

Nesta obra são descritos os efeitos dos fatores mais importantes da poluição ambiental: fatores de origem industrial, fatores devidos às práticas da pecuária, da medicina e da vida doméstica. Além destes, são apontadas também as possíveis conseqüências da ação antropogênica sobre o ambiente, sobre a atmosfera, o clima e a qualidade do solo. Através da avaliação científica dos fatores poluentes, tenta-se estimular (sem querer comprometer o progresso científico e tecnológico) a descoberta de soluções razoáveis para esta situação difícil. O estilo simples e a apresentação esquemática dos aspectos fisiológicos complexos deverão contribuir para tornar o livro acessível a grande número de leitores.

O autor:

Günter Fellenberg nasceu em 1936, em Hamburgo. Estudou Biologia, Química e Geografia em Erlangen. Graduou-se em Botânica, com um trabalho sobre culturas de tecidos. De 1962 a 1963 foi colaborador científico no Instituto Max Planck para Genética das Plantas, em Rosenhof/Ladenburg. De 1963 a 1968 foi assistente junto ao Instituto de Botânica da Universidade de Hannover. Em 1968, fez a livre-docência para a cadeira de Botânica. De 1968 a 1970 lecionou no Instituto de Botânica da Universidade de Heidelberg. Desde 1970 é professor no Instituto de Botânica da Universidade de Braunschweig.

EPU



EDITORA PEDAGÓGICA
E UNIVERSITÁRIA LTDA.

ISBN 85-12-49104-0

FELLENBERG

introdução aos problemas da poluição ambiental

EPU

pelo aconselhamento científico do capítulo sobre "Poluição medicamentosa", como pela datilografia do manuscrito. Finalmente, meus agradecimentos se estendem a todos os colaboradores da Editora Springer, que participaram da confecção do livro e que atenderam gentilmente a todos os desejos do autor.

Braunschweig, setembro de 1977

G. Fellenberg

A. Introdução

I. Definição e causa da poluição ambiental

A idéia de poluição ambiental abrange uma série de aspectos, que vão desde a contaminação do ar, das águas e do solo, a desfiguração da paisagem, erosão de monumentos e construções até a contaminação da carne de aves com hormônios. Por isso, iniciamos o presente livro com uma definição de poluição ambiental que delimite este vasto campo.

Pretendemos aqui enquadrar na poluição ambiental somente aqueles fatores do meio ambiente que possam comprometer a saúde ou mesmo a sobrevivência do homem. Com esta conceituação mais restrita de poluição ambiental excluímos conscientemente da nossa abordagem os aspectos puramente estéticos ou referentes à proteção da natureza e da paisagem.

Na procura das causas da poluição ambiental, tal como observada hoje, deparamos com dois fatores básicos.

Um destes está arraigado na tendência do homem à mecanização. Como nenhum outro ser vivo, consegue o homem transformar as matérias-primas que encontra de modo a torná-las úteis para si, seja como ferramentas ou máquinas, ou como artefato de lazer e objeto de arte. Durante a confecção de todos estes artigos formam-se quantidades apreciáveis de resíduos inúteis, que com o tempo acabam por comprometer o ambiente. Além disso, durante estes processos de fabricação não é consumida apenas a energia própria do corpo humano: há consumo sobretudo de energias provenientes de outras fontes. Também a produção de energia está associada a uma poluição do meio ambiente. Assim sendo, todo o processo de industrialização constitui-se num dos componentes principais da poluição ambiental.

A segunda causa do comprometimento do meio ambiente reside no contínuo aumento da população, que força uma crescente produção de alimentos. Como a área de terras cultiváveis não pode crescer no mesmo ritmo que a população, o necessário aumento de produção só pode ser atingido mediante uma intensificação da agricultura nas áreas já disponíveis. Para tanto torna-se necessária uma eficiente pro-

dução de fertilizantes, seja em forma de adubos orgânicos, seja em forma de fertilizantes minerais; exige-se ainda uma proteção ativa das plantas cultivadas contra pragas de origem vegetal ou animal. A necessidade do emprego de meios químicos de proteção é ocasionalmente criticada. Vamos esclarecer com um exemplo concreto a importância dos meios químicos de proteção. No cultivo da beterraba chega-se a uma produção de 21 t/ha, sem o emprego de agentes protetores químicos; com o uso destes, a produção pode aumentar até 30 t/ha, o que significa um aumento de cerca de 42,8%. Fabricação e uso de fertilizantes e praguicidas constituem o segundo grande componente da poluição ambiental.

As duas causas, a industrialização e a produção de alimentos, tendem a aumentar com o crescente aumento populacional, a não ser que sejam adotadas diretrizes em relação a ambas.

II. Desenvolvimento histórico da poluição

Apesar da dependência existente entre industrialização, produção de alimentos e poluição, e o aumento da população, o comprometimento do meio ambiente por substâncias tóxicas não constitui nenhum problema recente. Desde os primórdios da história formaram-se, pela ação do homem, produtos de despejo e resíduos vários que, levados aos rios ou ao ar atmosférico, mostraram-se tóxicos, ou pelo menos incômodos. Por causa disso tentou-se desde cedo controlar, através de decretos e normas, a produção e remoção destes detritos. Na antiga Grécia, por exemplo, os curtumes, com seus gases de cheiro desagradável, só podiam ser construídos após autorização especial. As fundições de prata eram obrigadas a ter chaminés particularmente altas, para que os gases tóxicos formados (continham SO_2) pudessem se distribuir melhor pela atmosfera. Na antiga Roma existia um decreto segundo o qual as atividades dos matadouros, curtumes, fabricantes de azeite e lavanderias, que provocavam desprendimento de cheiros desagradáveis, eram permitidos somente além do rio Tibre, ou seja, em locais desabitados. Também os fornos dos fabricantes de vidro só podiam ser levantados em áreas restritas das cidades, por causa dos gases poluentes desprendidos (contaminação com HF).

