

# FUNDAMENTOS DA ANÁLISE DE RISCO

Conceitos em Análise de Risco ecológica e para a saúde humana

**Luiz Roberto Guimarães Guilherme**

Professor Adjunto, Universidade Federal de Lavras,  
Departamento de Ciência do Solo, Lavras, MG  
Pesquisador Bolsista do CNPq  
guilberm@ufla.br

Imagens cedidas pelo autor

## Introdução

Este artigo apresenta alguns fundamentos a respeito do que venha a ser a análise de risco e de como esta ferramenta pode ser usada. Antes, porém, é necessário tornar clara a diferença entre o que é o “risco” e o que é o “perigo”. Frequentemente, há confusão relativa ao significado destes termos. Risco é a probabilidade e a intensidade de dano (por exemplo, doença) resultante da exposição a um perigo. Em contraste, o perigo é um agente (físico, químico ou biológico) ou uma ação que pode causar dano. Por exemplo, doenças humanas têm sido associadas à ingestão de alimentos contaminados com alguns elementos-traço, e.g., o chumbo. O perigo é o chumbo (nas suas mais diversas formas), uma substância (agente) química. O risco representa a quantidade de pessoas que estão ou que podem ser afetadas de uma forma danosa, dentro do conjunto da população como um todo, informação esta advinda de uma avaliação de risco. Esta distinção é apresentada com mais detalhes no item *Avaliação de riscos para a saúde humana* deste artigo.

O que vem a ser, então, a análise de risco, e para que finalidade ela é usada? A análise de risco é um processo composto de três partes: avaliação de risco, gerência de risco e comunicação do risco. É usada para avaliar os dados científicos, comparar e selecionar as políticas de ação disponíveis e comunicar toda a informação obtida no intuito de prevenir ou controlar riscos não desejados.

Cada um destes elementos da análise de risco tem um papel distinto.

Os elementos da análise de risco são usados por um agente regulador qualquer (de saúde pública ou do meio ambiente) na tomada de decisões para prevenir ou controlar riscos. Neste contexto, é importante ressaltar que todas as nossas decisões do dia-a-dia - independentemente se foram tomadas por um indivíduo, um agente regulador ou uma indústria, por exemplo - acontecem a partir de uma “análise de risco”. A única diferença é o nível de complexidade que é necessário para se tomar uma decisão após a análise de cada caso.

## Conceitos envolvidos na análise de risco

O problema já previamente levantado com relação à terminologia “risco” e “perigo” tem levado a uma série de discussões sobre o uso seguro de substâncias químicas, visto que usos os mais diversos têm sido dado a estes termos. No intuito de estabelecer um consenso acerca dos termos (e de seus usos) envolvidos no processo de avaliação de risco, constituiu-se um grupo de trabalho dentro do Programa Internacional de Segurança Química da Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento (IPCS/OECD), o qual iniciou os trabalhos de padronização de terminologia (Lewalle, 1999) que resultaram então numa publicação posterior a este respeito (Duffus, 2001). Os conceitos apresentados a seguir advêm de uma

tentativa de se adaptar a terminologia descrita na língua inglesa para o português. Os termos considerados orientadores das ações, conforme descrito no artigo original (Duffus, 2001), são apresentados no corpo desse artigo. Alguns outros termos considerados básicos dentro do contexto da avaliação de risco são descritos no glossário da publicação editada por Borém (2004).

A associação dos diferentes termos descritos a seguir foi estabelecida através de um diagrama conceitual, o qual é mostrado na figura 1.

Antes de iniciarmos a discussão dos termos descritos no diagrama em si, cabe ressaltar a distinção que é feita no trabalho de Duffus (2001) entre as expressões “análise” e “avaliação”. A *análise* consiste no exame detalhado de algo complexo, feito com a finalidade de entender sua natureza ou determinar suas características essenciais. A *avaliação* é descrita como sendo a combinação de análise de fatos e da inferência de possíveis consequências concernentes a um objeto particular. Neste contexto, são destacados dois termos de uso freqüente em avaliação de risco, mas que não fazem parte do diagrama da figura 1, quais sejam:

- *Indicador ou ponto final da avaliação* (do inglês, *endpoint*): expressão quantitativa de um fator específico a que um risco pode estar associado, conforme determinado por uma avaliação de risco apropriada.

- *Fator de avaliação*: ajuste numérico usado na extrapolação de relações de dose-resposta determinadas experimentalmente, para se estimar o nível de exposição a uma substância acima do qual efeitos adversos podem acontecer.

### **Avaliação do perigo**

A *avaliação do perigo* é o processo designado para determinar quais são os fatores que contribuem para os possíveis efeitos adversos de uma substância à qual uma população humana ou um compartimento ambiental poderiam estar ou estão expostos. O processo inclui três pas-

sos: identificação do perigo, caracterização do perigo e levantamento do perigo (Figura 1). Os fatores acima referidos podem incluir mecanismos de toxicidade, relações de dose-efeito e dose-resposta, variações na suscetibilidade do alvo, etc.

- *Identificação do perigo*: a primeira fase da *avaliação do perigo*, que consiste na determinação das substâncias de interesse e dos efeitos adversos inerentes que elas podem estar causando a sistemas alvo sob certas condições de exposição, levando em conta dados sobre sua toxicidade. (Nota: as definições podem variar na sua formulação, dependendo do contexto. Assim, no contexto da *avaliação de risco*, a *identificação de risco* consiste na primeira fase onde são determinados os perigos particulares a que um determinado sistema alvo pode estar exposto, incluindo dados de toxicidade associados).

- *Caracterização do perigo*: o segundo passo no processo de *avaliação do perigo*, consistindo na descrição qualitativa e, quando for possível, quantitativa, da natureza do perigo associado com um agente biológico, químico ou físico, baseado em um ou mais elementos, como mecanismos de ação envolvidos, extrapolação biológica, relações de dose-resposta e dose-efeito e as suas respectivas incertezas associadas.

- *Levantamento do perigo*: o terceiro passo no processo que tem por finalidade a determinação da relação qualitativa e quantitativa existente entre exposição a um perigo sob certas condições, incluindo as incertezas associadas, e o resultante efeito adverso.

### **Avaliação de risco**

A *avaliação de risco* é o processo cujo objetivo é calcular ou estimar o risco que possa existir para um determinado sistema alvo em decorrência da sua exposição a uma substância particular, levando-se em conta as características inerentes da substância em questão, assim como também as características do sistema alvo específico. O processo inclui quatro passos: identificação do peri-

go, avaliação da dose-resposta, avaliação da exposição e caracterização do risco (Figura 1). É também o primeiro passo dentro da *análise de risco*.

- *Identificação do perigo*: a primeira fase na *avaliação de risco*, consistindo na determinação dos perigos particulares a que um determinado sistema alvo pode estar exposto, incluindo dados de toxicidade associados: (Nota: vide definição alternativa no contexto da *avaliação do perigo*).

- *Avaliação da dose-resposta*: o segundo dos quatro passos da *avaliação de risco*, que consiste na análise da relação entre a quantidade total de um agente que é absorvida por um grupo de organismos e as mudanças desenvolvidas no grupo em reação a este agente, assim como inferências derivadas de tal análise com respeito à população inteira.

