

# AVALIAÇÃO DA POLUIÇÃO DO AR

## USANDO METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RISCO

*Eng. João Baptista Galvão Filho*

Em 1977, a Academia Nacional de Ciências sugeriu o uso de técnicas de análise de risco para determinar guias de poluentes orgânicos em água potável. Usando cálculos de dispersão, o Departamento do Estado de Nova York para Conservação do Meio Ambiente calculou uma taxa de emissão de um guia de qualidade do ar. A determinação de emissões de ar usando análise de risco é mais difícil e têm maiores problemas do que avaliação de águas contaminadas ou ainda na determinação de guias de efluentes líquidos usando algumas destas técnicas. Este artigo irá descrever resumidamente a metodologia de análise de risco, a filosofia do risco, e alguns dos problemas encontrados no cálculo e o uso de guia de ar ambiente.

Ao discutir risco, uma distinção deve ser feita através de dois diferentes tipos de risco: voluntários e involuntários. Riscos voluntários são aqueles dos quais nós temos conhecimentos e nos sujeitamos condescendentemente: exemplos, fumar, beber, comer muito. Riscos involuntários são aqueles riscos dos quais nós estamos expostos e não temos controle exemplos: respirando ar poluído, bebendo água poluída, e sendo atingido por um raio. A maioria das pessoas se sujeita a aceitar um maior nível de riscos voluntários do que riscos involuntários.

Os riscos são usualmente descritos em termos probabilísticos; por exemplo, o risco ou probabilidade de algum efeito adverso ocorrer é um em milhão ou um em cem mil. Órgãos de controle têm usado um nível de risco de um em um milhão para estabelecimento de guias de contaminação em alimentos. Um crescimento de risco de câncer de um em um milhão é pequeno comparado especialmente com a incidência de câncer de 25 em 100, quer dizer 25 em 100 pessoas contrairão câncer durante seu tempo de vida. O ato de fumar, um risco voluntário, é associado a um aumento de risco de mortalidade por câncer nos brônquios. Uma pessoa que fuma 0,0005 cigarros por dia tem um aumento de risco de morte de um em milhão por câncer de pulmão; uma pessoa fumando um pacote de cigarros por dia tem um aumento de risco de 4 em 100. Exemplos adicionais de eventos e seus riscos são dados na Tabela I.

Todos possíveis efeitos adversos que podem ser causados por produtos químicos precisam ser considerados quando usando técnicas de análise de riscos. Efeitos como intoxicação aguda e crônica, mutogenicidade, teratogenicidade são discutidos brevemente para fornecer alguma experiência para alguns termos não familiares em toxicologia.

A intoxicação aguda é um efeito adverso que ocorre pouco após a adoção de uma ou muitas doses de uma substância. A medida mais comum de intoxicação aguda é o LD50 oral-ratos. Esta é a dose que é letal para 50% de uma população de animal de teste, neste caso o rato, quando o composto é



dado oralmente. Outras medidas de intoxicação aguda, como uma inalação LD50, tem uma medida semelhante mas refere a uma diferente espécie e um diferente tipo de rota de administração.

A intoxicação crônica é um dano que persiste porque é irreversível ou progressivo ou porque a relação de danos é maior do que a relação de reparo durante um período de exposição prolongada.

Muitas pessoas inicialmente pensam no câncer como a única ou a maior forma de intoxicação crônica. Outros tipos de intoxicação crônica existem e são importantes. O fígado danificado, por exemplo, é um dos mais comuns efeitos tóxicos solventes do tipo hidrocarboneto halogenado.

O mutagênico é um agente que modifica a característica de um gene em uma célula, e esta mudança é perpetuada nas divisões subseqüentes desta célula. Esta mudança pode ocorrer em vários tipos de células. Por exemplo, a mudança pode ocorrer em uma célula do fígado; a nova célula com características genéticas diferentes poderia morrer porque não é capaz de sobreviver ou poderia eventualmente iniciar uma célula cancerígena. O evento mutagênico poderia ocorrer em uma célula de um espermatozoide ou um óvulo e ser perpetuado nas gerações humanas subseqüentes. A distinção importante através de uma mutação ou um teratogênio, que será discutido a seguir, é um efeito multigenético que terá reflexos em gerações sucessivas de uma célula.

