <<http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/intoxicacoes%20agudas%20-%20carbamatos%20e%20organoclorados.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

CARNEIRO, F. et al. **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde.** 2015. Rio de Janeiro: EPSJV; São Paulo: Expressão Popular, 2015.

CARUSO, M. S. F.; ALABURDA, J. Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - benzo(a)pireno: uma revisão. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 67, n. 1, p. 1-27, 2008.

CRESSEY, D. A. Widely used herbicide linked to câncer. **Nature News: Explainer.** Disponível em: <<https://www.nature.com/news/widely-used-herbicide-linked-to-cancer-1.17181>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Incêndio Alemoa:** estudo de Implementação das Recomendações da Carta de Santos, 2015. Disponível em: <<http://www.abtl.org.br/wp-content/themes/abtl/arquivos/GT%20-%20INC%3%8ANDIO%20ALEMOA%20-%20RELAT%3%93RIO%20FINAL%20-%20Vers%3%A3o%20final%2019.07.16.pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

EUROPEAN CHEMICALS AGENCY. **Glyphosate not classified as a carcinogen by ECHA.** Disponível em: <<https://echa.europa.eu/-/glyphosate-not-classified-as-a-carcinogen-by-echa>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

FORTE, J. et al. Contaminação de aquífero por hidrocarbonetos: estudo de caso na Vila Tupi, Porto Velho – Rondônia. **Química Nova**, v. 30, n. 7, p. 1539-1544, 2007.

KLAASSEN, C. D.; AMDUR, M. O.; DOULL, J. **Casarett and Doull's Toxicology: the basic Science of poisons.** New York: McGraw-Hill, 1996, 5. ed. 1111 p.

LIMA, V. F.; MERÇON, F. Metais Pesados no Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. 4, 2011.

LINHARES, D. P et al. Mercúrio em diferentes tipos de solos marginais do baixo rio madeira-amazônia ocidental. **Geochimica Brasiliensis**, v. 23, n. 1, 2009.

LINK TV. Earth Focus Episode 59 - UNSAFE: The Truth Behind Everyday Chemicals. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=4VAUh9QtjDE>>. Acesso em: 26 set. 2017. **(Vídeo do Youtube)**

MACIEL, A. G. P. C et al. Contaminação do subsolo por hidrocarbonetos do petróleo. **Ciências Exatas e Tecnológicas**. Maceió, v. 3, n. 1, p. 57-64. 2015

MORAES, P. V. D.; ROSSI, P. Comportamento ambiental do glifosato. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 9, n. 3, p. 22-35, 2010.

PORTAL EBC. Relembre os principais desastres ambientais ocorridos no Brasil. **Meio Ambiente**, 2015. Disponível em: <<http://www.ebc.com.br/noticias/meio-ambiente/2015/11/conheca-os-principais-desastres-ambientais-ocorridos-no-brasil>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

SILVA, R. C.; BARROS, K. A.; PAVÃO, A. C. Carcinogenicidade do carbendazim e seus metabólitos. **Química Nova**, v. 37, n. 8, p. 1329-1334, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20140214>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. **Princípios de toxicologia ambiental**. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES TÓXICO-FARMACOLÓGICAS. Dados de intoxicação. Disponível em: <<http://sinitox.iciet.fiocruz.br/dados-de-agentes-toxicos>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

PIMENTEL, D. Amounts of pesticides reaching target pests: Environmental impacts and ethics. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, v. 8, n. 1, p. 17-29, 1995. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/BF02286399>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

RODRIGUES, L. B et al. Ecotoxicological assessment of glyphosate-based herbicides: effects on different organisms. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 9999, n. 9999, p. 1-9, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/etc.3580>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

Indicadores e consequências da toxicologia

Convite ao estudo

Caro aluno,

Na unidade anterior nós focamos os estudos na toxicidade de diferentes agentes tóxicos: metais, hidrocarbonetos e agrotóxicos. Vamos avançar nos estudos? Na Unidade 4 você irá compreender a avaliação da periculosidade ou da toxicidade de uma substância, determinada para assegurar a segurança química. Uma análise de risco toxicológico é uma ferramenta fundamental para verificar o real risco que uma substância química representa para o ambiente em questão.

Vamos retomar seu trabalho na empresa de consultoria ambiental? Na última etapa desta jornada, o prefeito de Barreiras (BA) solicitou uma avaliação de risco dos resíduos industriais levantados na área em estudo até o momento. Ele pretende solicitar às indústrias locais que se adequem às normas e resoluções brasileiras para mitigar os efeitos tóxicos de seus resíduos industriais o mais breve possível. Entretanto, precisa saber se a área em estudo está realmente em risco. Sendo assim, alguns conhecimentos sobre as diretrizes que buscam mitigar os potenciais danos causados por substâncias químicas são necessários. Agora que você e seus colegas já conhecem melhor o cenário em estudo, quais estratégias devem usar para identificar os problemas toxicológicos do ambiente? E como escolher os melhores testes e indicadores de qualidade?

Ao final desta unidade, você deverá elaborar a avaliação de risco dos resíduos industriais para o prefeito de Barreiras, propondo adequações às indústrias locais. Para ajudá-lo nesta caminhada, nós iniciaremos os estudos sobre a segurança

química no Brasil e como ela é realizada. Vamos abordar os diferentes ensaios ecotoxicológicos necessários para a avaliação das substâncias químicas, e que permitem monitoramento ambiental.

Vamos lá?

Seção 4.1

Segurança química

Diálogo aberto

A evolução na produção de substâncias químicas na sociedade moderna implica na utilização de milhões de substâncias, de origem natural ou antropogênica, com projeções de que aumentem exponencialmente ao longo dos anos. Desta forma, a segurança química tornou-se um conceito global, desenvolvido para assegurar a proteção da saúde humana e ambiental frente aos riscos decorrentes das atividades compreendidas no ciclo de vida.

Agora iremos retomar o seu trabalho na empresa de consultoria! Lembra-se que você e seus colegas de trabalho auxiliaram o prefeito de Barreiras (BA) a analisar algumas irregularidades da Indústria de fertilizantes e agrotóxicos? Preocupado com a preservação do cerrado do local e com a saúde pública da cidade, o prefeito pretende solicitar com urgência que as indústrias locais se adequem às legislações ambientais.

Nesta nova etapa da jornada, o prefeito solicitou a você e aos demais consultores uma avaliação de risco de diversos produtos químicos, para prevenir ou controlar os problemas ambientais causados pelas indústrias do local. Ele desconfia que as indústrias não estejam seguindo as recomendações contidas nos rótulos e nas fichas de informações de segurança dos produtos químicos (FISPQ) utilizados. Será que é possível investigar o risco se as recomendações não são seguidas? Caso seja impossível prevenir uma substância química de poluir o ambiente, é necessário bani-la?

Para que você possa concluir esta nova tarefa, nesta seção nós iremos abordar os conceitos de segurança química, incluindo a classificação de perigos, rotulagem e fichas de dados de segurança, além de como realizar uma análise de risco com suas etapas de avaliação, gerenciamento e comunicação de risco. Ao final, você também entenderá como funciona a segurança química nacional.

Prepare-se e vamos lá!

Não pode faltar

A segurança química consiste na gestão e na utilização consciente de agentes químicos a fim de assegurar a proteção à saúde humana e ambiental. Para isso, ela é regulamentada por dispositivos legais, instrumentos e mecanismos em busca do equilíbrio entre os setores econômico, social e ambiental, prevenindo ou minimizando problemas ao longo do ciclo de vida dos agentes químicos, ou seja, desde a produção, utilização e transporte até o descarte final.

Diversos países, dentre eles o Brasil, implementaram o *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals* (GHS, 2011), um sistema internacional de classificação de agentes químicos criado pela Organização das Nações Unidas (ONU) para facilitar acordos internacionais e proteger as informações industriais confidenciais. Neste sentido, as informações dos agentes químicos são adicionadas em formulários específicos, chamados de *Material Safety Data Sheet* (MSDS), de uso internacional, ou Fichas de Informação de Segurança para Produtos Químicos (FISPQ), de uso nacional. A FISPQ é um documento normalizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/NBR 14725), seguindo as diretrizes do GHS. Este sistema envolve os seguintes aspectos: identificação do agente químico, incluindo suas propriedades físico-químicas e características toxicológicas, probabilidade de causar impactos à saúde humana e ambiental, advertências quanto aos potenciais riscos que apresentam no armazenamento e na manipulação, além das medidas de proteção e de primeiros socorros em casos de acidentes.

As classes de perigo dos agentes químicos contidos na FISPQ são divididas em três gêneros:

Perigos físicos: explosivos, gases e aerossóis inflamáveis, gases e líquidos e sólidos oxidantes, gases sob pressão, líquidos e sólidos inflamáveis, substâncias auto-reativas, líquidos e sólidos pirofóricos, substâncias auto-aquecíveis, substâncias que em contato com a água desprendem gases inflamáveis, peróxidos orgânicos, substâncias corrosivas aos metais.

Perigos à saúde humana: toxicidade aguda, corrosão e irritação da pele, lesões oculares graves e irritação ocular, sensibilização respiratória ou da pele, mutagenicidade em células germinativas, carcinogenicidade, toxicidade à reprodução e lactação, toxicidade

sistêmica para certos órgãos-alvo por exposição única ou repetida e perigo por aspiração.

Perigos ao ambiente: perigo ao ambiente aquático – agudo, baseado na concentração letal para peixes, crustáceos, algas e outras plantas; perigo ao ambiente aquático – crônico, baseado na concentração efetiva aos mesmos organismos, levando-se em consideração a degradabilidade e a bioacumulação; e perigo à camada de ozônio.

Os critérios de rotulagem dos agentes químicos são realizados conforme a classificação definida e possuem pictogramas padronizados que indicam os perigos no rótulo do produto (Figura 4.1).

Figura 4.1 | Pictogramas de perigo, de acordo com as diretrizes do GHS (2011)



1) Cancerígeno, mutagênico em gelulas germinativas, tóxico para a reprodução (CMR: carcinogenic, mutagenic, toxic to reproduction)
2) Toxicidade para órgãos-alvos específicos (STOT: Specific Target Organ Toxicity)

Fonte: <<https://tsht.wikispaces.com/3778++Agentes+qu%C3%ADmicos+e+biol%C3%B3gicos>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

Análise de risco toxicológico

Você sabe como as informações contidas na FISPQ são obtidas? Os agentes tóxicos são submetidos a uma avaliação de risco, sejam puros ou em misturas, que integra a análise de risco, realizada em três etapas (Figura 4.2). Quando pensamos em análise de risco, devemos nos perguntar: qual é o risco associado a um determinado agente químico? Sabemos que a toxicidade de toda substância é intrínseca, porém a probabilidade de ocorrência dos efeitos tóxicos

sob condições específicas de exposição é chamada de risco. Lembre-se que a exposição pode ocorrer por doses agudas ou crônicas e por diferentes vias: inalatória, dérmica ou gastrointestinal. Enquanto alguns agentes químicos apresentam maior risco por exposição crônica, como aqueles potencialmente carcinogênicos, outros oferecem risco durante a exposição aguda, como alguns agentes neurotóxicos.