- *Avaliação da exposição*: passo da *avaliação de risco* que consiste em uma análise quantitativa e qualitativa da presença de um agente (incluindo seus derivados) em um determinado ambiente e a inferência das possíveis consequências que ele pode ter para uma determinada população de interesse particular.

- *Caracterização do risco*: integração das evidências, dos argumentos e das conclusões coletadas nas fases de identificação do perigo, avaliação da dose-resposta e avaliação da exposição, e estimativa da probabilidade, incluindo as incertezas a esta associada, de ocorrência de um efeito adverso se um agente é administrado, ingerido ou absorvido por um organismo particular ou uma população. É o último passo da *avaliação de risco*. (Nota: na avaliação de risco ecológico, a avaliação da dose-resposta é substituída pela avaliação da concentração-resposta, ou, então, é feita uma estimativa qualitativa e, ou, quantitativa, incluindo as incertezas a ela associadas, da severidade e da probabilidade de ocorrência de efeitos adversos conhecidos e potenciais de uma substância em uma determinada população).

Ainda dentro do contexto da avaliação de risco, procura-se definir o *risco aceitável*, que é aquele risco

tal em que os benefícios derivados para um organismo, uma população ou um sistema ecológico excedem em valor os efeitos adversos que poderiam resultar da exposição a um agente particular.

### Gerência de risco

A gerência de risco constitui-se no processo de tomada de decisão que envolve a consideração de fatores políticos, sociais, econômicos e técnicos, bem como informação relevante proveniente da avaliação de risco pertinente a um perigo, no intuito de desenvolver, analisar e comparar opções regulatórias e não regulatórias e ainda selecionar e implementar as melhores decisões e ações para assegurar a segurança contra aquele perigo. Essencialmente, a gerência de risco é a combinação de três passos: avaliação do risco-benefício, controle de emissão e exposição e, finalmente, o

monitoramento do risco (Figura 1). No passo intermediário (controle de emissão e exposição), a expressão *controle* é usada mais num sentido geral do que com conotação regulatória.

- *Avaliação do risco-benefício*: estabelecimento de uma relação qualitativa ou quantitativa entre riscos e benefícios, envolvendo o processo complexo de determinar a importância dos perigos identificados e dos riscos estimados para aqueles organismos ou pessoas interessados ou afetados. É o primeiro passo dentro da *gerência de risco*.

- *Monitoramento do risco*: processo de acompanhamento interno das decisões e ações para averiguar se a redução ou contenção de risco relativo a um perigo particular está assegurada.

prévia de alguns de seus termos associados, a *análise de risco* é então descrita por Duffus (2001) como sendo o processo usado para controlar situações onde populações ou sistemas ecológicos poderiam estar expostos a um perigo. Normalmente inclui três passos, quais sejam, a avaliação de risco, a gerência de risco e a comunicação do risco (Figura 1). Os termos *avaliação de risco* e *gerência de risco* já foram previamente definidos, restando apenas a definição a seguir:

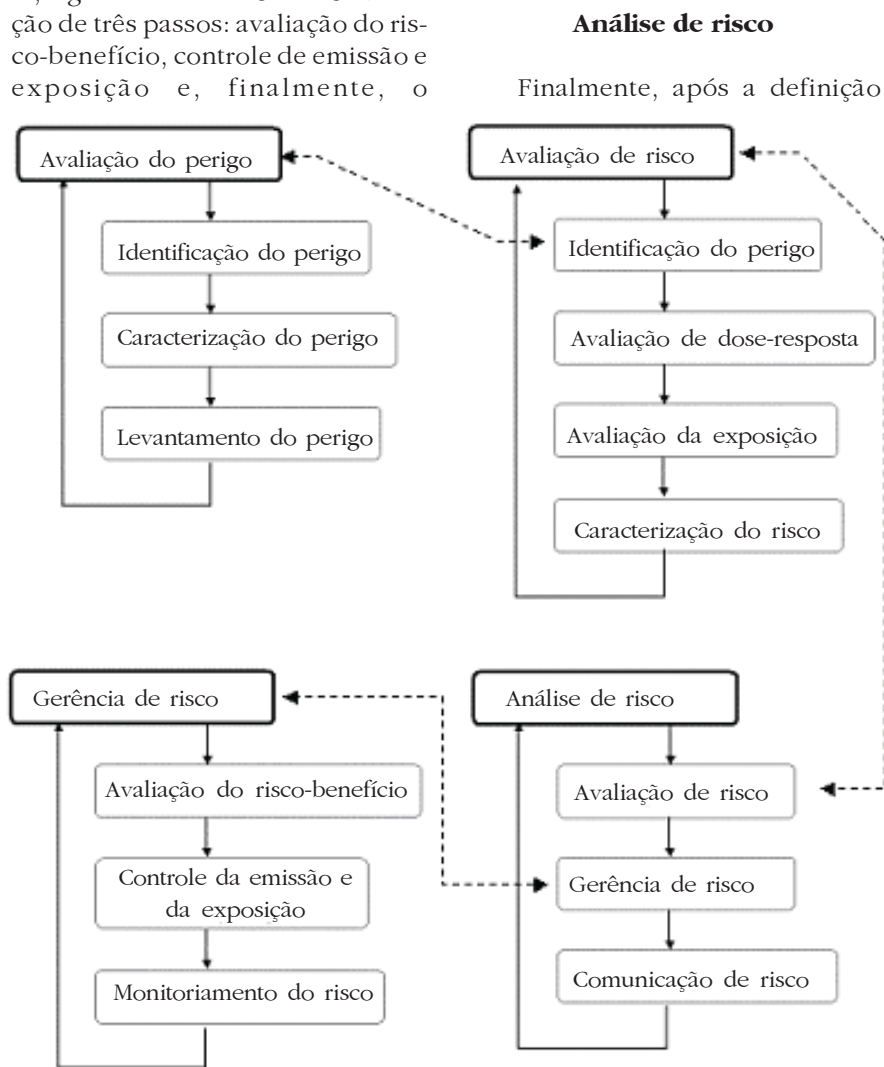
- *Comunicação do risco*: troca interativa de informação sobre riscos entre avaliadores de risco, gerentes, imprensa, grupos interessados e o público em geral.

### Entendendo melhor a avaliação de risco

Após apresentarmos uma tentativa de padronização de terminologia envolvendo a avaliação e a análise de risco, procura-se, nos tópicos a seguir, abordar com mais detalhes alguns aspectos da avaliação de risco de *persi*. O enfoque desta discussão é basicamente o mesmo adotado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, em documentos conceituais relacionados a este assunto (USEPA, 1998; 1992a,b,c). Adicionalmente, procurou-se também inserir recomendações advindas de relatório específico sobre o assunto, editado pela Agência Ambiental Européia (Fairman et al., 1999).