Um teratogênio é um agente que provoca distúrbios no processo de desenvolvimento de um embrião, e provoca a formação de fetos defeituosos. Um efeito teratogênico ocorre em uma geração e não voltará a aparecer na geração subseqüente.

Quando produtos químicos são ingeridos ou incorporados pelo corpo, eles podem interagir e produzir efeitos que podem ser aditivos, independentes, sinérgicos, ou antagônicos. Efeitos aditivos são aqueles nos quais os efeitos individuais de dois produtos químicos são acumulativos. Efeitos independentes são efeitos causados por dois produtos químicos que não se interagem; por exemplo, um produto químico afeta o cérebro, e o outro o fígado, e não ocorre interação. Um efeito sinérgico ocorre se um produto químico se torna mais tóxico quando ingerido junto com outro produto químico. Um efeito antagônico ocorre quando um produto químico reduz o efeito tóxico de outro produto químico.



**Tabela I - Tempo de vida estimado com risco de morte para pessoas em Nova York por eventos selecionados.**

1 em um milhão	1 em cem mil	1 em dez mil
Difteria	Pedestre andando de bicicleta	Eletrificação
Polio aguda	Complicações com anestésias	Tomar acidentalmente algum medicamento
	Cataclismos	Cair de um edifício
Rubéola	Mordidas de animais venenosos	Cortar-se
Resfriado comum		Acidente por arma de fogo
Atropelamento por trem		
Acidente com avião		

Todas as rotas de exposição devem ser consideradas. Quando da avaliação de emissões de ar, a exposição por inalação de uma importância fundamental; mas outras rotas também existem. Exposição a produtos químicos ocorre não apenas através do ar que respiramos, mas através da comida que comemos, água que bebemos, e absorção pela pele.

Dois métodos têm sido usados para estabelecer os guias por exposições de produtos químicos. Estes métodos foram originalmente usados para estabelecer níveis de resíduos de pesticidas em alimentos. Um método calcula uma curva de dose-resposta usando dados de um bioensaio carcinogênico; o segundo método estabelece um nível de efeito não observado usando dados de testes toxicológicos. Outro método usado no estágio experimental usa relações de atividade estrutural para prognosticar toxicidade. Este método não é normalmente aceito para estabelecer guias mas é útil se alguém precisa prever efeitos tóxicos para compostos que não tenham sido testados adequadamente. Os fabricantes de medicamentos também usam este método para propor novos produtos químicos que são prognosticados para ter efeitos farmacológicos desejados e seguros.

No estabelecimento de guias, dois tipos de dados são avaliados: epidemiológicos e animais. Os dois tipos de dados têm desvantagens. A epidemiologia estuda exposições humanas a produtos químicos e determina seus efeitos. Todavia, os níveis de exposição não são normalmente bem conhecidos, e fatores confusos são difíceis de remover. Dados epidemiológicos são diagnosticados ao invés de preditivos. Se dados epidemiológicos positivos forem obtidos, o nível aproximado que um efeito ocorre é achado; quando estabelecendo as guias, um nível que não tem efeitos tóxicos deve ser conhecido. Um estudo epidemiológico negativo é de valor questionável até ter resultados de uma base populacional limitada etc; e alguém pode não assumir que um efeito não ocorreu, apenas que o efeito não foi observado. Dados de animais não podem ser extrapolados para humanos. Um rato ou camundongo não é necessariamente o mesmo que um homem. Qualquer extrapolação pode produzir guias que são de tamanho muito pequeno ou muito grande.