Figura 4.2 | Etapas da análise de risco



Fonte: elaborada pela autora.



Pesquise mais

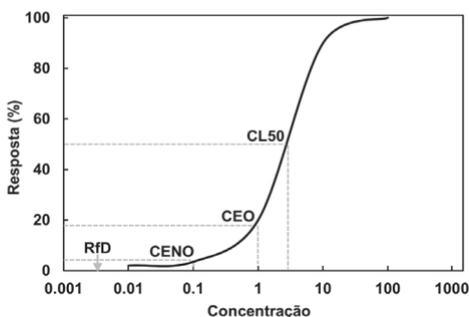
A análise de risco também pode ser aplicada em atividades industriais para a determinação do risco ocupacional. Para saber mais, acesse a Norma Técnica P4.261/2011 da CETESB: Risco de Acidente de Origem Tecnológica - Método para decisão e termos de referência. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/11/2013/11/P4261-revisada.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

A avaliação de risco é a primeira etapa da análise de risco, e visa a identificar e caracterizar e quantificar o risco envolvido na utilização de agentes químicos. O processo de avaliação de risco é dividido em quatro fases: **identificação do dano ou perigo**, caracterização da relação dose-resposta, avaliação da exposição e caracterização do risco. Na identificação do dano ou perigo, o agente químico é submetido a diversos testes que visam a identificar a sua toxicidade inerente a partir de métodos experimentais in vitro com o principal propósito de triagem, em animais e/ou estudos epidemiológicos para reduzir a incerteza de extrapolações, e pela

relação entre a estrutura química e a atividade biológica do agente químico (*Quantitative Structure-Activity Relationship* – QSAR), a qual envolve modelos matemáticos para prever os efeitos tóxicos de acordo com a estrutura química e a presença de grupos funcionais específicos, evitando o uso de animais em experimentos.

Após a identificação do perigo, a **caracterização da relação dose-resposta** quantifica a relação entre a exposição e o efeito adverso, também realizado em testes *in vitro* e em animais de laboratório ou estudos epidemiológicos. Nesta etapa, são calculadas as doses letais médias (DL50), as concentrações letais médias (CL50) e as concentrações efetivas médias (CE50), que permitem a classificação do agente tóxico quanto ao perigo (vide Tabela 1.2 - Unidade 1, Seção 1.2), além dos níveis seguros de exposição baseados no CENO (Concentração de Efeito Não Observado), ou seja, na maior concentração testada em que não houve indução de efeitos adversos, e no CEO (Concentração de Efeito Observado), ou seja, na menor concentração testada em que houve indução de efeitos adversos (Figura 4.3). Os testes devem ser realizados em espécies muito sensíveis, de acordo com os métodos citados na ABNT NBR 14725, conforme as diretrizes do GHS e OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*).

Figura 4.3 | Curva dose-resposta e estimativa dos valores de RfD, CL50, CENO e CEO a partir de experimentos de mortalidade em testes *in vitro* ou em animais em laboratório



Fonte: elaborada pela autora.

A dose de referência (RfD) e ingestão diária aceitável (IDA) são doses diárias de agentes químicos aceitáveis para humanos, em mg/kg/dia, estabelecidos por órgãos reguladores do país para efeito de

comparação com valores de exposição encontrados no ambiente. A RfD ou IDA é calculada dividindo-se o CENO por fatores de incerteza ou segurança (FS), e demonstra a dose a que a população pode estar exposta ou pode ingerir durante toda a vida sem que haja provável risco de aparecimento de efeito nocivo. O fator 100 é normalmente utilizado, assumindo que o humano pode ser dez vezes mais sensível que o animal testado, e que alguns indivíduos podem ser dez vezes mais sensíveis que a média da população. Quando se utiliza o valor do CEO no cálculo, deve-se acrescentar mais um FS 10. Outros fatores de segurança podem ser acrescentados dependendo de cada caso analisado, como a extrapolação de estudos realizados com exposição não-crônica para exposição crônica, ou de exposição em animais de laboratório para humanos.

$$RfD \text{ ou } IDA = \frac{CENO}{FS_1 \cdot FS_2 \cdot \dots \cdot FS_n}$$

Entretanto, para substâncias carcinogênicas e genotóxicas que interagem com o DNA, não existe um limiar de dose segura de exposição, ou seja, a exposição a uma única molécula pode levar a uma alteração genética e iniciar todo o processo. Para essas substâncias, adota-se a medida de números de câncer em um milhão de indivíduos expostos, calculado pela dose de exposição multiplicada pelo potencial carcinogênico (dose que induz um câncer em um milhão de indivíduos).

Quadro 4.1 | Classificação de carcinógenos para humanos

Grupo	Classificação
Grupo 1	Carcinogênico
Grupo 2A	Provavelmente carcinogênico
Grupo 2B	Possivelmente carcinogênico
Grupo 3	Não classificado
Grupo 4	Provavelmente não carcinogênico

Fonte: adaptado de <<http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

Na fase da **avaliação da exposição**, estima-se diferentes intensidades, frequências e durações da exposição dos organismos ao agente químico. A estimativa da exposição pode ser baseada diretamente em medidas ambientais e absorvidas (sempre considerar

as diferentes vias de absorção) ou baseada em modelos matemáticos para as condições existentes. Nesta etapa se consideram outros fatores, como idade, sexo, patologias, fontes adicionais de agentes tóxicos e nível real do agente químico no solo, alimentos, água e ar que atingem efetivamente os organismos expostos.

$$\text{Exposição} = \text{concentração no ambiente} \times \text{dose absorvida}$$

A **caracterização do risco** é a última fase da avaliação de risco, e é nesta etapa que voltamos à pergunta inicial: qual é o risco associado a um determinado agente químico? Aqui, estima-se a probabilidade de ocorrência de um efeito adverso em uma população exposta ao agente químico sob condições definidas de exposição. Desta forma, a avaliação de risco envolve o grau do perigo e a exposição. Portanto, o risco é calculado em função da toxicidade e da exposição.

$$\text{Risco} = \text{toxicidade} \times \text{exposição}$$

Para compostos não carcinogênicos, historicamente, tem-se comparado os níveis de exposição com a RfD ou IDA, e três períodos de exposição são considerados: agudo, intermediário e crônico. Caso os valores de exposição sejam menores que os valores da RfD ou IDA, não há risco de efeito adverso. Para compostos carcinogênicos, o resultado é expresso na probabilidade de desenvolver câncer durante o tempo médio de vida, sendo aceito um risco de 10^{-6} ou seja, 1 em 1.000.000. O cálculo é baseado na ingestão diária crônica (70 anos) e no fator potencial ou *slope factor* do carcinógeno, definido como o incremento no risco de desenvolver câncer em uma dose de 1 mg da substância por 1 kg de peso corpóreo por dia, durante o tempo de vida.

Quadro 4.2 | Classificação de carcinógenos para humanos

Toxicidade	Exposição	Risco
Baixa	Baixa	Sem importância
Baixa	Média	Baixo
Baixa	Alta	Baixo a médio
Média	Baixa	Baixo a médio
Média	Média	Médio
Média	Alta	Médio a alto

Alta	Baixa	Médio a alto
Alta	Baixa	Alto
Alta	Alta	Muito alto

Fonte: adaptado de <<http://www.unifal-mg.edu.br/latf/files/Avalia%C3%A7%C3%A3o%20de%20Risco.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

No Brasil, o IBAMA 84/1996 recomenda uma avaliação de risco ambiental em agrotóxicos quando a classificação de periculosidade ambiental caracterizar a necessidade de informações de campo. O cálculo do Quociente de Risco (QR) é uma abordagem que identifica situações de alto ou baixo risco ambiental de agrotóxicos, de acordo com as diretrizes da agência norte-americana *U.S. Environmental Protection Agency* (USEPA). O QR é calculado a partir dos valores de exposição, ou seja, a concentração ambiental estimada (CAE) do agente químico dividida pelos valores de toxicidade, neste caso os valores da CL50 ou CENO. O resultado é comparado ao nível de preocupação, ou *Level of Concern* (LOC), o que possibilita a análise do risco para organismos não alvos (Quadro 4.3).

$$QR = \frac{CAE}{CL50 \text{ ou } CENO}$$

Quadro 4.3 | Parâmetros para caracterização de risco de agrotóxicos para organismos aquáticos

Risco	Quociente de risco	Nível de preocupação
Risco agudo alto	CAE/CL50 ou CE50	0,50
Risco agudo, uso restrito	CAE/CL50 ou CE50	0,10
Risco agudo, espécies ameaçadas	CAE/CL50 ou CE50	0,05
Risco crônico	CAE/CENO	1,00

Fonte: adaptado de: <<https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/ecological-risk-assessment-pesticides-technical>>. Acesso em: 7 nov. 2017.



Assimile

O termo perigo está relacionado com o potencial tóxico da substância química, uma característica intrínseca. Já o termo risco significa a probabilidade de ocorrência de perigos que causem danos. Assista ao vídeo *Risco e perigo - qual a diferença?*, que exemplifica de forma didática

o perigo e o risco do fogo. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=aljwdWgxbXo>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

É importante ter em mente que a toxicidade é um fator não controlável, devido à sua característica intrínseca, enquanto a exposição é um fator controlável por medidas de precaução, como a diminuição da concentração do agente químico no ambiente ou a utilização de equipamentos de proteção individual (EPI) e coletiva (EPC), no caso de exposição ocupacional.

O gerenciamento do risco é a segunda etapa da análise de risco, e estabelece normas e leis como medidas de prevenção, remediação e/ou controle. Nesta fase, as questões socioeconômicas, políticas e de saúde pública são levadas em consideração e se estabelecem prioridades e alocações de recursos financeiros na manutenção e na segurança da saúde humana e ambiental.

A comunicação do risco é a última etapa da análise de risco, e visa a alertar a população sobre o risco. Esta etapa deve ser realizada de forma cautelosa, pois comunicações inadequadas podem causar temores desnecessários na população e desconfiar nos órgãos científicos, regulamentadores e governamentais. Vale ressaltar que as etapas da análise de risco são flexíveis, ou seja, em casos extremos, a comunicação de risco é realizada antes da avaliação de risco, por exemplo, em casos em que se isola a área e retira-se a população local logo após a identificação do perigo, antes que as avaliações toxicológicas sejam finalizadas.