Na cidade de Zwickau, na Saxônia, o emprego de carvão de pedra nas forjas foi proibido na área urbana, em 1348. Por meio de uma "iniciativa popular" os moradores da cidade de Goslar conseguiram proibir, em 1407, a calcinação de minérios nas vizinhanças da cidade, pois a poluição provocada pela fumaça das fundições tornava-se insuportável.

Estes exemplos históricos mostram que o problema do comprometimento do ambiente era local, restrito a pequenas áreas, e não se tinha a mínima idéia a respeito da capacidade da resistência da Terra como um todo frente a estes componentes da poluição ambiental. Por isso acreditava-se de início que o rápido aumento de detritos da industrialização e da produção de alimentos, ocorrido nos últimos dois séculos, poderia ser eliminado através de uma distribuição de águas e gases poluídos por uma área tão grande quanto possível, para atingir uma diluição ótima das substâncias tóxicas. Estimou-se erradamente, contudo, o tempo necessário para a descontaminação ou para a degradação espontânea dos poluentes. Este erro na avaliação da capacidade da natureza em autodepurar-se foi percebido inicialmente, de maneira evidente, em rios e lagos. Pensava-se que as águas de rios e lagos poderiam receber poluentes em grandes quantidades, sem maiores danos, por causa do fornecimento contínuo de água limpa por fontes e da descarga de água contaminada nos oceanos. Por volta de 1900 percebeu-se que certos peixes particularmente sensíveis à poluição se encontravam próximos à extinção em diversos rios. A pesca do esturjão (de cujas ovas se fabrica o caviar), bastante comum no Reno no século XIX, reduziu-se drasticamente no início deste século, desaparecendo completamente em 1920. O mesmo destino teve a pesca do salmão, que se extinguiu em 1955. Atualmente presenciávamos até mesmo a poluição indistigável dos oceanos, praticamente sem sabermos o que fazer para evitar que a fauna marítima, pelo menos nas regiões costeiras, seja seriamente afetada.

Também os gases desprendidos na atmosfera não se diluem tão rapidamente como de início se acreditava. Um incêndio florestal na Baixa-Saxônia, em 1975, ocasionou a formação de uma "nuvem" de fumaça de 200 km de extensão, como se pode verificar em fotos tomadas de satélites artificiais. Em condições climáticas apropriadas certos gases industriais são arrastados por distâncias ainda maiores, como veremos com detalhes mais adiante (ver pág. 47).

Os exemplos mostram que, ao contrário do que ocorria na Antiguidade e na Idade Média, a contaminação ambiental se converteu num problema bem mais amplo, freqüentemente mesmo num problema de caráter internacional.

III. Possibilidades de evitar o comprometimento do meio ambiente

Pelo menos em princípio reconhece-se hoje o problema representado pelo comprometimento do meio ambiente. Contudo, as opiniões diver-

gem bastante no que se refere às possibilidades de eliminar os perigos daí decorrentes.

Uma desintoxicação completa de todas as emissões ou despejos industriais é tão dispendiosa que se torna impossível sua aplicação geral. Por causa disso, torna-se necessário reduzir a produção em alguns ramos industriais para evitar maior poluição, o que por sua vez acarreta conseqüências econômicas negativas.

No campo da Agricultura fala-se freqüentemente numa agricultura "natural", isto é, isenta do emprego de fertilizantes químicos e praguicidas. Se seguissemos incondicionalmente a este desejo, deveríamos esperar uma redução de até 50% nas colheitas (compare os dados para a produtividade de beterraba sem emprego de praguicidas, pág. 2). Teríamos em conseqüência um agravamento no problema da fome, que assumiria proporções nunca antes vistas.

Resta portanto, para o momento, um compromisso, como único caminho viável: eliminar inicialmente, dentro do economicamente admissível, os poluentes mais tóxicos, para diminuir os riscos que pesam sobre nossa saúde. Para atingir este alvo relativamente modesto, precisamos estar informados sobre a ação fisiológica de todos os fatores importantes da poluição ambiental, para saber quais os componentes mais perigosos e para obter pontos de referência que permitam decidir até que grau estes fatores podem ser tolerados. Discutiremos por isso principalmente a ação fisiológica de alguns componentes importantes da poluição. E aqui se mostram de modo mais evidente as grandes lacunas nos conhecimentos que temos a respeito do comprometimento do meio ambiente.