A avaliação de risco tem se tornado uma ferramenta analítica importante na tomada de decisão ambiental. Ela pode ser definida como a identificação de efeitos adversos potenciais a humanos ou a ecossistemas que resultam da exposição a perigos ambientais. O risco envolvido (dano, infecção, *deficits* funcionais ou morte) pode ser expresso em condições quantitativas ou qualitativas. Conforme já descrito anteriormente, o processo de avaliação de risco para a saúde humana frequentemente envolve os passos seguintes:

1. *Identificação de perigo* - determinação se um poluente afeta



**Figura 1.** Diagrama conceitual envolvendo as várias etapas da análise de risco. Fonte: Adaptado de Duffus (2001).

adversamente a saúde humana;

2. *Avaliação de dose-resposta* - determinação da relação entre o nível de exposição e a probabilidade de ocorrência de efeitos adversos;

3. *Avaliação da exposição* - determinação da extensão de exposição;

4. *Caracterização do risco* - descrição da natureza e, freqüentemente, da magnitude do risco, incluindo as incertezas acompanhantes.

O fato de pode acontecer simultaneamente a exposição a muitos perigos potenciais e em magnitude variada faz com que o processo de avaliação de risco seja complexo. A avaliação de risco emprega um processo de avaliação sistemático para determinar se um perigo existe e que risco ele poderia representar. Efeitos observados, julgamentos e extrapolações são todos usados no estabelecimento de estimativas e de suas incertezas para apoiar o planejamento e a tomada de decisão.

A avaliação de risco é freqüentemente usada no desenvolvimento de ações regulatórias para proteger o público da exposição a poluentes tóxicos. A avaliação de risco também é aplicada na análise de ecossistemas e em assuntos como a depleção de ozônio na estratosfera e as mudanças climáticas globais. Devido ao fato de geralmente haver lacunas no levantamento de dados da avaliação de risco, esforços para comparar e classificar riscos ambientais devem sempre levar em conta o julgamento profissional.

### Avaliação de risco comparativa

A maioria das avaliações de risco envolve a análise de uma substância específica ou de uma área considerada problema. Outro uso da avaliação de risco como uma ferramenta é para comparar riscos advindos de problemas múltiplos no âmbito estadual, regional, nacional ou global. Este processo de avaliação de risco comparativo envolve os passos seguintes.

1. Listagem de todas as áreas com problema na região, estado ou país;

2. Ranqueamento dos problemas com base no risco (saúde humana, ecológico, bem-estar ou qualidade de vida); esta classificação está baseada em uma análise de dados disponíveis específicos para o problema daquela região, estado ou país;

3. Desenvolvimento de uma agenda de ações para cuidar das áreas com problema, baseando-se na classificação de risco e em outros fatores (por exemplo, viabilidade, opinião pública, etc.).

A avaliação de risco comparativa é uma metodologia que usa conhecimento científico, políticas regulatórias, análise econômica e participação das partes interessadas para identificar e tratar das áreas que representam maiores riscos ambientais, provendo uma estrutura organizacional que permita a priorização dos problemas ambientais. Os resultados de uma análise de risco comparativa podem

ser usados para prover uma base técnica indicativa das ações de controle e das prioridades administrativas e de uso de recursos.

Um exemplo envolvendo o uso da avaliação de risco comparativa no estabelecimento de prioridades de controle é aquele adotado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) e pela Agência para Registro de Substâncias Tóxicas e Doenças (ATSDR) para a classificação de substâncias consideradas *poluentes prioritários*, nos Estados Unidos. Este levantamento é realizado a cada dois anos e, em função de dados atualizados relativos à possibilidade de exposição e ao perigo envolvendo cerca de 275 substâncias, estas são então ranqueadas. A tabela 1 mostra a classificação das 20 principais substâncias, em 2003. A lista completa das substâncias avaliadas encontra-se em <http://www.atsdr.cdc.gov/clist.html>. Adicionalmente, informações extensivas relacionados à toxicidade e comportamento ambiental da maioria dessas substâncias podem ser consultados em <http://www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html>.

Um outro exemplo de avaliação de risco comparativa é aquele que foi usado também pela USEPA para classificar problemas ambientais considerados de alto, médio e baixo risco para a população humana ou para o ambiente, nos Estados Unidos, no documento intitulado *Unfinished Business: A Comparative Assessment of Environmental Problems*, publicado em 1987. Este documento foi considerado ponto de referência sobre o assunto e base para inúmeros trabalhos futuros, incluindo dentre estes um *software* desenvolvido em 1995 por pesquisadores da Universidade de Purdue (EUA), o qual encontra-se disponível para carregamento em <http://www.epa.gov/seahome/comprisk.html>

A figura 2 ilustra a abordagem adotada nesse *software* e a tabela 2 traz a classificação de riscos relativos representados por alguns dos 31 problemas ambientais considerados prioritários, ranqueados em 4 grandes categorias de risco, a saber: 1)

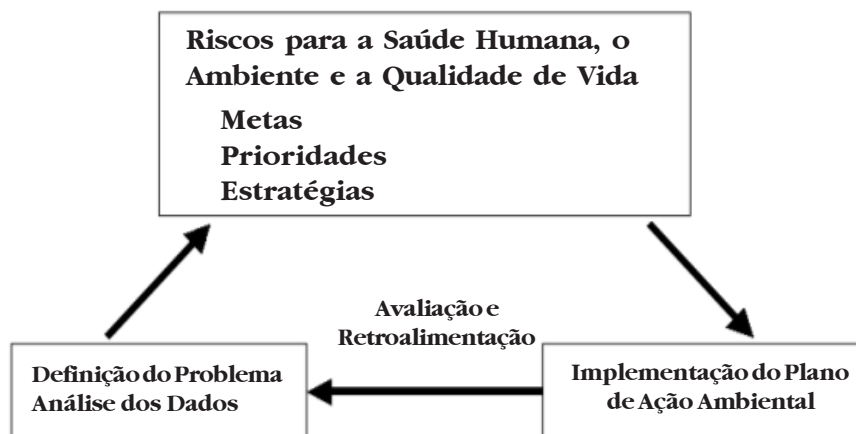


Figura 2. Abordagem sistemática para a tomada de decisão envolvendo riscos comparativos.

**Tabela 1.** Classificação de risco de substâncias perigosas consideradas prioritárias para controle nos Estados Unidos.

Classificação em 2003	Nome da substância	Classificação em 2001
1	Arsênio	1
2	Chumbo	2
3	Mercúrio	3
4	Cloreto de vinila	4
5	Bifenilas policloradas	5
6	Benzeno	6
7	Cádmio	7
8	Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	9
9	Benzo(a)pireno	8
10	Benzo(b)fluoranteno	10
11	Clorofórmio	11
12	DDT, p,p	12
13	Aroclor 1254	13
14	Aroclor 1260	14
15	Dibenzo(a,h)antraceno	16
16	Tricloroetileno	15
17	Cromo, hexavalente	18
18	Dieldrin	17
19	Fósforo, branco	24
20	Clordane	19

Fonte: <http://www.atsdr.cdc.gov/clist.html>

riscos à saúde humana - carcinogênicos; 2) riscos à saúde humana - não carcinogênicos; 3) riscos ecológicos; e, 4) riscos para o bem-estar (qualidade de vida).