Exemplificando

O caso de surtos de botulismo no Brasil pela toxina botulínica presente em palmitos teve a comunicação do risco iniciada logo após a identificação do perigo. Ao confirmar o surto, os consumidores foram comunicados em avisos nos rótulos dos produtos para ferverem os palmitos por 15 minutos antes do consumo, o que evitou que o surto aumentasse ainda mais. Enquanto isso, análises foram realizadas para caracterizar o risco, e o gerenciamento implementou novas legislações para a indústria de palmitos.

Política nacional

Apesar da grande importância do GHS, trata-se de um documento não obrigatório e necessita da ratificação de sua adoção pelos estados, bem como da criação de uma legislação nacional específica. No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente tem o papel fundamental de elaborar e implementar uma política nacional de segurança química, para assegurar a produção e uso dos agentes químicos de forma responsável e minimizar os efeitos adversos à saúde humana e ambiental.

A Comissão Coordenadora do Plano de Ação em Segurança Química (COPASQ) (Portaria 319/2000) e sua sucessora Comissão Nacional de Segurança Química (CONASQ) (Portaria 352/2003) foram criadas pelo Ministério do Meio Ambiente para promover a gestão adequada dos agentes químicos. Como esta questão é de interesse público, a segurança química envolve vários níveis e setores governamentais, em especial os que atuam em questões do ambiente, trabalho, saúde, transporte e desenvolvimento econômico e tecnológico. Desta forma, a CONASQ tem como coordenador o Ministério do Meio Ambiente e como vice-coordenador o Ministério da Saúde, sendo composta por mais 20 instituições do setor público, privado e de organizações não-governamentais, tais como a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério da Ciência e Tecnologia, Organização Pan-Americana de Saúde (OPAS), Universidade de Brasília e Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Entre os objetivos da CONASQ, destaca-se a implementação do Programa Nacional de Segurança Química (PRONASQ), que visa a aperfeiçoar os sistemas de controle da produção, uso, manuseio, comercialização, importação, exportação, transporte, armazenagem e destino final de substâncias químicas, incentivando novos conhecimentos e tecnologias que minimizem a exposição da população a substâncias perigosas.



Pesquise mais

O PRONASQ promove a gestão integrada e participativa de substâncias químicas para a proteção do ambiente e da saúde humana e contribui para o desenvolvimento sustentável. Para saber mais sobre as diferentes linhas temáticas deste programa, acesse o documento disposto no site indicado. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_seguranca/_arquivos/pronasq_ult_versao1_143.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2017.



Refleta

Chegamos ao fim de mais uma etapa! A análise de risco e segurança química são fundamentais para proteger a saúde humana e ambiental, mas você sabe como os órgãos regulamentadores atingem os resultados finais dessas análises? Que espécies são utilizadas para realizar os testes em animais em meio ao movimento mundial contra o uso de animais em experimentação?

Na próxima seção iremos esclarecer essas dúvidas e muito mais para você.

Bons estudos e nos vemos lá!

Sem medo de errar

Caro aluno,

Agora que você compreendeu como a segurança química e a análise de risco é realizada, vamos retomar o seu trabalho na empresa de consultoria? Lembre-se de que o prefeito solicitou a você e aos demais consultores uma avaliação de risco de diversos produtos químicos, para prevenir ou controlar os problemas ambientais causados pelas indústrias de Barreiras (BA). Ele desconfia que as indústrias não estão seguindo à risca as recomendações contidas nos rótulos e FISPQs dos produtos químicos. Será que é possível investigar

o risco se as recomendações não são seguidas? Caso seja impossível prevenir uma substância química de poluir o ambiente, é necessário bani-la?

Primeiramente, é fundamental que as indústrias sigam as recomendações dos rótulos e FISPQs, pois elas contêm informações para que o impacto à saúde humana e ambiental seja sempre prevenido ou mitigado. Alerta o prefeito da importância sobre essas informações! Toda substância química que possui FISPQ passou por diversos testes em uma avaliação toxicológica.

No caso de uma substância química ser tóxica para o ambiente, não é necessário bani-la, exceto quando há restrições de uso no país. Os compostos organoclorados, chamados de Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), por exemplo, foram banidos em quase todo o mundo devido à elevada persistência no ambiente. Solicite às indústrias que sigam as FISPQs e as legislações ambientais, sendo fundamental que a produção, o transporte, o uso e o descarte final dessas substâncias químicas sejam realizados da forma correta.

Avançando na prática

Análise de risco de gasoduto

Descrição da situação-problema

A análise de risco é uma ferramenta que pode complementar o Estudo de Impacto Ambiental (EIA). Enquanto o EIA estuda a viabilidade ambiental de um empreendimento por meio de análises dos possíveis impactos associados à sua atividade antrópica, a análise de risco quantifica os riscos das atividades. Partindo desta informação, você foi contratado por um instituto municipal para auxiliar na análise de risco das substâncias químicas de uma empresa petrolífera que busca a renovação de seu licenciamento ambiental. Ela atua na área dos gasodutos, na qual se transporta o gás natural, essencialmente constituído de metano, etano propano e hidrocarbonetos, por três cidades localizadas em uma região do interior de São Paulo.

Que fatores devem ser levados em conta nesta análise de risco?

Resolução da situação-problema

O primeiro passo da análise de risco é a avaliação do risco. O gás natural possui compostos de elevada inflamabilidade e toxicidade (periculosidade), portanto as pessoas que vivem próximas ao local estarão em risco devido ao gás transportado. Por se tratar de compostos bem estudados, alguns testes laboratoriais poderiam ser eliminados, como aqueles para identificar qual a toxicidade ou periculosidade intrínseca de cada composto. Todavia, as amostras coletadas devem ser analisadas, pois podem conter substâncias que tornam os efeitos sinérgicos, aditivos, antagonísticos ou de potenciação (relembre estes termos na Unidade 1).

É importante também que os pontos críticos do gasoduto sejam identificados, principalmente os trechos que passam próximos de cidades. Ao elaborar a caracterização do risco, é importante levar em conta as vias de exposição dérmica, inalatória (vapores do gás) e gastrointestinal (consumo de alimentos e água possivelmente contaminados) e as diferentes frequências de exposição (diária ou exposição única). Um estudo epidemiológico com trabalhadores locais e com a população que vive próxima ao empreendimento poderia auxiliar na avaliação, além dos testes laboratoriais para analisar as amostras de solo, água, ar e os possíveis alimentos cultivados nas redondezas. Outros fatores físicos que podem ser levados em consideração em uma análise de risco, como erosões, desmatamentos, proximidades com rios e córregos. Não se esqueça de que o gás natural se inflama facilmente, portanto leve em consideração fatores decorrentes de ignição.

Ao final, delimite as margens aceitáveis de risco em cada contexto socioecológico (fauna, flora e saúde pública) e siga com o gerenciamento e com as comunicações de risco adequadas.

Faça valer a pena

1. A segurança química consiste na gestão e na utilização consciente de agentes químicos para assegurar a proteção à saúde humana e ambiental. O Brasil já implementou _____, um sistema internacional de classificação dos agentes químicos criado pela

Organização das Nações Unidas (ONU) para facilitar acordos internacionais e proteger informações industriais confidenciais.

Assinale a alternativa que complementa corretamente a respectiva lacuna do texto anterior.

- a) o GHS (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals).
- b) o PRONASQ (Programa Nacional de Segurança Química).
- c) o OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*).
- d) a ABNT (Agência Brasileira de Normas Técnicas).
- e) a FISPQ (Ficha de Informação de Segurança para Produtos Químicos).

2. Analise as seguintes afirmações:

I. O termo risco está relacionado ao potencial tóxico da substância química, uma característica intrínseca.

II. O gerenciamento do risco visa ao estabelecimento de normas e leis como medidas de prevenção, remediação e/ou controle das substâncias químicas.

III. A comunicação do risco visa a alertar a população sobre o risco das substâncias químicas.

Considere as opções a seguir e assinale a alternativa que corresponde à todas as afirmações corretas:

- a) Apenas I.
- b) Apenas I e II.
- c) Apenas II e III.
- d) Apenas III.
- e) I, II e III.

3. O Ministério do Meio Ambiente tem o papel fundamental de elaborar uma abordagem estratégica para a gestão das substâncias químicas, minimizando os efeitos adversos à saúde humana e ambiental. Analise as afirmações a seguir:

I. A CONASQ foi criada pelo Ministério do Meio Ambiente para promover a gestão adequada dos agentes químicos.

II. A PRONASQ foi implementada pela CONASQ para aperfeiçoar os sistemas de controle da produção, uso, manuseio, comercialização,

importação, exportação, transporte, armazenagem e destino final de substâncias químicas.

III. A CONASQ é composta por instituições do setor público, privado e de organizações não-governamentais.

Considere as opções a seguir e assinale a alternativa que corresponde a todas as afirmações corretas.

- a) Apenas I.
- b) Apenas I e II.
- c) Apenas II e III.
- d) Apenas III.
- e) I, II e III.

Seção 4.2

Avaliação da toxicidade e monitoramento da qualidade ambiental

Diálogo aberto

Caro aluno,

Continuando nossos estudos sobre avaliações toxicológicas, nesta seção você vai conhecer o monitoramento ambiental e o biomonitoramento. A avaliação de compartimentos ambientais bióticos (fauna e flora) e abióticos (água, ar, solo e sedimento) é uma importante ferramenta para gerenciar os riscos que os agentes tóxicos representam ao ambiente. Um monitoramento pode complementar estudos de impactos ambientais e avaliações de exposição, fundamentais na avaliação de risco.

Vamos voltar à empresa de consultoria? Nesta etapa, você e seus colegas consultores irão avançar na avaliação toxicológica! Diante do levantamento de todos os agentes tóxicos que vocês encontraram no Distrito Industrial de Barreiras (BA), o prefeito resolveu iniciar a seleção dos testes ecotoxicológicos para a avaliação de risco. Vocês se reuniram para discutir o assunto e entregaram a ele uma lista com diversas opções de testes.

Vendo a quantidade de opções, ele sugeriu a escolha de três testes ecotoxicológicos para a avaliação do ar, da água e do solo, sendo um teste para cada compartimento ambiental, mas gostaria da aprovação de vocês. Vocês concordam com o prefeito? Quais testes ecotoxicológicos serão necessários para realizar uma avaliação toxicológica?

Para ajudá-lo, vamos abordar a seguir as diferenças entre um monitoramento ambiental e um biomonitoramento, e as particularidades de cada um. Vocês conhecerão fatores importantes a serem considerados durante um monitoramento e a importância da seleção de organismos testes para a avaliação de toxicidade.