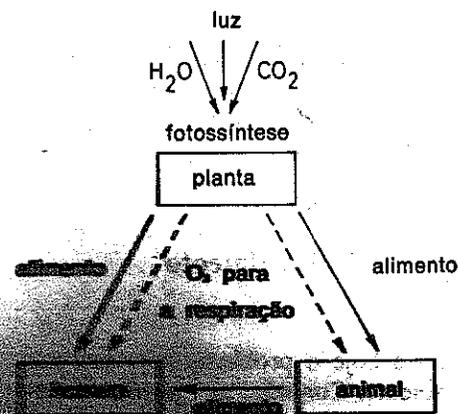


Fig. 1. Dependência do homem de plantas e animais.

Apesar de termos definido inicialmente a poluição ambiental em relação ao homem, não trataremos somente da ação direta dos poluentes sobre o homem. Como parte integrante do meio vivo, o homem depende diretamente de animais e plantas. As plantas ocupam aqui uma posição central, já que elas são os únicos seres vivos (fig. 1) que, com auxílio de luz como fonte de energia, podem realizar a síntese total de substâncias orgânicas a partir de compostos inorgânicos, liberando ao mesmo tempo o oxigênio necessário para a respiração, retirado de moléculas de água. Em conseqüência as plantas se situarão com freqüência no centro de nossas discussões. Além disso existem relações muito mais complexas entre a poluição e os seres vivos, como veremos mais adiante em muitos exemplos.

Inicialmente discutiremos alguns aspectos fundamentais sobre a atividade de substâncias tóxicas, tomando como ponto de referência central o homem. Interferências particulares no metabolismo de plantas serão discutidas mais tarde, à medida que os diferentes casos forem ocorrendo.

IV. Toxicologia geral

1. Entrada dos tóxicos no organismo e sua distribuição

Uma substância tóxica só pode mostrar sua atividade fisiológica depois de penetrar nas células e se distribuir pelo organismo através da circulação sanguínea (nas plantas, com o fluxo material nos vasos de transporte). Para tanto, devem ser vencidas duas barreiras: inicialmente, as membranas que circundam qualquer célula animal ou vegetal; mais adiante, todo o tecido, até atingir as vias de transporte citadas.

a) O processo de entrada das substâncias tóxicas

As membranas celulares são constituídas essencialmente por uma dupla camada de substâncias análogas às gorduras, os lipídios (por ex., lecitina). Esta membrana lipídica é parcialmente recoberta por proteínas e, em parte, há proteínas intercaladas entre as moléculas de lipídios. Apesar deste esquema geral uniforme para a estrutura das membranas, a permeabilidade frente a diversas substâncias pode mostrar-se bastante diferente, às vezes específica para cada órgão. A capacidade de absorção (capacidade de aceitação de substâncias externas) dos diferentes órgãos varia (pág. 8-9).

Algumas regras gerais podem ser, contudo, deduzidas da estrutura das membranas: substâncias lipófilas (solúveis em gorduras) atravessam as membranas com maior facilidade que as substâncias hidrófilas (solúveis em água). Substâncias tipicamente hidrófilas só podem penetrar pelas membranas naquelas partes em que há proteínas intercaladas entre os lipídios, formando como que poros para as substâncias hidrófilas (fig. 2). Em consequência, substâncias solúveis em água atravessam as membranas mais lentamente do que substân-

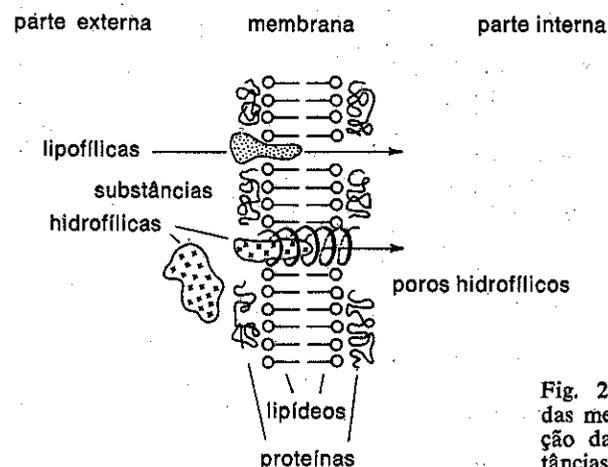


Fig. 2. Esquema estrutural das membranas e representação da penetração de substâncias lipófilicas e hidrófilicas.

cias solúveis em gorduras. Quanto maior a molécula (melhor dizendo, a massa molecular) mais lenta a introdução de uma substância hidrófila através da membrana. Em outras palavras, substâncias hidrófilas maiores que os diâmetros dos poros penetram pelas células com grande dificuldade. Como regra geral podemos dizer que substâncias com massa molecular até 400 ainda atravessam as membranas com relativa facilidade; com massas moleculares maiores, a admissão da substância é consideravelmente retardada.

A penetração de substâncias através de membranas (ou através de toda a célula), tal como aqui descrita, é denominada difusão. A velocidade da difusão depende em grau acentuado da temperatura, para qualquer substância.

A quantidade de substância difundida depende da concentração desta substância nas vizinhanças das células envolvidas, pois através da difusão se estabelece sempre um equilíbrio entre as concentrações na parte externa e no interior da célula. Existindo no interior da

célula certas proteínas, lipídios ou outras substâncias capazes de se combinar com a substância difundida, ocorrerá uma redução da concentração desta última no líquido celular. Ocorre nova difusão, da substância em questão, do meio externo para o interior da célula, até restabelecer-se o equilíbrio entre as concentrações no interior da célula e no meio externo (fig. 3). Desta maneira pode ocorrer um maior acúmulo de substâncias tóxicas no interior da célula (ver Praguicidas, pág. 136).