Um resumo dos resultados desse estudo de 1987 revela que:

- Nenhum problema foi ranqueado como sendo de risco relativamente alto ou baixo em todas as 4 grandes categorias de risco;

- Problemas classificados como de médio a alto risco em 3 categorias foram: poluentes atmosféricos comuns, depleção da camada de ozônio na estratosfera, resíduos de pesticidas em alimentos e outros riscos associados a pesticidas (e.g., lixiviação, escoamento superficial);

- Problemas classificados como de alto risco para a saúde e de baixo risco ecológico e para o bem-estar foram: poluentes atmosféricos tóxicos ou perigosos, radônio em recinto fechado, poluição de ar em recinto fechado (exclui radônio), aplicação de pesticidas, exposição a produtos de consumo diversos e exposição do trabalhador a substâncias químicas;

- Problemas classificados como de alto risco ecológico ou para o bem-estar foram: efeito estufa, fontes pontuais e não pontuais de poluição de águas de superfície, alteração física de *habitats* aquáticos (incluindo áreas pantanosas e estuários) e rejeitos de mineração.

Ressalta-se que embora os

exemplos apresentados para análise de risco comparativa sejam provenientes de um país com condições de desenvolvimento diferentes daquelas existentes no Brasil, o que é importante nesse contexto é a necessidade de estabelecimento de prioridades. Este é o ponto principal a ser considerado quando se pergunta: *Por que fazer uma avaliação de risco comparativa?* Independentemente da situação financeira que atravessa um determinado país, estado ou município, não há recursos disponíveis para tratar de todas as preocupações ambientais de uma comunidade ao mesmo tempo. Como os tomadores de decisão trabalham sempre com restrições orçamentárias, então esses são obrigados a escolher o que deve ser priorizado, quer seja através de um processo definido de tomada de decisão, quer seja através de decisões circunstanciais.

Além disso, esses tomadores de decisão estão sempre enfrentando pressões políticas e da opinião pública para agir no sentido de reduzir riscos ambientais ditos "percebidos", os quais podem ou não representar uma ameaça atual para a saúde humana, o ambiente ou a qualidade de vida.

### **Relação entre avaliação de risco e gerência de risco**

Conforme já definido anteriormente, a gerência de risco é o processo de tomada de decisão através do qual uma ação ou uma política é desenvolvida uma vez que um risco tenha sido determinado. Ela integra a avaliação de risco com assuntos técnicos, políticos, sociais e econômicos para desenvolver estratégias de redução e prevenção do risco. A integração de todos esses fatores envolvidos na gerência de risco é bastante complexa e um caso especialmente interessante e para o qual tem sido dada uma grande ênfase mais recentemente é o que diz respeito à análise econômica de benefícios ecológicos, visto que as diferentes visões e perspectivas de economistas e ecologistas devem ser integradas visando uma avaliação interdisciplinar das questões

**Tabela 2.** Classificação comparativa de risco de alguns problemas ambientais nos Estados Unidos, de acordo com quatro grandes categorias de risco

Problema ambiental	Categoria de risco			
	Riscos à saúde humana carcinogênicos <sup>1</sup>	Riscos à saúde humana não carcinogênicos <sup>2</sup>	Riscos ecológicos <sup>3</sup>	Riscos para o bem-estar <sup>4</sup>
Poluentes atmosféricos comuns (SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , ozônio, CO, chumbo, particulados) provenientes de fontes móveis e estacionárias	Classe 3 (22)	Alto	3	Alto (1)
Poluentes atmosféricos tóxicos ou perigosos (inclui possíveis carcinogênicos)	Classe 1 (6)	Alto	4	Baixo (23)
Poluição do ar em recinto fechado (exclui radônio)	Classe 1 (4)	Alto	-	Mínimo
Substâncias suspeitas de afetar camada de ozônio na estratosfera	Classe 2 (8)	Médio	1	Alto (6)
Gás carbônico & efeito estufa	Classe 5 (28)	Não ranqueado	1	Alto (5)
Fontes pontuais diretas de descarga em águas de superfície	Classe 4 (23)	Baixo	3	Alto (8)
Fontes não pontuais (difusas) de descarga em águas de superfície	Classe 3 (20)	Médio	3	Alto (2)
Lodo de esgoto (biossólido) contaminado	Classe 3 (17)	Baixo	5	Baixo (22)
Poluição de água potável (na torneira)	Classe 2 (9)	Alto	-	Baixo (19)
Locais de descarte de resíduos perigosos - inativos	Classe 2 (7)	Baixo	5	Médio (9)
Locais de descarte de resíduos não perigosos - municipais	Classe 3 (16)	Médio	5	Médio (10)
Locais de descarte de resíduos não perigosos - industriais	Classe 2 (14)	Médio	5	Baixo (15)
Rejeitos de mineração	Classe 3 (18)	Baixo	2	Baixo (21)
Vazamentos acidentais - produtos tóxicos	Classe 4 (25)	Alto	5	Baixo (17)
Vazamentos acidentais - derramamento de óleo	Classe 4 (26)	Não ranqueado	5	Baixo (18)
Vazamentos de tanques de armazenamento	Classe 3 (19)	Baixo	6	Baixo (16)
Outras fontes de contaminação de água de subsuperfície	Classe 3 (21)	Não ranqueado	5	Mínimo
Resíduos de pesticidas no alimento (humano e de vida selvagem)	Classe 1 (3)	Alto	3	Mínimo
Aplicação de pesticidas	Classe 2 (10)	Alto	-	Mínimo
Outros riscos associados a pesticidas (e.g., lixiviação, escoamento superficial)	Classe 2 (12)	Médio	3	Médio (13)
Riscos da biotecnologia (inclui organismos geneticamente modificados)	Classe 5 (27)	Não ranqueado	-	Médio (14)
Exposição a produtos químicos em artigos de consumo diversos	Classe 1 (4)	Alto	-	Mínimo
Exposição do trabalhador a substâncias químicas	Classe 1 (1)	Alto	-	Mínimo

<sup>1</sup> Classe 1 representa o mais alto risco e classe 5 representa risco de câncer não identificado (número entre parênteses identifica ranqueamento dentro das classes); <sup>2</sup> Classificação relativa – alto, médio ou baixo; <sup>3</sup> Número 1 representa o maior risco e 6, o menor (problemas classificados com mesmo número não foram ranqueados); <sup>4</sup> Classificação relativa – alto, médio, baixo ou mínimo (número entre parênteses identifica ranqueamento dentro das classes de alto, médio ou baixo risco relativo).

ambientais. Para informações adicionais pertinentes a esta questão sugere-se uma consulta ao documento *A Framework for the Economic Assessment of Ecological Benefits* recentemente editado pela USEPA (disponível em <http://www.epa.gov/osa/spc/pdfs/feaeb3.pdf>), bem como ao texto de Guilherme (2000).

A gerência de risco tem que levar em conta as incertezas associadas com as várias suposições e julgamentos feitos em cada passo do processo envolvendo a avaliação de risco. Quando possível, a avaliação de risco deve discutir as incertezas de tal forma que o responsável por gerenciar o risco possa levar isto em consideração na sua tomada de decisão. Como ilustração, apresenta-se, na figura 3, a relação entre os elementos da avaliação de risco e da gerência de risco, levando-se em consideração a saúde humana.