Vamos lá e bons estudos!

Não pode faltar

A **avaliação ambiental** envolve a quantificação de poluentes presentes em diferentes compartimentos do ambiente, como águas superficiais e subterrâneas, sedimento, solo superficial e profundo, e ar. A realização periódica da avaliação ambiental é também chamada de **monitoramento ambiental**. Este estudo é utilizado em avaliações de exposição (lembra-se da avaliação de risco, vista na Seção 4.1?); na cinética ambiental, ou seja, na distribuição do agente tóxico pelo ambiente; e na avaliação de seus efeitos adversos. Como resultado, é possível identificar impactos ambientais que estejam ocorrendo ao longo do tempo e realizar programas de prevenção ou controle dos níveis de poluentes no ambiente.

O monitoramento ambiental deve ser realizado em diferentes etapas: coleta de amostras, análises laboratoriais e avaliação periódica para determinar as concentrações ao longo do tempo. A escolha dos pontos de amostragem nos compartimentos ambientais e a frequência de coleta de amostras devem ser estabelecidas conforme a representatividade de cada um. As amostras ambientais devem ser cuidadosamente coletadas e armazenadas, evitando contaminação adicional e a degradação da amostra pela luz ou adsorção aos recipientes. A coleta pode ser realizada sistematicamente (semanal, mensal, anual) ou intensivamente (contínua, a cada hora ou diariamente), dependendo dos objetivos do estudo. Os parâmetros monitorados são analisados com a periodicidade mantida de forma regular, e os pontos de coleta definidos e mantidos ao longo do monitoramento.



Assimile

A determinação periódica das concentrações de poluentes em diferentes compartimentos ambientais é chamada de **monitoramento ambiental**.

Quando os poluentes monitorados nos compartimentos ambientais possuem valores de referência estabelecidos pelos instrumentos reguladores, as concentrações encontradas são comparadas aos níveis máximos permitidos. Entretanto, alguns agentes tóxicos existem naturalmente no ambiente. Lembra-se dos

metais? Eles estão presentes por toda a crosta terrestre. E como fazer o monitoramento ambiental nestes casos? É preciso determinar os valores de *background*, ou seja, a concentração dos agentes tóxicos em níveis naturais. Em geral, locais sem atividades antropogênicas são utilizados para se obter os valores de *background*.

Os monitoramentos ambientais também podem ser realizados em áreas internas, como em escritórios, indústrias e prédios residenciais. Neste caso, os compartimentos são adaptados para o local de interesse. Por exemplo, faz-se o monitoramento da circulação do ar, da temperatura e umidade local; do tamanho das partículas de poeira no ar, e de amostras de água do sistema da rede de abastecimento.

Alguns fatores devem ser considerados em um monitoramento ambiental:

- Localização da área em estudo.
- Fatores ambientais (relevo, pluviometria, clima, vento, construções), fauna e flora.
- Localização das fontes de poluição (fixa ou móvel).
- Características físico-químicas dos poluentes.

A localização da área em estudo e seus respectivos fatores ambientais são de extrema importância para o monitoramento ambiental. Por exemplo, o monitoramento de um rio deve ser realizado nas estações de seca e de chuva, o que causa constantes mudanças nos poluentes, portanto as coletas devem acontecer em intervalos de tempo curtos. Para compor o perfil do poluente ao longo do tempo, é preciso integrar a avaliação com amostras de outros compartimentos. O sedimento dos rios, por exemplo, recebe grandes quantidades de poluentes lixiviados ou lançados nas águas superficiais que se adsorveram a matéria orgânica e se depositaram no fundo dos rios. A amostragem de uma faixa vertical dos sedimentos permite analisar diferentes profundidades, compondo o perfil do poluente desde a coluna de água até a sua deposição. A granulometria do sedimento também deve ser analisada, pois ela altera a adsorção dos poluentes, como os metais que se adsorvem mais facilmente às partículas menores.

Além do monitoramento ambiental em compartimentos abióticos, a avaliação da exposição em compartimentos bióticos é uma importante ferramenta na **avaliação da toxicidade**. No

monitoramento biológico ou **biomonitoramento** são utilizados organismos vivos ou partes deles, como amostras de sangue, penas, escamas etc. Para isso, são selecionados os organismos mais sensíveis do compartimento ambiental em questão, capazes de refletir o grau da poluição. É importante levar em consideração a abundância e a distribuição dos organismos no local, o fácil manejo e a capacidade de absorção dos poluentes. Organismos com vasta descrição fisiológica e ecológica e com ciclos de vida curtos são os favoritos para o biomonitoramento, pois a interpretação dos resultados torna-se mais fácil e confiável.



Exemplificando

Os organismos devem ser selecionados de acordo com os objetivos do monitoramento. Por exemplo, em um ambiente aquático, os organismos sésseis (fixos) são indicados para monitorar o grau de poluição do local, enquanto organismos planctônicos ou bentônicos são indicados para monitorar o impacto dos poluentes. Já no compartimento terrestre, as epífitas (orquídeas e bromélias) são indicadas para monitorar o grau de poluição, enquanto que ovos e penas de aves são indicados para monitorar a cadeia trófica.

Em uma avaliação de toxicidade também são realizados testes em organismos vivos ou *in vitro* voltados para prever um possível impacto ambiental antes mesmo de monitorar o efeito existente. Os bioensaios preditivos que visam à proteção da saúde humana são geralmente realizados em mamíferos devido à semelhança genética, como em coelhos, cobaias, ratos e camundongos. Entretanto, para a saúde ambiental, são requeridos bioensaios envolvendo organismos de diferentes níveis tróficos, denominados testes ecotoxicológicos.

Os tradicionais ensaios de toxicidade aguda são amplamente utilizados para determinar os efeitos de agentes potencialmente tóxicos, como os metais, agrotóxicos e solventes, mas são insuficientes para antecipar os danos ambientais. Nesse contexto, os ensaios de toxicidade crônica são fundamentais para elaborar a avaliação de risco dos agentes químicos e antecipar os potenciais efeitos adversos no ambiente. Várias respostas podem ser obtidas com os bioensaios, como a taxa de mortalidade e natalidade, crescimento

e tamanho corporal, malformações congênitas, genotoxicidade, mutagenicidade, taxa de alimentação, dentre outras interferências no ciclo de vida, que indicam a toxicidade de agentes tóxicos sobre os organismos selecionados.



Assimile

Você conhece o princípio dos 3Rs? *Reduction*, *Refinement* e *Replacement* representam os 3Rs a serem seguidos nesta ordem durante a utilização de animais em experimentação para melhorar a condução ética de bem-estar animal. *Reduction* reflete o uso de menos animais sem prejudicar os resultados, *Refinement* promove a minimização do estresse ou sofrimento animal e *Replacement* estabelece o uso de métodos alternativos sem a utilização de animais vertebrados.

No Quadro 4.4 encontram-se diversos testes ecotoxicológicos estabelecidos pela *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD), os quais norteiam as agências regulamentadoras de todo o mundo, como a ABNT no Brasil.

Quadro 4.4 | Testes ecotoxicológicos padronizados de acordo com as normas da OECD.

Testes ecotoxicológicos	Norma OECD
Efeitos em organismos aquáticos	
Teste de inibição do crescimento em alga de água doce e cianobactérias	OECD 201
Teste de imobilização aguda, <i>Daphnia</i> sp.	OECD 202
Teste de toxicidade aguda em peixes	OECD 203
Teste de toxicidade prolongada em peixes	OECD 204
Teste de inibição da respiração, lodo ativado	OECD 209
Teste de reprodução em <i>Daphnia magna</i>	OECD 211
Teste de toxicidade em <i>Chironomus</i> com sedimento enriquecido	OECD 218
Teste de toxicidade em <i>Chironomus</i> com água enriquecida	OECD 218
Teste de inibição de crescimento em <i>Lemna</i> sp.	OECD 221
Teste de reprodução em peixes	OECD 229
Teste de metamorfose em anfíbios	OECD 231
Teste de toxicidade no ciclo de vida de <i>Chironomus</i>	OECD 233
Teste de Imobilização aguda em <i>Chironomus</i>	OECD 235

Teste de embriotoxicidade aguda em peixes (FET)	OECD 236
Teste de crescimento e desenvolvimento em larvas de anfíbios	OECD 241
Efeitos em organismos terrestres	
Teste de toxicidade alimentar em aves	OECD 205
Teste de reprodução em aves	OECD 206
Teste de toxicidade aguda em minhocas	OECD 207
Teste de crescimento de plantas terrestres	OECD 208
Teste de toxicidade aguda oral em abelhas	OECD 213
Teste de toxicidade aguda por contato em abelhas	OECD 214
Teste de transformação de nitrogênio em microrganismos do solo	OECD 216
Teste de transformação de carbono em microrganismos do solo	OECD 217
Teste de reprodução em minhocas (<i>Eisenia fetida</i> / <i>Eisenia andrei</i>)	OECD 222
Teste de toxicidade oral aguda em aves	OECD 223
Teste de vigor vegetativo em planta terrestre	OECD 227
Teste de toxicidade no desenvolvimento em moscas	OECD 228
Teste de toxicidade em larvas de abelha (<i>Apis mellifera</i>)	OECD 237
Efeitos em micro-organismos	
Determinação da atividade de bactéria anaeróbica	OECD 224
Teste de reprodução em solo em ácaro predatório (<i>Hypoaspis aculeifer</i>)	OECD 226
Teste de mutação em bactérias (Teste de Ames)	OECD 471

Fonte: adaptado de <<http://www.oecd.org/env/ehs/testing/oecdguidelinesforthetestingofchemicals.htm>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

Os **microrganismos** são amplamente utilizados em testes para avaliar a toxicidade aguda de agentes tóxicos presentes na água, no ar, em solos e em sedimentos. Eles possuem grande importância nos ecossistemas, atuam como decompositores de matérias orgânicas e inorgânicas, participam dos ciclos de nutrientes e servem de alimentos para outros organismos. Dentre os bioensaios com microrganismos, destacam-se:

- Teste de Ames com a bactéria *Salmonella typhimurium*, que avalia efeitos mutagênicos.
- Teste do MICROTOX com a bactéria *Vibrio fischeri*, que avalia a respiração celular.
- Teste com a bactéria *Pseudomonas putida*, que avalia a respiração celular.
- Teste com a bactéria *Spirillum volutans*, que avalia a inibição flagelar.