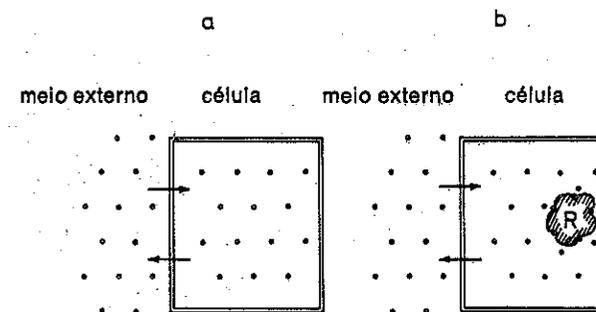


Fig. 3 a e b. Representação esquemática da absorção de substâncias por difusão: (a) equilíbrio entre concentrações, estabelecido por difusão livre; (b) acúmulo de substâncias tóxicas na célula, através da ligação a um receptor R.

A substância estranha ou tóxica, que inicialmente penetrara em células periféricas, penetra para o interior dos tecidos, ainda por difusão, até atingir as vias de transporte de matéria do organismo. Dali a substância se espalha rapidamente por todo o corpo. A velocidade de transporte das substâncias estranhas que penetram no organismo depende portanto, fundamentalmente, do tempo necessário para estas substâncias atingirem os meios adequados de transporte aos pontos mais distantes do organismo. Isto será tanto mais rápido quanto mais delgado for o tecido que separa estas vias de transporte do meio externo, e quanto menor for a proteção das membranas celulares externas por depósitos de material protetor. Estas condições são preenchidas no reino vegetal principalmente pelas extremidades das raízes e pelas folhas, desde que não estejam fechados os estômatos (ver pág. 47). Nos animais e no homem estas condições são satisfeitas sobretudo pelos pulmões e pelo trato digestivo, e até certo ponto mesmo pela epiderme.

Examinaremos a seguir as condições referidas no caso do homem.

b) Os órgãos de absorção mais importantes do corpo humano

Como a difusão na temperatura ambiente transcorre muito lentamente, é de se perguntar se existe mesmo uma possibilidade de um transporte rápido de substâncias às vias sanguíneas, por este caminho. Por exemplo, a uréia necessita de 13 horas para percorrer, por difusão, uma distância de 1 cm. Com distâncias mais curtas, porém, a velocidade de difusão aumenta rapidamente. Uma distância de 1 μm (1 décimo milésimo de cm) é percorrida em 0,0005 segundo.

Os pulmões. Esta distância corresponde mais ou menos à espessura dos alvéolos pulmonares. As paredes dos vasos capilares nos alvéolos pulmonares são ainda mais delgadas. Este exemplo mostra que em determinados órgãos de absorção, como os pulmões, por exemplo, se torna possível um transporte extraordinariamente rápido de substâncias estranhas até as vias sanguíneas, através de um processo de difusão (fig. 4).

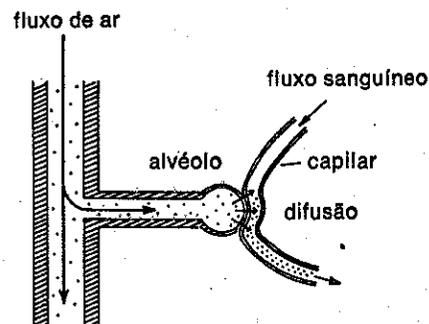


Fig. 4. Absorção de substâncias pelos alvéolos pulmonares (segundo Forth et al., 1975).

Substâncias inaladas pelos pulmões se espalham pelo organismo com velocidade quase igual à de substâncias introduzidas por uma injeção intravenosa. Se levarmos em consideração a área total dos alvéolos de uma pessoa adulta, cerca de 90 m², podemos ter uma idéia da capacidade dos pulmões de receber substâncias estranhas. Esta propriedade dos pulmões é responsável pela absorção de substâncias tóxicas do fumo e do ópio, no caso de fumantes destes tóxicos.

Na absorção pelo pulmão, a substância retida deve passar da fase gasosa para a fase líquida (líquido celular, sangue). Por isso não influi na absorção apenas a solubilidade da substância em lipídios, mas também sua solubilidade no sangue. Esta combinação de duas propriedades da substância é expressa por um "coeficiente de solubilidade", que representa o quociente entre a concentração da substância no sangue e a concentração da substância no ar.

O trato digestivo. No trato digestivo, as substâncias não são absorvidas tão rapidamente como nos pulmões. No estômago e intestino são absorvidas preferentemente substâncias lipófilas. Substâncias hidrófilas são absorvidas com menor facilidade. Além disso, a absorção depende fundamentalmente do grau de divisão da substância. Quanto mais finamente dividida a substância estiver ao penetrar no estômago e intestino, mais facilmente ela será absorvida (por ex., no caso de soluções ou emulsões).

As diferentes partes do trato digestivo (cavidade bucal, estômago, intestino delgado, intestino grosso) apresentam certas diferenças na capacidade de absorção; por exemplo, a mucosa do estômago pode absorver íons, mas as mucosas da boca e do intestino delgado praticamente não os absorvem.