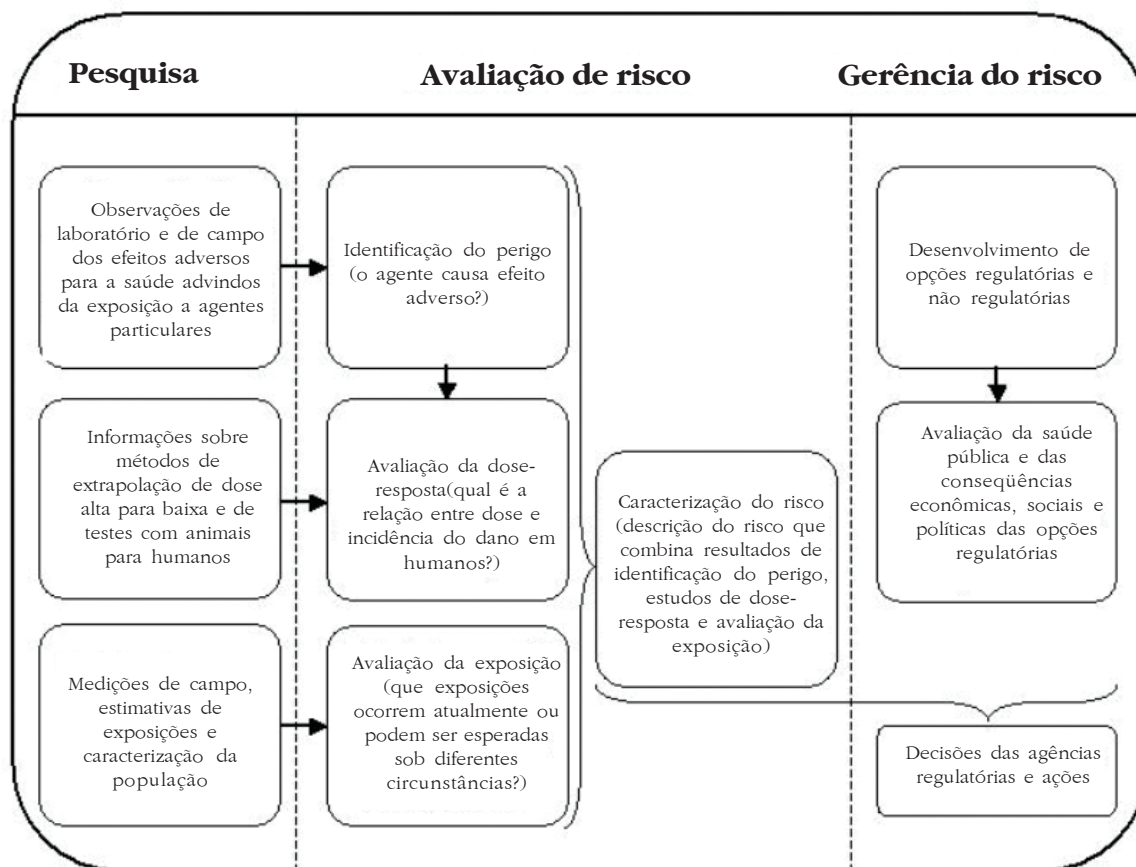
Sumarizando-se as informações constantes na figura 3, nota-se que diferentes tipos de informação são usados na avaliação de risco à saúde. A “identificação do perigo” é uma

determinação qualitativa de que um determinado agente está casualmente ligado a efeitos específicos à saúde. Dados avaliados neste processo podem incluir estudos epidemiológicos, estudos com animais, ensaios de curta duração e comparações baseadas nas relações entre atividade e estrutura. Uma “avaliação de dose-resposta” é executada por pessoal especializado que usa dados disponíveis sobre o indicador ou ponto final de avaliação envolvendo a saúde tanto para estudos com humanos quanto com animais. Esta avaliação de dose-resposta inclui o exame de como os dados dos estudos com humanos e animais são influenciados pelo nível de exposição ao agente químico, assim como também diferenças entre espécies ou na resposta toxicológica de um determinado órgão. O componente “avaliação da exposição” usa informação sobre níveis ambientais, destino e transporte, análises ecológicas, exposições no ponto de contato, modelagem farmacocinética dos dados e características demográficas. O componen-

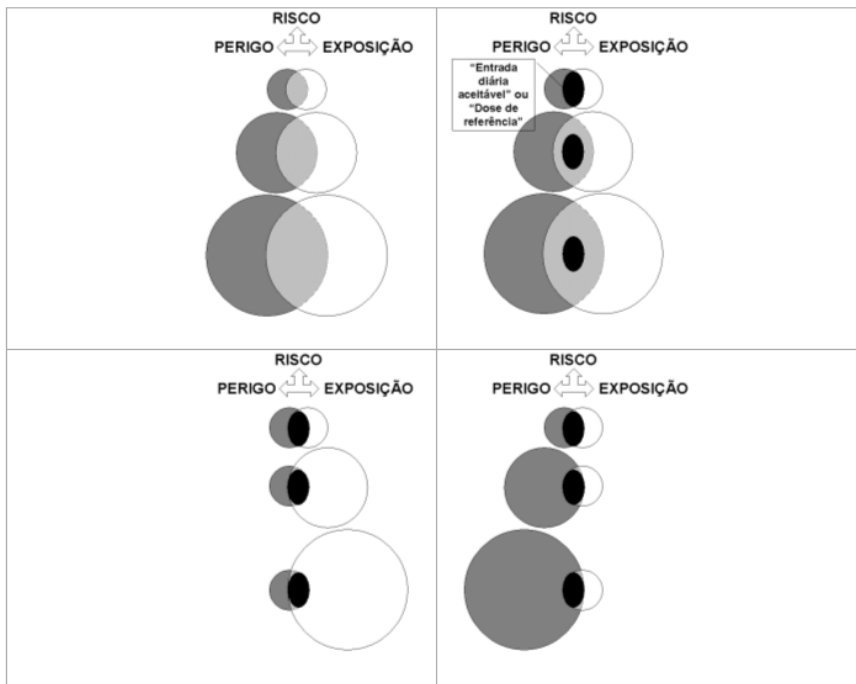
te final, denominado “caracterização do risco”, é uma medida do risco ao indivíduo ou para a população que leva em conta a informação coletada durante a identificação do perigo, a avaliação de dose-resposta e a avaliação de exposição, as quais são caracterizadas completamente por meio da discussão e interpretação dos pontos fortes e fracos envolvendo os dados, do conhecimento e ou da falta de conhecimento sobre os fenômenos biológicos avaliados e sobre as incertezas qualitativas ou quantitativas da análise. Esses passos da avaliação de risco para a saúde humana são discutidos com mais detalhes no item a seguir.

### Avaliação de riscos para a saúde humana

No sentido mais simples, riscos à população advindos de poluentes tóxicos existem em função de dois fatores mensuráveis: perigo e exposição. Para gerar um risco, uma substância química tem que apresentar perigo e estar presente no ambiente



**Figura 3.** Elementos da avaliação e gerência de risco



**Figura 4.** Ilustração gráfica do conceito de risco (intersecção das áreas que representam o perigo e a exposição), comparando-o com o conceito de entrada diária aceitável ou dose de referência (área em preto).

em um certo nível tal que seja significativa. A avaliação de risco é uma interpretação da evidência desses dois pontos. A figura 4 procura ilustrar isso.