As **microalgas** utilizadas em testes de toxicidade aguda são importantes organismos produtores na cadeia alimentar do ambiente aquático, ou seja, incorporam a energia solar à biomassa, participam de ciclos de nutrientes e servem de alimentos a outros organismos. Dentre os efeitos, pode-se avaliar a inibição do crescimento de biomassa. As principais microalgas utilizadas em ensaios de toxicidade aguda são:

- Água doce: *Raphidocelis subcapitata*, *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus subspicatus*.
- Água salina: *Skeletonema costatum*, *Phaeodactylum tricornutum*, *Asterionella japonica*, *Dunaliella tertiolecta*.

Plantas aquáticas também podem ser utilizadas em um biomonitoramento, como a macrófita *Lemna minor*.

Ainda no ambiente aquático, os **microcrustáceos** são invertebrados zooplânctônicos e representantes dos consumidores primários amplamente utilizados em bioensaios de toxicidade aguda e crônica, devido à elevada sensibilidade aos poluentes e ao ciclo de vida curto, o que permite uma avaliação a longo prazo. Desta forma, é possível obter resultados de crescimento populacional, taxa de mortalidade e reprodução, taxa de respiração etc. Destacam-se os seguintes organismos:

- Água doce: *Daphnia magna*, *Daphnia similis*, *Ceriodaphnia dubia*.
- Água salina: *Artemia sp.*, *Mysidopsis juniae*.

Os bioensaios com consumidores secundários envolvem a utilização de **peixes** e representam os vertebrados. As espécies de maior representatividade possuem ciclos de vida relativamente curtos (atingem a maturidade sexual entre três e seis meses), são de fácil manuseio e manutenção em laboratório, além de terem laboratório, além de terem baixo custo. Dentre as principais espécies utilizadas, destacam-se:

- Água doce: *Danio rerio* (zebrafish), *Poecilia reticulata*, *Pimephales promelas*.



Refleta

Segundo a Diretriz Europeia 2010/63/EU sobre a proteção dos animais utilizados para fins científicos, as fases de vida iniciais dos animais não são definidas como protegidas. Desta forma, o teste em embriões de *zebrafish* (até quatro dias de vida) é considerado um método alternativo

ao uso de animais. Ele vem sendo utilizado pela comunidade científica como um modelo alternativo aos testes em peixes adultos devido à elevada sensibilidade aos agentes tóxicos, e aos testes em ratos e camundongos devido à elevada semelhança genética com o ser humano. E você, apoia esta alternativa?

Alguns ensaios ecotoxicológicos são específicos para a avaliação de amostras de sedimentos. Os organismos que vivem no fundo dos ambientes aquáticos são os mais indicados para estes testes, já que permanecem expostos aos agentes tóxicos adsorvidos aos sedimentos por mais tempo. Podemos destacar as seguintes espécies:

- Água doce: *Chironomus riparius*, *Chironomus tentans*, *Hyalella azteca*.
- Água salina: *Leptocheirus plumulosus*, *Tiburonella viscana*, *Lytechinus variegatus* (ouriço-do-mar).

Para o ambiente terrestre, as **abelhas** (*Apis mellifera*) são os principais invertebrados utilizados em ensaios ecotoxicológicos, e as **aves** codornas (*Coturnix coturnix*) são utilizadas como modelos para vertebrados. Para a avaliação do solo, as **minhocas** da espécie *Eisenia fetida* são organismos padronizados para ensaios de toxicidade aguda e crônica, obtendo resultados de massa corporal e reprodução. O teste de fuga realizado com minhocas, por exemplo, é um método rápido e simples que proporciona a biodisponibilidade de agentes tóxicos no solo, manifestado pelo comportamento de fuga dos organismos.



Pesquise mais

Os resultados de todas as análises ecotoxicológicas servem de subsídios para o gerenciamento dos riscos que os poluentes representam aos diferentes compartimentos ambientais, uma ferramenta complementar em estudos de impactos ambientais. E para finalizar mais uma etapa dessa nossa jornada, que tal avançar um pouco mais? O texto *A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação* traz informações detalhadas sobre os processos de avaliação de toxicidade. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v31n7/v31n7a38.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

Finalizamos mais uma etapa aqui! Você aprendeu sobre o monitoramento ambiental e o biomonitoramento, bem como seus devidos conceitos e aplicabilidades. Também conheceu diversas espécies bioindicadoras de poluição e contaminação e como essas espécies devem ser selecionadas nos estudos de biomonitoramento, muitas delas padronizadas pela ABNT para os ensaios ecotoxicológicos. E estamos chegando ao fim! Na última seção falaremos sobre os problemas toxicológicos em âmbito nacional e internacional. Nos vemos lá!

Sem medo de errar

Agora voltaremos ao trabalho na empresa de consultoria! Lembre-se de que o prefeito de Barreiras (BA) irá selecionar os testes ecotoxicológicos para a avaliação de risco e você e seus colegas consultores precisam orientá-lo. Como você aprendeu nesta seção, os testes devem ser escolhidos para proteger o maior número de espécies do local. Durante a identificação dos agentes tóxicos e suas fontes de emissão, vocês encontraram níveis elevados no ar, na água e no solo. Portanto, os testes selecionados devem cobrir estes compartimentos.

Oriente o prefeito para selecionar organismos com alta relevância para o estudo, respeitando o princípio dos 3Rs (*Replacement, Reduction, Refinement*). Como sugestão, vocês podem indicar os testes para o ambiente aquático com o microcrustáceo *Daphnia* sp., de extrema sensibilidade; com algas verdes *Raphidocelis subcapitata*; e embriões de zebrafish *Danio rerio*. Assim, o estudo abrange diferentes níveis da cadeia trófica: organismos produtores, consumidores primários e secundários. Para o ambiente terrestre, testes com a minhoca *Eisenia fetida* e plantas azevém também são eficientes. Aconselhe o teste de Ames com a bactéria *Salmonella typhimurium* para verificar o potencial mutagênico de amostras de solo, água e sedimento. Não se esqueça que alguns agentes tóxicos podem estar adsorvidos no sedimento do Rio Grande!

Biomonitoramento ambiental

Descrição da situação-problema

Caro aluno, agora você foi contratado para auxiliar em um biomonitoramento ambiental. Ele será realizado em um trecho do Rio São Francisco. Devido ao desenvolvimento industrial dos últimos anos nas bacias hidrográficas na região Nordeste, o avanço da poluição tornou-se um assunto preocupante. Para prevenir impactos ambientais causados por indústrias ou diminuir os que já ocorreram, o governador do estado solicitou um biomonitoramento ambiental do trecho, esperando descobrir o estado da saúde da biota local.

Como coordenador do projeto, você orientará a sua equipe durante o trabalho. Uma reunião será realizada para estabelecer as etapas do projeto que possibilitem ao final do estudo o desenvolvimento de estratégias preventivas e medidas mitigadoras de prováveis impactos. Quais etapas você sugeriria aos organizadores do projeto para realizar o biomonitoramento?

Resolução da situação-problema

Na reunião descrita, você poderia sugerir as seguintes etapas ao projeto:

- Identificar o trecho em estudo, seus fatores ambientais e as fontes de poluição do local.
- Coletar amostras ambientais para identificação e quantificação dos agentes tóxicos.
- Identificar a biota local e coletar amostras que reflitam o grau da poluição na cadeia trófica.
- Realizar testes ecotoxicológicos em amostras ambientais para avaliar a toxicidade.

Oriente sua equipe para o fato de que a escolha dos pontos de amostragem e da frequência de coletas deve ser estabelecida de acordo com o compartimento ambiental escolhido. Uma ótima sugestão para analisar o perfil dos poluentes no trecho seria a

coleta de amostras de água em diferentes níveis da coluna de água, assim como a coleta de sedimentos em faixas verticais. Devido às constantes mudanças no ambiente aquático, as amostras de água precisam ser coletadas em diferentes estações e em intervalos de tempo curtos, enquanto as amostragens de sedimento podem ocorrer em períodos mais espaçados. Para realizar os testes ecotoxicológicos, selecione organismos altamente sensíveis estabelecidos pelas agências regulamentadoras, capazes de responder aos poluentes de forma que previnam possíveis impactos que possam acontecer ao longo do tempo. Opte por organismos de diferentes níveis tróficos e compartimentos ambientais.

Após a identificação e a quantificação de poluentes nas amostras abióticas, as concentrações encontradas em ambos os compartimentos ambientais devem ser comparadas aos valores de referência ou de *background*. Já as concentrações encontradas nas amostras bióticas devem refletir o grau e o impacto da poluição no ambiente.

Faça valer a pena

1. Em um monitoramento ambiental, as concentrações de agentes tóxicos encontradas nos diferentes compartimentos ambientais são comparadas aos valores de referência ou aos valores de *background*.

Assinale a alternativa que define corretamente os valores de *background*.

- a) Concentrações máximas permitidas estabelecidas pelos órgãos reguladores.
- b) Valores de referência do agente tóxico pré-estabelecidas pelos órgãos reguladores.
- c) Concentrações dos agentes tóxicos presentes no ambiente monitorado.
- d) Concentrações dos agentes tóxicos presentes naturalmente em locais sem atividade antropogênica.
- e) Valores de referência encontrados em locais pré-estabelecidos por órgãos reguladores.

2. Para atender ao princípio dos 3Rs (*Reduction, Refinement e Replacement*), métodos alternativos aos testes em animais são implementados para melhorar a condução ética de bem-estar animal.

I. *Reduction* reflete a redução do uso de animais em experimentos, sem prejudicar os resultados.

II. *Refinement* estabelece o uso de métodos alternativos sem a utilização de animais vertebrados.

III. *Replacement* promove a minimização do estresse ou sofrimento animal.

No que se refere ao princípio dos 3Rs, considere as opções a seguir e assinale a alternativa que corresponde a todas as afirmações corretas:

- a) Apenas I.
- b) Apenas I e II.
- c) Apenas II e III.
- d) Apenas III.
- e) I, II e III.

3. Os tradicionais ensaios de toxicidade aguda são amplamente utilizados para determinar os efeitos de agentes potencialmente tóxicos, mas são insuficientes para antecipar os danos ambientais. Nesse contexto, os ensaios de toxicidade crônica são fundamentais para elaborar a avaliação de risco dos agentes químicos e antecipar os potenciais efeitos adversos no ambiente. _____ são organismos aquáticos consumidores primários na cadeia trófica, mundialmente utilizados em bioensaios de toxicidade aguda e crônica, devido à elevada sensibilidade a agentes tóxicos e ao ciclo de vida curto, representando os organismos.

Assinale a alternativa que complementa corretamente a lacuna do texto.