Epiderme. A pele pode ser considerada como o terceiro tecido propício à absorção de substâncias estranhas. Através da pele só podem ser absorvidas substâncias lipofílicas. Assim, por exemplo, substâncias fenólicas e compostos organo-clorados (por ex., TCDD, ou tetra-cloro-dibenzodioxina, ver pág. 135) podem ser absorvidos diretamente através da pele, desde que atuem sobre a mesma em estado finamente dividido.

Valemo-nos desta propriedade também para fins medicinais e cosméticos, na aplicação externa de determinadas substâncias biologicamente ativas dissolvidas em um meio lipofílico que serve de veículo para pomadas.

2. Possibilidades de atuação fisiológica

A entrada de substâncias estranhas em células vivas não basta para provocar alterações fisiológicas (a não ser no caso de substâncias que alteram a pressão osmótica, como soluções de cloreto de sódio, cloreto de potássio, etc.). As substâncias estranhas devem fixar-se em pontos determinados da célula, nos quais ocorram processos metabólicos. Supõe-se que proteínas ou complexos de proteínas constituem frequentemente receptores deste tipo.

a) Membranas

As proteínas podem, por exemplo, ser parte integrante da estrutura de membranas (fig. 2). Se estas proteínas agirem como receptores de substâncias estranhas (por exemplo, de praguicidas organo-clorados, pág. 127), a estrutura das membranas correspondentes pode se alterar de tal modo que aumenta a permeabilidade frente a íons Na⁺ ou K⁺. Com isto, ocorre alteração da concentração iônica na

célula (e na parte interna do plasmalema) e, ao mesmo tempo, da densidade de carga. Este processo é designado como "iniciação do potencial de ação". Se estes processos ocorrerem em células nervosas, fica alterada a condução nervosa normal dos estímulos. Em outras células do organismo, uma alteração da densidade de carga das membranas tem por consequência no mínimo uma perturbação da troca material e da pressão osmótica.

b) Proteínas de transporte

Muitas proteínas participam de processos de transporte, por exemplo as proteínas de transporte ("carrier") nas membranas celulares ou também do plasma sanguíneo, como o componente protéico da hemoglobina.

O íon ferro da hemoglobina (neste caso, o agente de transporte não é o componente protéico) pode combinar-se com monóxido de carbono (CO) ou íons nitrito (NO_2^-) em lugar de oxigênio. Com isto é bloqueado o transporte de oxigênio no sangue, surgindo, em consequência, diversos sintomas de falta de oxigênio (ver pág. 46 e 52).

c) Enzimas

Freqüentemente as substâncias estranhas ou tóxicas se combinam com enzimas. Lembramos como exemplo os metais pesados (pág. 92). Nesta interação com enzimas podem ser observadas diferentes possibilidades de combinação:

1. Se as substâncias estranhas mostrarem um comportamento semelhante ao do substrato correspondente à enzima em questão, então esta substância se combina com a enzima, competindo com o substrato. Neste caso, o substrato é progressivamente afastado de seu ponto de reação na enzima, por ação da concentração crescente do tóxico. Por outro lado, a ação do tóxico pode ser neutralizada simplesmente por um aumento da concentração do substrato natural da enzima.

2. Contudo, é mais comum a substância estranha ou tóxica combinar-se com outro ponto da enzima, distinto do ponto em que reage o substrato. Mesmo assim fica prejudicada a atividade da enzima. Neste tipo (mais comum) de ligação do tóxico à enzima, basta freqüentemente uma concentração muito reduzida do tóxico para bloquear a rota metabólica normal, ou seja, para provocar uma intoxicação no organismo. Neste segundo tipo de ligação à enzima, não é possível anular a atividade do tóxico por aumento da concentração do substrato.

3. Atividade e concentração de substâncias tóxicas

A atividade de uma substância tóxica depende sempre de sua concentração no organismo, qualquer que seja a maneira de ligação que ocorre. Uma determinada quantidade de uma substância tóxica atua, por exemplo, numa pessoa de 45 kg de peso com o dobro da intensidade observada numa pessoa de 90 kg de peso. Por este motivo, as doses máximas permissíveis de uma substância tóxica não são indicadas como uma quantidade absoluta, mas sempre em relação ao peso do indivíduo (g de substância/kg peso da pessoa).

De conformidade com as diferentes propriedades químicas dos compostos tóxicos, também sua velocidade de atuação aumenta de modo diferente com o aumento da concentração (fig. 5). Dependendo da natureza química da substância, o organismo humano poderá suportar um intervalo maior ou menor de concentrações desta substância. Esta diferença de comportamento pode ser observada nos diferentes grupos de praguicidas, que apresentam níveis de toxicidade bastante diferentes (tabela 23).