Nota-se na figura 4 que o risco representado pela substância química ou agente (ilustrado graficamente pela área em cinza claro derivada da intersecção entre o perigo e a exposição) será tanto maior quanto maiores forem a exposição e o perigo (maiores áreas dos círculos). Se a área de intersecção - que representa o risco - puder ser avaliada em termos de quantidade de um agente perigoso qualquer que atinge um determinado indivíduo ou população, então a mesma poderá ser comparada com os valores representados pela “entrada diária aceitável” ou “dose de referência” (vide definições em Borém, 2004), obtendo-se, assim, um parâmetro comparativo entre o risco estimado e aquele considerado aceitável. Caso o valor estimado para o risco (área da intersecção) seja igual ou menor que o valor que representa a entrada diária aceitável ou dose de referência (área em preto), então uma intervenção no ambiente afetado poderá ser descartada. Do contrário – se o risco estimado for maior que o acei-

tável – então há que se proceder a uma estratégia de remediação que possa tornar o local seguro para uso atual e futuro.

Pode-se inferir também pela figura 4 que se o perigo é pequeno (pequeno tamanho do círculo em cinza escuro), então mesmo que a exposição seja grande (círculos em branco), o risco estimado poderá ser negligível ou estar próximo do nível aceitável. Analogamente, se a exposição é pequena, então mesmo que o perigo seja grande, há a possibilidade de que o risco estimado seja igual ou menor que aquele considerado aceitável. Esse último caso é de especial interesse, pois controlar a exposição (por exemplo, mediante o uso de equipamentos de proteção individual ou da correta utilização de produtos químicos) representa a melhor maneira de se reduzir o risco advindo de um agente qualquer que possui um perigo intrínseco a ele associado. Obviamente, nas circunstâncias em que inexistente o perigo e, ou, a exposição a um agente qualquer, então o risco é considerado nulo. Essa situação de “risco zero”, entretanto, é utópica.

A avaliação de risco permite julgar se efeitos adversos acontecerão ou não e, caso aconteçam, quais

seriam os cálculos necessários para se estimar a extensão total dos efeitos. A estrutura organizacional da avaliação de risco é útil para auxiliar no agrupamento de informações e nas interpretações científicas dos fatos, o que ajuda na formulação de políticas regulatórias e de estratégias de gerenciamento ambiental. Em cada um dos quatro passos no processo de avaliação de risco, dados são agrupados e interpretados visando conclusões sobre fatores de risco. Frequentemente a interpretação da informação é expressa como sendo o melhor julgamento científico possível por parte dos avaliadores de risco. Para auxiliar no estabelecimento de referências toxicológicas, frequentemente lança-se mão de bancos de dados como aquele da USEPA (The Integrated Risk Information System - IRIS), o qual contém informações resumidas acerca de efeitos crônicos à saúde humana para aproximadamente 500 substâncias químicas e outros agentes. Esse sistema de informação de risco inclui seções sumarizando efeitos potenciais da exposição oral a (dose de referência oral) ou da inalação de (concentração de referência para inalação) substâncias consideradas não carcinogênicas, bem como informação sobre risco de carcinogênicos. Essa base de dados representa um recurso inicial útil para a identificação do perigo e para a busca de informações sobre dose-resposta, permitindo ainda que o usuário busque informações sobre os dados originais nos quais a informação foi baseada. Para acessar esse banco de dados, consulte a lista de *websites* sugeridos ao final deste artigo.

### Identificação do perigo

A Identificação do perigo, o primeiro passo no processo de avaliação de risco para a saúde humana, envolve o julgamento da evidência disponível acerca da possibilidade de uma substância particular causar um efeito adverso para a saúde. Também pode envolver a caracterização do comportamento de uma substância química dentro do corpo e sua interação com órgãos, células

ou até mesmo componentes das células. Idealmente, estudos epidemiológicos são os mais adequados e importantes nesses casos, porém, a disponibilidade destes dados é limitada. Estas avaliações dependem mais freqüentemente de testes com animais. Estes testes permitem o controle rigoroso de muitos fatores que podem gerar incertezas. Porém, sistemas biológicos de animais são diferentes daqueles dos seres humanos. Algumas espécies de animais parecem ser mais sensíveis que os humanos a certas substâncias e menos sensíveis a outras.

### **Avaliação da dose-resposta**

A avaliação da dose-resposta é o processo de caracterização da relação existente entre a dose recebida de um agente qualquer e a incidência de efeitos adversos na população exposta. Enquanto a identificação do perigo procura determinar se é provável que uma substância química cause um efeito particular em humanos ou animais, o estudo da dose-resposta quantifica este efeito, ou seja, determina qual é a intensidade de resposta obtida em vários níveis de exposição (dose). A intensidade de dano causado por diferentes substâncias varia amplamente; por exemplo, uma substância química A e outra B podem, ambas, causar câncer em animais, mas pode ser necessário uma dose muito maior da substância A do que da B para produzir tumores em animais testados no laboratório. Quando os resultados da avaliação da dose-resposta com animais são extrapolados para seres humanos, devem ser feitos ajustes para se corrigirem diferenças entre humanos e animais no que diz respeito à sensibilidade e à farmacocinética (taxa de transformações fisiológicas das substâncias). Normalmente, efeitos de baixas dosagens são deduzidos de resultados de estudos de laboratório ou epidemiológicos com altas dosagens. Embora algumas diferenças possam ser ajustadas, muitas outras não são suficientemente entendidas, gerando, assim, incertezas (por exemplo, animais e humanos podem diferir

em suscetibilidade em função de idade, sexo, diversidade genética, estado de saúde, estilo de vida ou outros fatores). Para informação atualizada relativa a estudos de dose-resposta, sugere-se uma consulta à base de dados descrita anteriormente (IRIS).

### **Avaliação da exposição**

A exposição acontece quando os seres humanos entram em contato com um agente qualquer. Por outro lado, a dose é a quantidade da substância que realmente penetra no organismo. A exposição pode acontecer por ingestão, inalação ou absorção dermal (Figura 5). A rota de exposição geralmente afeta a extensão da absorção e, conseqüentemente, a dose. Exposição e dose são consideradas ao se avaliar o risco, pois: 1) um agente tem que alcançar receptores biológicos (por exemplo, órgãos ou células) para produzir uma resposta; 2) a produção de uma resposta e a intensidade da mesma são relacionadas com a dose do agente no receptor; e, 3) a concentração e a rota de exposição afetam significativamente a dose do agente no receptor.

A avaliação da exposição está baseada em monitoramento ambiental ou em modelagem, podendo também advir da combinação desses. Ressalta-se, entretanto, que dados concretos provenientes da exposição de humanos bem como dados extensivos de monitoramento são geralmente limitados, devido a limitações orçamentárias. Um resumo dos dados disponíveis sobre vários fatores usados na avaliação da exposição humana, incluindo consumo de água potável, consumo de diferentes alimentos (como frutas, verduras, carnes, laticínios e peixes) padrões para solos e massa corpórea, pode ser encontrado nas publicações *EPA/600/8-89/043 Exposure Factors Handbook* e *EPA/600/R-03/029 CSFII Analysis of Food Intake Distributions*, as quais podem ser obtidas consultando-se um dos *websites* sugeridos ao final deste artigo (<http://www.epa.gov/nepis/>).