- a) As microalgas *Raphidocelis subcapitata*
- b) Os microcrustáceos *Daphnia* sp
- c) As bactérias *Salmonella typhimurium*
- d) As abelhas *Apis mellifera*
- e) As minhocas *Eisenia fetida*

Seção 4.3

Problemas toxicológicos

Diálogo aberto

Caro aluno,

Estamos chegando ao final da nossa jornada sobre toxicologia ambiental! Nesta seção, você complementar os seus conhecimentos com diversos casos de acidentes ambientais ocorridos em todo o mundo. Será que os avanços tecnológicos são suficientes para evitar acidentes com substâncias químicas perigosas? E quem são os maiores prejudicados com esses acidentes?

Agora, vamos dar continuidade à empresa de consultoria? Nesta última etapa da consultoria ambiental, o prefeito solicitou a você e seus colegas consultores a detecção dos reais problemas toxicológicos gerados pelas indústrias do Distrito Industrial de Barreiras (BA). Essas informações serão divulgadas para a comunidade local e utilizadas em programas de educação ambiental.

Vendo que a resposta de vocês irá influenciar diretamente na tomada de decisão do prefeito, vocês resolvem finalizar a avaliação de risco para detectar os possíveis problemas toxicológicos do local. Com os resultados dos testes ecotoxicológicos em mãos (Quadro 4.5), vocês precisarão advertir o prefeito sobre os possíveis riscos. Mas algumas dúvidas ainda restam: existem populações mais ou menos vulneráveis aos agentes tóxicos presentes na área? Quem priorizar no programa de educação ambiental?

Quadro 4.5 | Resultados dos testes ecotoxicológicos para o Distrito Industrial de Barreiras (BA)

Amostra	Tóxico	Padrão	Concentração ⁴	Organismo	CE50 ⁵
Água ¹	Chumbo	0,01	0,05	R. <i>subcapitata</i>	0,03
				D. <i>magna</i>	1,8
				D. <i>rerio</i>	6,5
	Cromo	0,05	0,04	R.	0,3
				<i>subcapitata</i>	
				D. <i>magna</i>	0,5
				D. <i>rerio</i>	15

	Cádmio	0,20	0,53	<i>R. subcapitata</i> <i>D. magna</i> <i>D. rerio</i>	0,1 0,03 6,5
	Etilbenzeno	0,84	0,009	<i>R. subcapitata</i> <i>D. magna</i> <i>D. rerio</i>	4,6 2,4 7,0
	Óleo	20	1,3	<i>R. subcapitata</i> <i>D. magna</i> <i>D. rerio</i>	130 12 12
Solo ²	Cádmio Chumbo Cromo Mercúrio Níquel	3 150 2 1 70	0,7 56 0,3 0,09 18	<i>E. fetida</i>	300 4400 1080 920 1020
Atmosfera ³	NO _x CO O ₃ SO _x MP	190 40.000 160 100 150	93 53.000 38 112 190	<i>L. multiflorum</i>	450 - 180 89 -

- Valores não determinados. ¹Valores em mg/L. ²Valores em mg/kg. ³Valores em µg/m³/h (NO_x, CO, O₃) e µg/m³/d (SO_x, MP). ³ Concentração encontrada no ambiente conforme apresentado em seções anteriores. ⁴Valores fictícios. Fonte: elaborado pela autora.

Para assimilar todo o seu aprendizado desta jornada, nesta seção nós apresentaremos os problemas toxicológicos em âmbito nacional e internacional decorrentes da exposição às substâncias químicas. Você compreenderá que os acidentes com substâncias perigosas ocorrem em todo o mundo, qualquer que seja o nível econômico do país. Apesar dos avanços tecnológicos, as negligências ou falhas humanas são as grandes responsáveis pelos acidentes ambientais, sejam eles em escalas pequenas ou imensuráveis, e uma boa análise de risco poderia prevenir ou mitigar os danos ambientais.

Boa leitura e vamos lá!

Não pode faltar

Como vimos no decorrer desta jornada, os processos industriais utilizam diversas matérias-primas e as transformam no produto final, e centenas a milhares de toneladas de substâncias químicas são consumidas e liberadas no ambiente. Os produtos finais e os resíduos

químicos gerados estão presentes na sociedade nos mais diferentes contextos do dia a dia, como em alimentos, medicamentos, plásticos, brinquedos, móveis, tintas, cosméticos, roupas, agrotóxicos, produtos de limpeza, além da poluição atmosférica típica dos grandes centros urbanos.

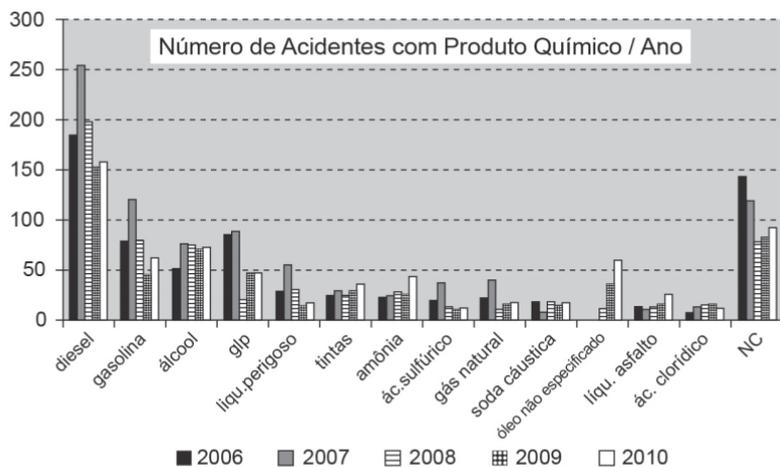
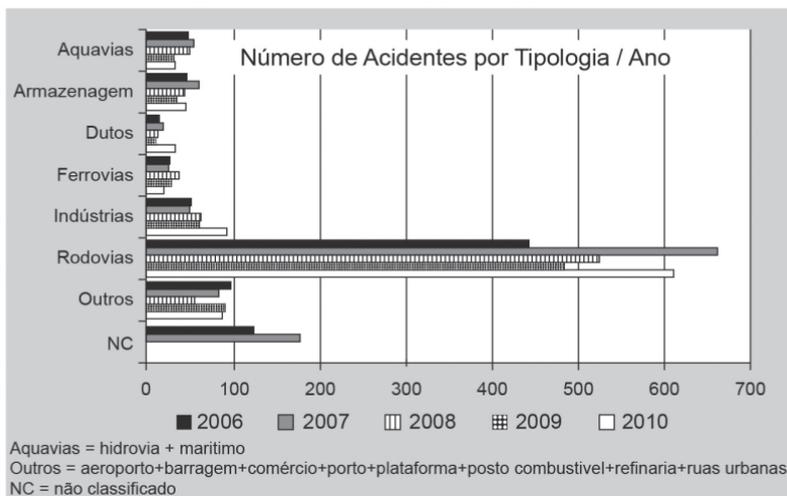
Assim, todos nós estamos expostos a milhares de substâncias tóxicas ou potencialmente tóxicas todos os dias de nossas vidas. Essa exposição constitui um relevante problema de saúde pública à medida em que o processo de industrialização, iniciado no século XVIII, não foi acompanhado da devida precaução e proteção à saúde humana e ambiental. No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente apresenta em nível nacional o cenário de acidentes com produtos químicos perigosos, elaborado com informações dos acidentes de grande relevância, ou seja, aqueles com vazamentos de volumes consideráveis, ocorrência de explosões, incêndios e acidentes envolvendo substâncias de alta toxicidade. Em 2010, foram registrados 922 acidentes envolvendo em sua maioria o diesel, o álcool, a gasolina e óleos, sendo rodovias e indústrias as principais tipologias (Figura 4.4). E estes valores podem ser ainda maiores, uma vez que nem todos os órgãos e unidades da federação enviaram suas informações.



Refleta

Você já imaginou quantas substâncias químicas existem no mundo todo? De acordo com a *American Chemical Society* (ACS), uma organização norte-americana de substâncias, existem mais de 130 milhões de substâncias químicas orgânicas e inorgânicas registradas apenas em sua base de dados desde o ano de 1800 até os dias atuais. Diariamente, são acrescentadas cerca de 15.000 novas substâncias, mas apenas 348.000 são regularizadas para comércio (ACS, 2017).

Figura 4.4 | Perfil de acidentes envolvendo produtos químicos perigosos no Brasil



Fonte: adaptada de <<http://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/emergenciasambientais/estatisticas-de-acidentes>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

Dentre os acidentes com produtos químicos perigosos, o petróleo se destaca em nível nacional e internacional como um dos principais responsáveis por desastres ambientais locais, regionais e em escalas imensuráveis (Quadro 4.6). Como consequência de vazamentos de petróleo e seus derivados em ambientes aquáticos, milhares de animais morrem intoxicados instantaneamente ou sofrem com

outros efeitos, como a diminuição de oxigênio na água. Peixes, por exemplo, têm suas brânquias colabadas, o que impede a respiração. A comunidade planctônica, principal fonte de alimento da cadeia trófica e responsável pela renovação de grande parte de oxigênio na água, é drasticamente afetada, sendo a grande maioria morta. Aves migratórias que pousam nos oceanos têm suas penas recobertas por óleos e não conseguem mais voar. E os efeitos não se restringem às águas. Parte dos contaminantes interage com partículas suspensas e decanta para o sedimento, e outra parte evapora, contaminando o ambiente atmosférico e aumentando o efeito estufa.

Quadro 4.6 | Desastres ambientais com petróleo e alguns derivados em âmbito mundial.

Ano: local	Responsável	Desastre	Prejuízo
1984: Cubatão (SP)	Petrobras	Rompimento de duto sob a Vila de Socó causou o vazamento de 700 mil litros de combustível pelo estuário, mangues e rio, o que agravou um incêndio no local.	Morte de cerca de 500 pessoas da vila e de milhares de animais do estuário, manguezais e rio.
1989: Alasca (EUA)	ExxonMobil	Vazamento de 40 milhões de litros de petróleo após o navio petroleiro encalhar.	Morte de cerca de 260 mil pássaros, 2.800 lontras, 250 águias, 22 orcas e bilhões de ovos de salmão.
1991: Kuwait (Oriente Médio)	Poços de petróleo do Kuwait	Destruição dos poços de petróleo a pedido de Saddam Hussein após uma derrota no Kuwait causou o vazamento de um milhão de litros de petróleo no Golfo Pérsico.	Morte de mais de mil pessoas em decorrência da fumaça, e morte de cerca de 25 mil aves e outros animais.
2000: Baía de Guanabara (RJ)	Petrobras	Rompimento de duto causou o vazamento de 1,3 milhão de litros de óleo.	Morte de milhares de animais e fauna local, contaminação da água e sedimento, prejuízo da pesca local.
2000: Araucária (PR)	Petrobras	Rompimento de um duto causou o vazamento de quatro milhões de litros de óleo.	Morte de milhares de animais e fauna local, contaminação da água e sedimento, prejuízo da pesca local.