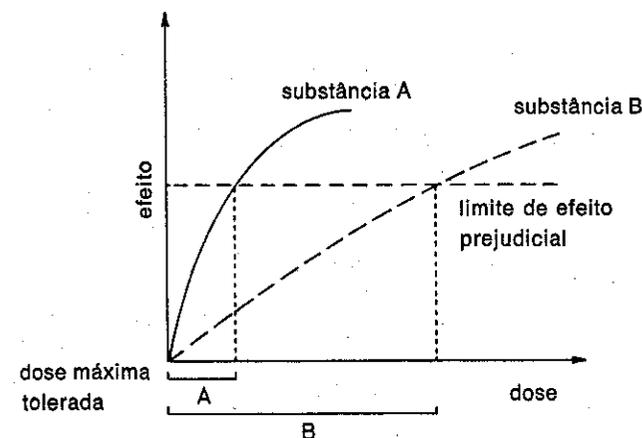
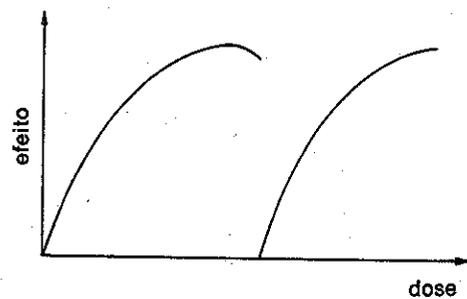


Fig. 5. Curva dose-efeito de duas substâncias A e B, com propriedades bioquímicas diferentes (seg. Forth *et al.*, 1975).

Tais curvas simples de "dose-efeito", porém, não são próprias de todas as substâncias. Não é raro observarmos que pequenas concentrações de uma substância tenham atividade positiva ou benéfica sobre o metabolismo e somente concentrações elevadas se mostrem tóxicas, caso que ocorre, por exemplo, com muitos metais pesados (pág. 94). Estas substâncias mostram dois tipos de inter-relação dose-



intervalo de ação do
efeito positivo

intervalo de ação do
efeito negativo

Fig. 6. Relações entre dose e efeito de uma substância com dois tipos de interação dose-efeito (seg. Forth *et al.*, 1975).

efeito, sendo que o efeito negativo, prejudicial, só se inicia em concentrações bastante altas, concentrações estas em que o ponto ótimo do efeito positivo já está de longe ultrapassado (fig. 6). Com estes compostos precisamos atingir concentrações que caíam no intervalo da 1.^a curva, de efeito positivo, mas não podemos ultrapassar essas concentrações. O mesmo problema é observado também com a maioria dos medicamentos.

4. Combinação de várias substâncias ativas

Outro tipo de complicação surge quando duas ou mais substâncias agem simultaneamente, o que atualmente é quase sempre o caso. Dependendo dos pontos de ataque das diferentes substâncias, resultarão efeitos combinados bem diversos.

Se o efeito combinado alcançar no mínimo a soma dos efeitos isolados, ocorre o que chamamos de sinergismo (= ação conjunta) dos diferentes componentes. Se o efeito combinado corresponder exatamente à soma dos efeitos isolados, este sinergismo é denominado efeito aditivo. Se a atividade combinada for maior que a soma dos efeitos isolados, fala-se em ação hiperaditiva, ou potencialização. As causas do sinergismo podem ser de natureza variada, e quase sempre são ainda desconhecidas. Na página 57 serão discutidos alguns sinergismos já esclarecidos.

Se o efeito for menor que a soma dos efeitos isolados, ocorre um antagonismo (= ação oposta dos componentes isolados). Também as causas do antagonismo são quase sempre desconhecidas. Um caso já esclarecido de antagonismo será comentado como exemplo na página 58.

5. Variação da sensibilidade individual

Uma medida geral de toxidez de uma substância é a chamada dose DL_{50} . Esta medida indica qual a dosagem (em g/kg de peso do organismo) que provoca a morte de 50% dos animais experimentais tratados com o composto tóxico em questão. Esta dose se situa geralmente bem abaixo da dose DL_{100} , ou seja, da dose que provoca a morte de todos os animais submetidos à ação do tóxico. A comparação das doses DL_{50} e DL_{100} mostra que, dentro de uma determinada espécie, nem todos os indivíduos reagem com a mesma intensidade a uma mesma concentração de um determinado tóxico (ou produto farmacêutico). Por isso, ao avaliarmos a toxidez de um produto químico sobre o ambiente, não nos deve orientar a média dos seus efeitos sobre um grupo de indivíduos, mas sempre dever servir de referência os indivíduos mais sensíveis deste grupo. A sensibilidade individual pode variar bastante frente a diferentes tóxicos do ambiente. Por exemplo, é possível que uma pessoa que se mostre muito sensível em relação ao mercúrio possa suportar doses do inseticida Paration ou do hipnótico ácido barbitúrico situadas bem acima da média tolerável. Não é possível, portanto, oferecer um prognóstico da sensibilidade de um indivíduo em relação a determinadas substâncias químicas. As análises toxicológicas realizadas para uma série de tóxicos ambientais (e medicamentos) só fornecem um valor aproximado para a sensibilidade média do grupo de indivíduos submetidos à análise.

A sensibilidade individual de um ser vivo é determinada por fatores hereditários. Não devem assim causar estranheza as diferenças de sensibilidade que se manifestam em raças e espécies diferentes. Isto significa que o limite de toxicidade de uma substância determinada para um europeu não deve ser obrigatoriamente o mesmo para um japonês ou um negro e vice-versa (veja págs. 50, 168).

A sensibilidade individual também é influenciada decisivamente pela idade do indivíduo, pois com o envelhecimento ocorrem modificações na atividade de diversas enzimas (veja Metaemoglobinemia, pág. 52). Por isso crianças e recém-nascidos são às vezes particularmente sensíveis frente a certos tóxicos ou medicamentos (pág. 80).