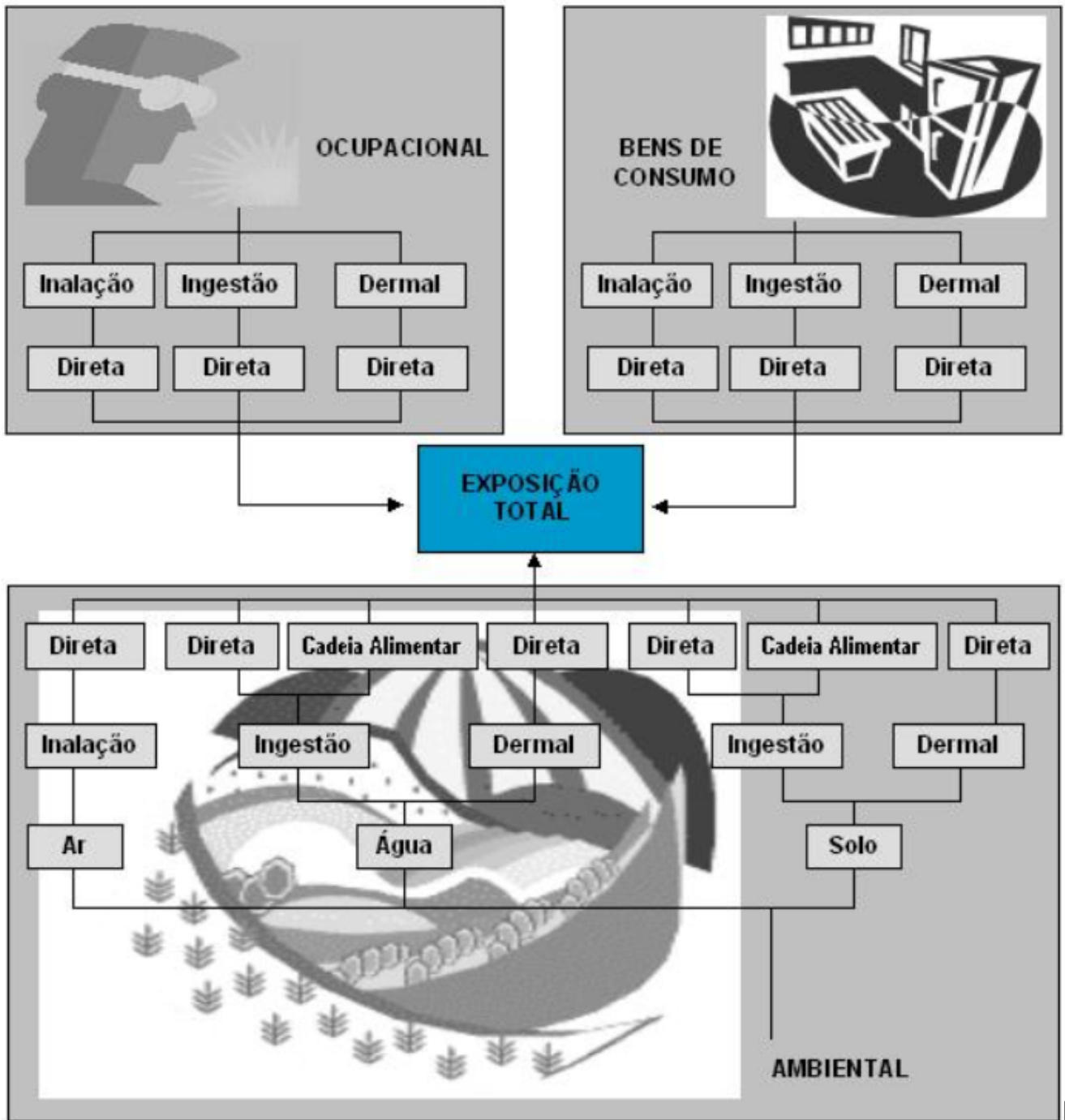
### **Caracterização do risco**

A caracterização do risco é a combinação da identificação do perigo com informações sobre dose-resposta e exposição. Embora os cálculos finais para se estimar o risco sejam diretos, o modo através do qual a informação é apresentada é importante. A avaliação final deve revelar toda a informação pertinente ao assunto que estava disponível no momento da tomada de decisão, incluindo aquela relativa a fatores tais como a natureza e a relevância da evidência levantada em cada passo do processo, as incertezas associadas e a distribuição do risco através dos vários segmentos da população.

### **Avaliação de riscos ecológicos**

A abordagem usada na avaliação de riscos ecológicos é conceitualmente semelhante àquela usada na avaliação de riscos para a saúde humana. A avaliação de riscos ecológicos determina a probabilidade de que efeitos ecológicos adversos estejam acontecendo ou acontecerão como resultado da exposição a um ou mais agentes. O termo "agente" pode ser definido como qualquer entidade química, física ou biológica que pode induzir efeitos adversos em indivíduos, populações, comunidades ou ecossistemas. Esses agentes podem ser representados tanto por uma drenagem de uma área pantanosa quanto pela liberação de substâncias químicas no ambiente. Assim, a avaliação de riscos ecológicos deve ser flexível o suficiente de modo a proporcionar uma estrutura lógica e científica que permita acomodar uma ampla gama de agentes que possam resultar em um risco. A avaliação de riscos ecológicos pode ajudar na identificação de problemas ambientais, no estabelecimento de prioridades e no provimento de uma base científica para ações regulatórias. Esse processo pode identificar riscos existentes ou então prever os riscos de advindos de agentes que ainda não estão presentes no ambiente.

A avaliação de riscos ecológicos inclui três fases primárias: formula-



**Figura 5.** Rotas principais de exposição na avaliação de risco à saúde humana.  
 Fonte: Adaptado de Fairman et al. (1999)

ção do problema, análise e caracterização do risco (Figura 6). Durante a formulação do problema, os avaliadores de risco estabelecem metas e selecionam os indicadores da avaliação, preparam o modelo conceitual e desenvolvem um plano de análise. Durante a fase de análise, são avaliadas a exposição ao(s) agente(s) e a relação entre nível de exposição e os efeitos ecológicos. Na terceira fase, caracterização do risco, os avaliadores estimam os riscos com base

no cruzamento das informações de exposição com o perfil de resposta ao(s) agente(s). Estes riscos são então descritos, discutindo-se as evidências e determinando-se as adversidades ecológicas, sendo posteriormente relatados em um relatório. Uma estreita cooperação entre as partes interessadas e os avaliadores e gerentes de risco, durante o planejamento inicial, bem como a correta comunicação do risco, ao término da avaliação, são críticos para assegurar

que os resultados da avaliação de risco possam ser usados para suportar as decisões de gerência.

Em função da necessidade de participação de pessoas com notório conhecimento numa determinada área específica (especialmente em avaliações de risco ecológico complexas), avaliadores de risco e gerentes de risco frequentemente trabalham em equipes multidisciplinares.

Tanto os gerentes quanto os



**Figura 6.** Modelo de avaliação de riscos ecológicos utilizado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos.

Fonte: USEPA Risk Assessment Forum (vide website ao final deste artigo)

avaliadores de risco devem contribuir significativamente para as atividades iniciais de planejamento da avaliação de risco ecológico. Gerentes de risco encarregados de proteger o ambiente devem identificar a informação que eles precisam para tomar suas decisões, enquanto que os avaliadores de risco devem assegurar que o conhecimento científico seja usado efetivamente para enfatizar as preocupações ecológicas. Juntos, avaliadores e gerentes podem julgar se a avaliação de risco realmente focalizou os problemas identificados. Ressalta-se que o processo envolvido nesse planejamento inicial é distinto daquele procedimento científico requerido para uma avaliação de risco ecológico. Esta distinção deve assegurar que questões políticas e sociais possam ajudar na definição dos objetivos da avaliação de risco sem, entretanto, induzir a decisões tendenciosas.