2010: Golfo do México (EUA)	British Petroleum (Reino Unido)	Vazamento de gás provocou uma explosão na plataforma, liberando cerca de 780 milhões de litros de petróleo na água.	Morte de 11 pessoas, contaminação e morte de milhares de animais, perda de milhões de dólares da indústria da pesca e do turismo na costa americana.
2011: Bacia de Campos (RJ)	Chevron (EUA)	Falha na perfuração de poço causou o vazamento de quase 500 mil litros de óleo.	Morte de milhares de animais e fauna local, contaminação da água e sedimento, prejuízo da pesca local.
2015: Santos (SP)	Ultracargo	Incêndio em tanques de combustível no bairro da Alemoa.	Morte de milhares de peixes e outras espécies do estuário e do rio em Cubatão, prejuízo da pesca local.

Fonte: elaborada pela autora



Assimile

De acordo com o levantamento do Ministério do Meio Ambiente, o petróleo se destaca como um dos principais agentes químicos envolvidos em acidentes com produtos químicos perigosos no Brasil, sendo responsável por grandes impactos ambientais, muitas vezes em escalas imensuráveis.

Também vale destacar outros desastres ambientais, como acidentes nucleares, vazamento de agrotóxicos e rompimento de barragens de mineradoras, que causaram extensos impactos à saúde humana e ambiental (Quadro 4.7). Ecossistemas foram totalmente destruídos e espécies foram extintas. Nota-se que os registros de desastres ambientais causados por atividades humanas acontecem em todas as décadas, mesmo com todas as tecnologias e melhorias adquiridas ao longo dos anos. As falhas humanas, incluindo as negligências e a falta de manutenção, são as principais responsáveis pelos acidentes, e suas consequências são catastróficas. O acidente nuclear da década de 80 em Chernobyl, por exemplo, ainda deixa seus rastros nos dias atuais, e estima-se que o local precisará de mais 2.000 anos para ser totalmente descontaminado. Já o acidente em Mariana (MG), causado pelo rompimento da barragem de uma mineradora, eliminou berçários naturais, exterminou diversos organismos do Rio Doce com a intoxicação pela lama ou com a diminuição do

oxigênio da água, além de ter comprometido a cadeia trófica com a bioacumulação de metais e outros agentes tóxicos.

Quadro 4.7 | Desastres ambientais com diversos agentes químicos em âmbito mundial

Ano: Local	Responsável	Desastre	Prejuízo
1945: Hiroshima e Nagasaki (Japão)	-	Bombardeio com duas bombas atômicas.	Mortes de cerca de 250 mil pessoas e milhares de animais, desintegração da vegetação, contaminação do solo e água locais, aumento nos índices de leucemia.
1989: Alasca (EUA)	ExxonMobil	Bombardeio com duas bombas atômicas.	Mortes de cerca de 250 mil pessoas e milhares de animais, desintegração da vegetação, contaminação do solo e água locais, aumento nos índices de leucemia.
1976: Seveso (Itália)	ICMESA (pertencente à Hoffmann-La Roche)	Superaquecimento de reator causa vazamento de vários quilogramas de dioxidina (200g pode matar um milhão de pessoas). Ausência de alarme atrasou o aviso do incidente.	Morte de três mil animais e outros 70 mil sacrificados, contaminação de 1.800 hectares de terra, aumento drástico de doenças cardiovasculares, câncer de cérebro, fígado, vesículas, pele e leucemia.
1984: Bhopal (Índia)	Chernobyl	Superaquecimento e explosão de reator causa liberação de céσιο-137	Morte de até 80 mil pessoas, aumento de cânceres e deformidades teratogênicas, morte de milhares de plantas.
1979 a 1993: Paulínia (SP)	Shell	Mã gestão de resíduos de agrotóxicos organoclorados, metais e solventes causam a contaminação da atmosfera, solo, água superficial e subterrânea.	Moradores próximos ao local desalojados, morte de até 63 pessoas, população com intoxicação crônica, aumento de cânceres hepáticos, da tireóide e de testículos, alterações neurológicas, gastrointestinais e renais.

2007: Mirai (MG)	Mineração Rio Pomba Cataguases	Rompimento da barragem e vazamento de mais de dois milhões de m ³ de rejeitos contendo metais.	Morte de milhares de animais, cerca de dois mil foram desalojados, com prejuízo às propriedades rurais e à pesca local.
2011: Fukushima (Japão)	Fukushima Daiichi	Um terremoto de 8,9 de magnitude na escala Richter, seguido de um tsunami, gerou a explosão de reatores da usina.	Cem mil pessoas desalojadas, vazamento de água radioativa no mar e elevados níveis de radiação na flora e na fauna. Proibição de venda e consumo de produtos da região.
2015: Mariana (MG)	Samarco	Rompimento da barragem do Fundão e vazamento de 62 milhões de m ³ de rejeitos contendo metais.	Morte de um trilhão de animais, desalojamento de centenas de famílias, inutilização dos terrenos e atividades de pesca, processo de desertificação na área.

Fonte: elaborado pela autora.

As populações próximas aos locais dos acidentes frequentemente sofrem com o desalojamento, com a perda dos bens materiais, desemprego, fome e os efeitos adversos à saúde muitas vezes são crônicos, ou seja, os sintomas de intoxicação aparecem ao longo do tempo. Acidentes como o rompimento de barragens de mineradoras ou o vazamento de agrotóxicos são responsáveis pela liberação de grandes quantidades de metais e outros agentes tóxicos carcinogênicos para o ambiente. A exposição a esses agentes por tempos prolongados, por exemplo, eleva os índices de problemas relacionados ao câncer.

Todavia, não podemos nos esquecer dos acidentes em escalas menores, mas que também causam danos irreparáveis, certo? Por exemplo, podemos destacar as atividades humanas que afetam os ambientes aquáticos. Ao lançar nos rios e lagos os esgotos industriais e domésticos ou de atividades de piscicultura e agricultura, aumenta-se a carga de matéria orgânica, em especial nitrogênio e fósforo, o que leva à eutrofização das águas e à proliferação das cianobactérias, fenômeno também conhecido como *bloom* ou floração. A

eutrofização causa problemas como a redução do oxigênio e a morte dos organismos aquáticos por asfixia, além do aumento na quantidade de toxinas das cianobactérias, altamente tóxicas para diversos organismos, incluindo os humanos.

Lembra-se do caso da “Tragédia da Hemodiálise”, em 1996? A falta de um monitoramento eficaz de controle de qualidade da água utilizada pelo Instituto de Doenças Renais, na cidade de Caruaru (PE), causou a intoxicação de pacientes submetidos à hemodiálise na clínica. Dos 142 pacientes, aproximadamente 60 morreram. A água captada estava contaminada com microcistinas, pois continha florações de cianobactérias. Casos como este não estão limitados ao Brasil. O Lago Tai, o terceiro maior da China, por exemplo, foi tomado por imensas proliferações de cianobactérias. Em 2007, uma dessas florações desenfreadas contaminou a água e interrompeu o suprimento de água para mais de dois milhões de moradores da cidade de Wuxi. Para os organismos aquáticos, vertebrados ou invertebrados, a bioacumulação de toxinas de cianobactérias é fenômeno comum. Neste contexto, consequências para a saúde humana podem ocorrer indiretamente pelo consumo de animais previamente expostos às florações tóxicas.



Pesquise mais

Os acidentes ambientais com substâncias químicas perigosas também incluem aqueles “pequenos” casos em indústrias, hospitais, residências e laboratórios, que são relacionados ao ambiente em que a população fica sujeita a gases, vapores, líquidos e sólidos tóxicos, entre outras inúmeras situações que podem gerar danos à saúde humana. No trabalho *Acidentes do trabalho com substâncias químicas entre os trabalhadores de enfermagem*, por exemplo, foram analisados os acidentes de trabalho ocorridos com substâncias químicas, notificados e registrados, com trabalhadores de enfermagem de um hospital público universitário. Para saber mais, acesse o material disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/reben/v57n3/a02v57n3.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

As análises de risco elaboradas nos casos de suspeitas de contaminação ou acidentes ambientais são fundamentais para que sejam tomadas iniciativas de prevenção ou mitigação dos danos à saúde. Nas avaliações de exposição, os trabalhadores, populações

residentes e outros organismos não-alvos presentes no entorno da área são analisados quanto à presença de alterações anatômicas, fisiopatológicas ou bioquímicas por meio de biomarcadores ou outros exames diagnósticos. Nos casos em que a contaminação e a exposição são comprovadas, existe a necessidade de acompanhamento de saúde dos organismos analisados, sobretudo quando as substâncias químicas em questão possuem potencial cumulativo e sinérgico com múltiplas exposições concomitantes.



Exemplificando

Em 2002, o Ministério Público do Trabalho e o Ministério da Saúde solicitaram a avaliação de risco de diversos contaminantes presentes no local da empresa Shell, em Paulínia, SP (1977-1995), posteriormente ocupada pelas empresas Cyanamid e Basf. Após a análise de aproximadamente 30 mil laudas referentes à exposição humana e à contaminação ambiental, concluiu-se que a avaliação de risco realizada pela contratante Shell, em 1995, não atendia às necessidades metodológicas seguidas pelos órgãos ambientais, em pois eles atestavam que não havia riscos para a saúde humana. A amostragem de solo superficial, por exemplo, foi realizada apenas a um metro de profundidade. Devido à baixa mobilidade vertical dos compostos químicos, a amostragem deveria ter sido realizada a oito centímetros de profundidade. Com o atraso na correta análise dos riscos, as indenizações aos ex-trabalhadores foram realizadas apenas em 2013 (SILVA et al., 2005).

Chegamos ao fim da nossa jornada! Você concluiu uma importante etapa na construção de seus conhecimentos sobre a toxicologia ambiental. Nesta obra, você completou seus estudos sobre os fundamentos básicos da toxicologia ambiental: os agentes tóxicos mais difundidos em todo o mundo e seus potenciais riscos às populações expostas. Esses conhecimentos o auxiliarão no desenvolvimento de trabalhos relevantes para sua futura profissão. Mas lembre-se de que sempre existirão novos conhecimentos a serem construídos e desconstruídos, pois a ciência é dinâmica! A partir daqui, a caminhada será com você! Desejamos bons estudos e uma ótima caminhada!

Sem medo de errar

Caro aluno,

Nesta seção, você se familiarizou com diversos casos de acidentes ambientais, tanto em âmbito nacional quanto internacional. Aprendemos aqui que os acidentes não estão restritos aos países em desenvolvimento e, mesmo com o avanço da tecnologia, as falhas humanas, incluindo as negligências e a falta de manutenção, são as principais responsáveis pelos acidentes.