Também na idade avançada a sensibilidade pode diferir bastante da média. A capacidade de absorção reduzida do estômago e do intestino pode reduzir a sensibilidade frente a alguns tóxicos ou medicamentos. É mais comum, contudo, verificar que pessoas mais idosas se mostram mais sensíveis a poluentes químicos do ambiente, pois nestas pessoas a metabolização e excreção destes contaminantes se processa de modo mais lento.

6. Metabolização e excreção

A metabolização e a excreção são os últimos dois fatores de importância que influenciam a atividade de um composto estranho no organismo.

As substâncias recebidas pelo organismo via de regra não permanecem nele inalteradas, já que estão sujeitas ao ataque de muitas enzimas. Substâncias fortemente lipofílicas, que se armazenam no tecido gorduroso do corpo, pobre em enzimas, são atacadas bem mais lentamente (por exemplo, praguiciads organo-clorados, pág. 136) do que substâncias hidrossolúveis. O órgão mais importante para a metabolização é o fígado.

A metabolização (transformação) de substâncias tóxicas compreende via de regra duas etapas, sendo que cada etapa pode ser constituída por uma série de reações consecutivas. Na primeira etapa, a substância estranha é geralmente oxidada ou reduzida. Com isto ela é freqüentemente desativada (veja oxidação da nicotina, pág. 40), mas é possível também que só nessa etapa ela seja ativada (veja cloreto de vinila, pág. 169 ou 3,4 — benzopireno, pág. 169, ou substâncias mutagênicas, pág. 165). Muitas enzimas que atuam nesta

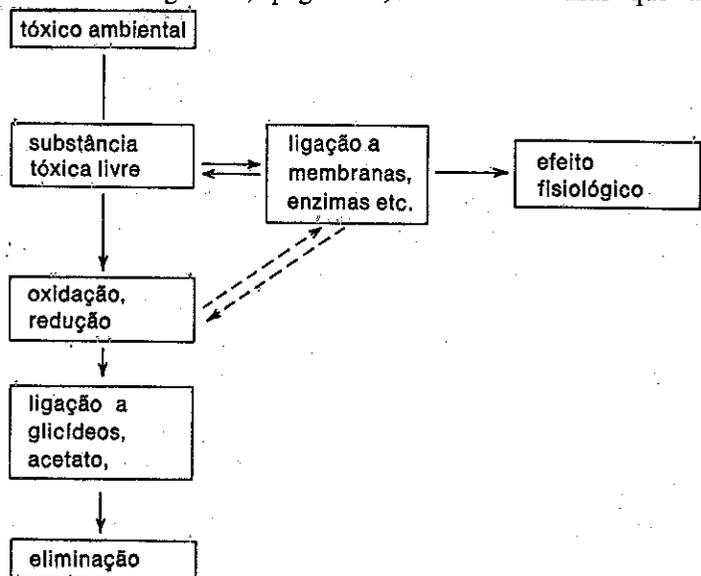


Fig. 7. Representação esquemática do comportamento de substâncias tóxicas no organismo. Como as transformações enzimáticas das substâncias tóxicas (e dos medicamentos), que se processam antes da excreção, ocorrem no fígado, este será o órgão mais comprometido; uma exposição prolongada leva freqüentemente a danos no fígado.

metabolização freqüentemente só são ativadas pela presença da substância estranha, como veremos no exemplo da nicotina.

Na segunda etapa de metabolização, a substância tóxica liga-se a glicídios, ácido glicurônico, ácido acético, aminoácidos ou outras substâncias facilmente solúveis em água. Nesta forma ela pode ser eliminada do organismo, geralmente através dos rins.

Para que estes processos de transformação possam ocorrer no fígado é necessário que as substâncias a transformar se apresentem no estado isolado, e não combinadas a um receptor. Isto quer dizer que uma ligação muito forte a proteínas receptoras (pág. 7) pode impedir a metabolização e a excreção com a mesma eficiência que a deposição nos tecidos gordurosos. Substâncias tóxicas que são rapidamente liberadas pelo receptor sofrem uma rápida metabolização e uma rápida excreção (fig. 7). A eliminação através dos rins pode ser bastante retardada se a substância ainda se mostrar fortemente lipofílica após a segunda etapa de sua metabolização. É possível que nos rins o composto passe do sangue para os túbulos renais, mas, por causa do caráter lipofílico, passa a ocorrer imediatamente reabsorção dos túbulos para o sangue. A excreção só pode ocorrer se aumentarmos a velocidade de fluxo da urina nos glomérulos; em outras palavras, bebendo grandes quantidades de líquido.

Por combinação da taxa de absorção do composto tóxico com a taxa de excreção dos produtos da metabolização, resulta a concentração de produto tóxico no organismo. O tempo de permanência de uma substância no organismo é expressa em termos de meia-vida biológica. Entende-se por meia-vida biológica o tempo durante o qual metade da quantidade absorvida é eliminada.