### Considerações finais

Conforme foi relatado neste artigo, a *análise de risco* é um proces-

so de *avaliação, gerenciamento e comunicação* usado para avaliar dados científicos, comparar e selecionar as políticas de ação disponíveis e comunicar toda a informação obtida no intuito de prevenir ou controlar riscos não desejados advindos da exposição de um indivíduo ou população a um agente particular.

A *avaliação de risco* é um passo crucial nesse processo, pois é nesta fase que são levantadas todas as informações sobre os riscos estimados, os quais tendem a ser comparados com riscos considerados aceitáveis, visando respaldar, de maneira objetiva, as futuras ações de gerenciamento e comunicação de risco. Entretanto, a tentativa de se comparar, em termos quantitativos, um risco calculado (a partir da estimativa da exposição de um indivíduo ou uma população a um agente perigoso qualquer) com um risco considerado aceitável (valor este proveniente de testes toxicológicos ou ecotoxicológicos), nem sempre é possível, especialmente em se tratando de avaliações de riscos ecológicos.

Mesmo sabendo-se que algumas incertezas qualitativas e quantitativas cercam as estimativas de risco para a saúde humana, a possibilidade de comparação de valores calculados com aqueles considerados aceitáveis traz um referencial mais objetivo para a tomada de decisão por parte dos agentes regulatórios. Já no caso da avaliação de riscos ecológicos e, mais especificamente, aqueles associados aos organismos geneticamente modificados (OGMs), a multitude dos indicadores a serem avaliados, aliada ao pouco conhecimento acerca dos efeitos ecológicos em longo prazo torna o processo de caracterização de risco bem menos preciso e a tomada de decisão bem mais complexa, diante do desafio de decidir o que venha a ser o risco aceitável. Esta situação tem levado alguns autores a sugerir uma abordagem do risco de OGMs baseada no princípio da precaução (Ervin et al., 2000), sem que isto signifique, entretanto, uma moratória aos organismos geneticamente modificados (Batie, 2003).

No caso da avaliação de risco dos OGMs ou de outro agente qualquer, embora seja desejável, do ponto de vista da proteção da saúde humana e do ambiente, que não haja efeitos adversos às populações ou aos ecossistemas, é razoável que se admita, do ponto de vista da *gerência de risco*, que a filosofia do “risco zero” é impraticável numa sociedade onde a intervenção antrópica atingiu os níveis correntemente observados nas civilizações atuais. Assim sendo, é de se esperar que os benefícios derivados para um organismo, uma população ou um sistema ecológico excedem em valor os efeitos adversos resultantes da exposição a um agente particular. O uso de vacinas (um agente biológico) é um exemplo concreto disso e é facilmente aceito pela população, já que os benefícios são bastante mais evidentes que os prováveis efeitos adversos.

Finalizando, vale ressaltar, porém, que por ocasião da *comunicação de risco* para a sociedade, esta deve ser alertada para o fato de que suas necessidades básicas, bem como

os bens de consumo que a cerca - os quais lhe trazem graus variáveis de satisfação ou de benefício - somente podem existir a partir da exploração de recursos naturais que, mesmo que sejam extraídos ou produzidos de modo a gerar o menor efeito adverso possível ao ambiente, possuem uma taxa de renovação ou de reposição geralmente menor do que aquela em que atualmente são consumidos.

### Literatura Consultada

BATIE, S.S. 2003. The environmental impacts of genetically modified plants: challenges to decision making. Oxford: American Journal of Agricultural Economics, 85(5):1107-1111.

BORÉM, A. (Org.). Biotecnologia e meio ambiente. 1 ed. Viçosa, EDITORA UFV, 2004. 425 p.

DUFFUS, J.H. 2001. Risk assessment terminology. Research Triangle Park: Chemistry International,

23(2):34-39.

ERVIN, D.; BATIE, S.; WELSH, R.; CARPENTIER, C.; FERN, J.; RICHMAN, N. & SCHULZ, M. 2000. Transgenic crops: an environmental assessment. Arlington: Henry A. Wallace Center For Agricultural and Environmental Policy at Winrock International, 81p. (Policy Studies Report N° 15)

LEWALLE, P. 1999. Risk assessment terminology: methodological considerations and provisional results. Vienna: Terminology Standardization and Harmonization, 11(1-4): 1-28.

FAIRMAN, R.; MEAD, C.D. & WILLIAMS, W.P. 1999. Environmental risk assessment - approaches, experiences and information sources. Denmark: European Environment Agency. Environmental issue report N° 4. (disponível em <http://reports.eea.eu.int/GH-07-97-595-EN-C2/index.html>)

GUILHERME, L.R.G. 2000. Impacto

ambiental e análise de risco: risco e custo como elementos para tomada de decisão. Lavras: Editora UFPA, 26 p.

USEPA. 1998. Guidelines for ecological risk assessment. Washington, DC: Risk Assessment Forum, U.S. Environmental Protection Agency. EPA/630/R-95/002F.

USEPA. 1992a. Guidelines for exposure assessment. Washington, DC: Risk Assessment Forum, U.S. Environmental Protection Agency. EPA/600/Z-92/001.

USEPA. 1992b. Framework for ecological risk assessment. Washington, DC: Risk Assessment Forum, U.S. Environmental Protection Agency. EPA/630/R-92/001.

USEPA. 1992c. Risk assessment. Washington, DC: Office of Research and Development, Office of International Activities, U.S. Environmental Protection Agency. EPA/600/M-91/034.

### Web Sites Sugeridos

Agency for Toxic Substances and Disease Registry: <http://www.atsdr.cdc.gov>

A Citizen's Guide to Risk Assessments and Public Health Assessments: <http://www.atsdr.cdc.gov/publications/CitizensGuidetoRiskAssessments.html>

EEA (European Environment Agency): <http://www.eea.eu.int/>

EEA Multilingual Environmental Glossary: <http://glossary.eea.eu.int/EEAGlossary>

EEA Reports: [http://reports.eea.eu.int/index\\_table?sort=Thematically](http://reports.eea.eu.int/index_table?sort=Thematically)

Glossary of IRIS (Integrated Risk Information System) Terms: <http://www.epa.gov/iris/gloss8.htm>

The Society for Risk Analysis: <http://www.sra.org/>

Terms of the Environment: <http://www.epa.gov/OCEPaterms/>

USEPA (United States Environmental Protection Agency): <http://www.epa.gov/>

USEPA Integrated Risk Information System (IRIS): <http://www.epa.gov/iris/>

USEPA Office of Research and Development: <http://www.epa.gov/ord/>

USEPA National Center for Environmental Assessment: <http://www.epa.gov/ncea/>

USEPA National Environmental Publications Information System: <http://www.epa.gov/nepis/>

USEPA Comparative Risk Assessment: <http://www.epa.gov/seahome/comprisk.html>

USEPA Risk Assessment Forum: <http://cfpub.epa.gov/ncea/raf/index.cfm>