Após você analisar diversos casos de acidentes ambientais com substâncias químicas perigosas, é possível concluir que os danos à saúde humana e ambiental poderiam ser evitados ou mitigados com uma análise de risco rigorosa. Agora, voltaremos à empresa de consultoria! Com os resultados dos testes ecotoxicológicos em mãos, você e seus colegas consultores resolveram finalizar a avaliação de risco para entregar ao prefeito de Barreiras (BA). Mas algumas dúvidas ainda restavam ao prefeito: quais populações são as mais expostas? Quem deve ser priorizado em um programa de emergência ambiental?

As dúvidas do prefeito serão sanadas quando você e sua equipe finalizar a avaliação de risco, verificando possíveis populações expostas e orientando-o com relação ao gerenciamento de risco. Para isso, vocês precisarão verificar o risco que os poluentes encontrados na área oferecem ao ambiente. Simule a análise simplificada do Quociente de Risco (QR) e utilize os dados dos agentes tóxicos levantados até aqui, assim como os dados de CE50 obtidos nos testes ecotoxicológicos. Depois, classifique o nível do risco. Ao final da avaliação, destaque as populações mais vulneráveis da área estudada e peça para o prefeito priorizá-las durante o gerenciamento e a comunicação do risco. Siga as instruções a seguir. Use sua criatividade e mãos à obra!

1. **Introdução:** enfatize a importância da avaliação de risco.
2. **Caracterização do local:** adicione informações da localização, área, geografia, população etc.
3. **Identificação dos agentes tóxicos:** inclua a identificação dos poluentes dos recursos hídricos, da atmosfera e do solo com os respectivos perigos. Estruture o conteúdo em forma de tabelas.
4. **Identificação da flora e fauna:** inclua a identificação da flora e

fauna do local. Estruture o conteúdo em forma de tabelas.

5. **Testes ecotoxicológicos:** inclua os resultados dos testes ecotoxicológicos, com os valores de CE50 obtidos para cada organismo.
6. **Caracterização do risco:** inclua os cálculos de risco e descreva os resultados separadamente para cada teste ecotoxicológico realizado. Um método simples para detectar potenciais riscos ao ambiente é o Quociente de Risco (QR).
7. **Considerações finais:** com base nos resultados da caracterização do risco, conclua a avaliação de risco com os pontos mais relevantes do trabalho.

Avançando na prática

Solventes mal armazenados

Descrição da situação-problema

Caro aluno, nesta seção vimos que os acidentes ambientais não ocorrem somente em grandes escalas. Pequenos acidentes também são capazes de induzir danos irreversíveis, dependendo da toxicidade da substância química e da via de exposição. Agora, imagine que você foi contratado para auxiliar em uma análise de risco. O caso é de um laboratório de análises químicas localizado no interior de São Paulo. Devido ao clima quente e seco, solventes orgânicos que foram armazenados em galões em uma área descoberta começaram a evaporar e causar um cheiro forte nos arredores do laboratório.

Para a etapa de avaliação de risco, que análises você sugeriria que fossem realizadas? Se verificados os níveis elevados de hidrocarbonetos no ambiente, que recomendações você daria ao responsável pelo laboratório?

Resolução da situação-problema

Considerando que solventes orgânicos possuem elevada volatilidade e estão armazenados de forma inadequada em uma área não coberta, você poderia caracterizar este risco e sugerir análises de

amostras ambientais em diferentes compartimentos, quantificando a concentração dos solventes na atmosfera e no solo próximo ao local de armazenamento. Ao obter os resultados, será necessário compará-los com os valores de referência.

Caso sejam comprovados os níveis excessivos de hidrocarbonetos nos compartimentos analisados, recomende a imediata retirada dos galões da área descoberta, e solicite o armazenamento em locais protegidos e com exaustão controlada. Ressalte ao responsável que comunique os funcionários do local sobre a contaminação e interdite a área com o solo contaminado. Vale ressaltar também a importância de se continuar um estudo de monitoramento ambiental para avaliar se a quantidade de hidrocarbonetos irá diminuir ao longo do tempo.

Faça valer a pena

1. No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente apresenta em nível nacional o cenário de acidentes com produtos químicos perigosos, elaborado com informações dos acidentes de grande relevância, ou seja, aqueles com vazamentos de volumes consideráveis, ocorrência de explosões, incêndios e acidentes envolvendo substâncias de alta toxicidade.

No que se refere aos acidentes com produtos químicos perigosos, assinale a alternativa que contém o produto químico mais envolvido em acidentes no Brasil.

- a) Gás natural.
- b) Diesel.
- c) Amônia.
- d) Álcool.
- e) Tinta.

2. A respeito dos acidentes ambientais com petróleo e seus derivados, analise as afirmações a seguir:

- I. O vazamento de petróleo e seus derivados em ambientes aquáticos causa a morte instantânea de milhares de animais.
- II. O petróleo causa o aumento de oxigênio na água, evitando que todo o ecossistema seja extinto.

III. A comunidade planctônica, principal fonte de alimento da cadeia trófica e responsável pela renovação de grande parte de oxigênio na água, é drasticamente afetada, sendo a grande maioria morta.

Considere as opções a seguir e assinale a alternativa que corresponde a todas as afirmações corretas:

- a) Apenas I.
- b) Apenas I e II.
- c) Apenas I e III.
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.

3. Analise as afirmações a seguir:

I. As populações que residem próximas aos locais onde ocorreram acidentes ambientais sempre precisam ser desalojadas, independentemente do tipo de acidente.

II. Os efeitos adversos que acidentes ambientais causam à saúde humana muitas vezes são crônicos, ou seja, os sintomas de intoxicação aparecem apenas ao longo do tempo.

III. Acidentes ambientais que liberam grandes quantidades de metais e outros agentes tóxicos carcinogênicos para o ambiente são responsáveis pela elevação dos índices de problemas relacionados ao câncer.

Considere as opções a seguir e assinale a alternativa que corresponde a todas as afirmações corretas:

- a) Apenas I.
- b) Apenas I e II.
- c) Apenas I e III.
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.

Referências

AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. (ACS). **CAS Content at a Glance**. 2017. Disponível em: <<http://www.cas.org/content/at-a-glance>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

ARSLAN, Ç. Ö. et al. KARAASLAN, A. M. Acute toxicity of several essential oils on *Daphnia magna* (Straus, 1816). **Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 31, n. 3, p. 137-143, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Estatísticas de Acidentes**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/emergencias-ambientais/estatisticas-de-acidentes>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Comissão Nacional de Segurança Química**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_seguranca/_arquivos/143_03102008043456.pdf>. Acesso em 10 jul. 2017.

_____. Comissão Nacional de Segurança Química (CONASQ). **Programa Nacional De Segurança Química – PRONASQ**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_seguranca/_arquivos/pronasq_ult_versao1_143.pdf>. Acesso em 10 jul. 2017

CHERNOBYL: desastre nuclear na Ucrânia completa 30 anos. **G1**, 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mundo/noticia/2016/04/chernobyl-desastre-nuclear-na-ucrania-completa-30-anos.html>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

COSTA, A. S. V. **As proporções do impacto no Rio Doce**. O Progresso, 2016. Disponível em: <<http://www.progresso.com.br/opiniao/as-proporcoes-do-impacto-no-rio-doce>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

COSTA, T. F.; FELLI, V. E. A. Acidentes do trabalho com substâncias químicas entre os trabalhadores de enfermagem. **Revista Brasileira de Enfermagem**, Brasília, v. 57, n. 3, p. 269-273, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/reben/v57n3/a02v57n3.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

EU. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes. **Off. J. Eur. Union L** 276/33.

FOLHA ONLINE. **Saiba como morreram os pacientes renais em Caruaru (PE). Folha de São Paulo**, 2002. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u49009.shtml>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

GHS. **Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS)**. Globally Harmonized System, GHS, New York and Geneva, United Nations. ST/SG/AC.10/30/Rev.4, 2011. Disponível em: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev04/English/ST-SG-AC10-30-Rev4e.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2017.

IBAMA. Instituto Brasileiro Do Meio Ambiente E Dos Recursos Naturais Renováveis. **Portaria Normativa 84, de 15 de outubro de 1996**. Estabelecer procedimentos a serem adotados junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, para efeito de registro e avaliação do potencial de periculosidade ambiental - (ppa) de agrotóxicos, seus componentes e afins. Disponível em: <https://servicos.ibama.gov.br/ctf/manual/html/Portaria_84.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2017.

KAMOGAE, N. et al. Imunoistoquímica: detecção de microcistina em tilápia exposta ao extrato de *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria). **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v. 28, n. 3, p. 427-436, 2007. Disponível em: <<http://www.lcb.esalq.usp.br/publications/articles/2007/2007scav28n3p427-436.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

OKAMOTO, A.; YAMAMURO, M.; TATARAZAKO, N. Acute toxicity of 50 metals to *Daphnia magna*. **Journal of Applied Toxicology**, v. 35, n. 7, p. 824-830, 2014.

PAERL H. W. et al. Controlling harmful cyanobacterial blooms in a hyper-eutrophic lake (Lake Taihu, China): The need for a dual nutrient (N & P) management strategy. **Water Research**, v. 45, p. 1973-1983, 2011.

REDAÇÃO TERRA. China: poluição deixa água de lago fluorescente. **Terra**, 2007. Disponível em: <<http://noticias.terra.com.br/mundo/noticias/0,,OI1988823-EI10496,00-China+poluicao+deixa+agua+de+lago+fluorescente.html>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

RODRIGUES, M. S. **Modelo para análise de risco ecológico associado a emissões atmosféricas em ambientes industriais**. Tese (Doutorado em Ciências). 2009, 123 f. Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, A. P.; SILVA, A. S.; ASMUS, C. I. R. F. **Avaliação das informações sobre a exposição dos trabalhadores das empresas Shell, Cyanamid e Basf a compostos químicos – Paulínia/SP**. Relatório Final 2005. Relatório elaborado por solicitação e financiamento do Ministério da Saúde em atendimento ao pleito da Procuradoria-Geral do Trabalho. Disponível em: <http://www.acpo.org.br/saudeambiental/CGVAM/02_Avaliacao_de_Risco/06_shell_basf_paulinia_sp/avaliacao_de_risco_paul%EDnia.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2017.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Technical Overview of Ecological Risk Assessment: Risk Characterization**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/technical-overview-ecological-risk-assessment-risk>>. Acesso em 8 jul. 2017.

ISBN 978-85-522-0201-1



9 788552 202011 >