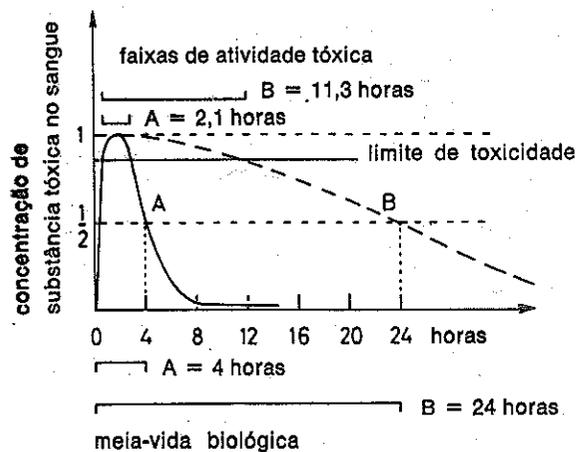


Fig. 8. Exemplificação das diferentes velocidades de excreção de duas substâncias tóxicas diferentes. O tempo decorrido até a eliminação da metade da quantidade de substância tóxica absorvida é chamado de meia-vida biológica. A meia-vida biológica para a substância A é de cerca de 4 horas, para a substância B de cerca de 24 horas (seg. Forth *et al.*, 1975).

Com a absorção da substância já se inicia sua excreção. A velocidade de eliminação alcança seu valor máximo quando a absorção de substância atinge o máximo. Se um composto tóxico puder ser facilmente excretado, diminui também rapidamente a concentração do tóxico no sangue e só se manifesta um efeito fisiológico de curta duração (fig. 8). Se a substância estranha for eliminada de maneira insatisfatória (= meia-vida biológica elevada), a concentração de atividade tóxica no sangue se mantém durante um intervalo maior. No caso destas substâncias o limite de toxicidade é constantemente ultrapassado, tanto quando se trata de uma ação continuada como quando se trata de ação periódica da substância; pode ocorrer mesmo uma acumulação da substância tóxica no organismo (fig. 9). Por causa deste efeito cumulativo, é possível que com o decorrer do tempo concentrações ambientais mínimas da substância possam levar a uma concentração tóxica no organismo. Assim, poderá acontecer que, nestes casos de comprometimento por longo tempo, só após anos ou décadas chega a se mostrar uma consequência tardia da intoxicação, cuja causa é às vezes de difícil detecção. Exemplos são a acumulação do chumbo, a acumulação de inseticidas organo-clorados (págs. 89 e 135), bem como a acumulação de diversos medicamentos. Por causa disto as poluições contínuas ou repetidas devem ser encaradas com mais cuidado do que as poluições curtas e eventuais. Procurou-se atender a estes fatos na elaboração das tabelas de valores-limite para tóxicos ambientais, estabelecendo-se valores diferentes para uma exposição de curta duração e uma exposição por longos períodos (ver constantes de imissão CMI, pág. 29).

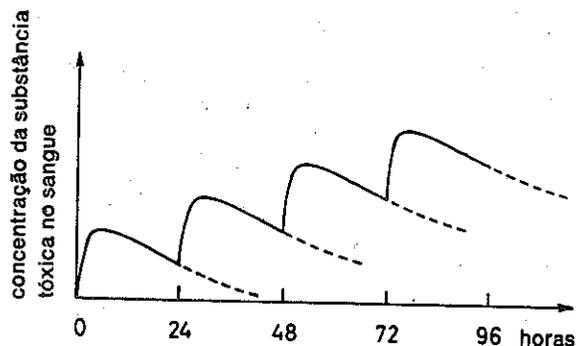


Fig. 9. Representação esquemática da acumulação de substâncias tóxicas no sangue. A acumulação é tanto mais rápida quanto mais curto for o período de atuação da substância tóxica, e quanto mais lenta for a eliminação da mesma. No exemplo mostrado, são iguais o intervalo de atuação do tóxico e a meia-vida biológica. Esta última é de 24 horas (seg. Forth *et al.*, 1975).

B. Poluição ambiental natural

Antes de analisarmos detalhadamente os principais fatores da poluição ambiental, queremos lembrar que ao lado do comprometimento antropogênico do meio ambiente, existe também uma poluição ambiental natural, não provocada pelo homem, e que freqüentemente não é levada em consideração. Por causa da ocorrência de uma poluição natural, o comprometimento do homem pelos fatores poluentes antropogênicos é ainda mais acentuado. Aqui se incluem a formação de nuvens de pó nas regiões desérticas, espalhamento do pólen e desprendimento de substâncias tóxicas por certas plantas, um fator que deve ser levado muito a sério.

I. Poluição do ar

Três componentes são os principais responsáveis pela poluição não-antropogênica do ar atmosférico: pó, pólen e esporos e óleos essenciais. A ação do pó só será comentada mais adiante, junto com a poluição antropogênica do ar, já que a poeira cósmica participa de maneira diminuta na poluição total da atmosfera por poeiras, e já que é muito difícil avaliar a proporção de poeira de origem natural nesta poluição atmosférica por poeiras.

1. Pólen

Um componente bem característico da poluição atmosférica natural é o pólen de plantas fanerógamas polinizadas por ação do vento. Esporos de fungos e musgos tem importância reduzida. Com condições meteorológicas favoráveis (ventos e tempo seco), o pólen é transportado através do ar a longas distâncias, pois com um diâmetro de 10 a 50 μm estas partículas são muito leves e pequenas. Em pessoas sensíveis, o pólen pode provocar reações alérgicas nas mucosas do nariz e no tecido conjuntivo dos olhos, o que se manifesta através de inflamações e secreções de mucos.

Este tipo de alergia é conhecido pelo nome não muito apropriado de "febre do feno" (as alergias são tidas como reações antígeno-