## Tabela II - Equações usadas em procedimentos de extrapolações carcinogênicas

---

Metodologia de um impacto	$P(d) = 1 - e^{-(a_0 + a_{id})}$
---------------------------	----------------------------------

Metodologia de multi-impacto	$P(d) = 1 - e^{-(a_0 + a_{id} + \dots + a_{nd})}$
------------------------------	---

---

Dois procedimentos de extrapolação carcinogênicas estão em uso comum hoje, e as formulas estão na Tabela II. P é a probabilidade de uma ocorrência (risco) para uma dada dose D, e a probabilidade é uma função do coeficiente A e a dose D. Os coeficientes A são determinados de um dado de entrada, um exemplo disto é dado na Tabela III. Em um típico bioensaio carcinogênico, três grupos de 50 animais são expostos a um produto químico e o número de animais que adquiriram tumores é determinado. O dado deverá ser examinado por uma relação dose-resposta; isto quer dizer, como a dose aumenta, o número de animais com tumor pode também aumentar.

Se uma relação dose-resposta não é observada a validade do carcinogênico achado pode ser questionado. A dose zero ou grupo de controle irá determinar A nas equações na Tabela II. Quando os dados do bioensaio são usados em um procedimento extrapolado, uma dose diária correspondente para um dado risco é calculada. Se um nível aceitável de risco é estabelecido, a dose calculada pode ser usada para estabelecer um guia.

O segundo procedimento que é normalmente usado para estabelecer guias determina um nível de efeito não observado. Alguns tipos de dados toxicológicos devem ser considerados para estabelecer este nível; por exemplo, estudos bioquímicos, estudos especiais (teratogênicos, mutagênicos, estudos de três gerações etc.), testes toxicológicos agudos, testes de curta duração (normalmente um estudo de 90 dias), teste de longa duração (geralmente um estudo de 2 anos com no mínimo 2 espécies), e observados em humanos. A maior parte das observações em humanos pode ser relacionada para uma dose específica. Entretanto, estas observações são muito valiosas no estabelecimento da validade de qualquer extrapolação de animais.

### Tabela III - Dados de um típico bioensaio carcinogênico

---

<i>Dose</i>	<i>Número de animais</i>	<i>Número de animais com tumor</i>
0	50	04
123 mg/kg	50	10
200 mf/kg	48	18

---



Dados usados para determinar um nível de não efeito são apresentados na Tabela IV. Grupos de ratos são expostos para 5 diferentes concentrações de um componente. Como a dose decresce, o rigor do efeito decresce. Em concentrações altas, todos animais morreram abaixo das duas concentrações menores, nenhum efeito foi observado. O maior nível sem efeito para esta experiência em particular deverá ser 1 mg/m<sup>3</sup>.

**Tabela IV - Determinação de um nível de não efeito em ratos**

Concentração mg/m <sup>3</sup>	Efeito
5000	Morte
1500	Vida com grande prejuízo
100	Vida prejudicada
1	Sem efeito
0,1	Sem efeito

O nível de não efeito em animais é usado para calcular uma dose diária para aquele animal (Tabela V). Neste caso, os ratos são assumidos para aspirar 0,2 m<sup>3</sup> /dia e para um caso de 0,4 kg. Esta dose é então dividida por um fator de incerteza para determinar uma entrada diária aceitável para humanos. O valor para o fator de incerteza usualmente varia de 10 para 1000. Se, neste caso particular, os únicos dados disponíveis são aqueles obtidos da experiência mostrada na Tabela IV, um fator de incerteza de 1000 deverá ser usado. Um fator de incerteza pode não ser equivalente ao fator de segurança usado em engenharia. O fator de incerteza reflete uma carência de conhecimento; o fator de segurança em engenharia é uma estimativa realista da fragilidade de uma certa estrutura.

Uma entrada diária aceitável para humanos é usada para calcular uma guia de ar ambiente. Um homem médio é assumido com peso de 70 kg e para respirar 15 m<sup>3</sup> de ar/dia. Um guia de qualidade do ar de 2 lg/m<sup>3</sup> é então obtida.

**Tabela V - Determinação de uma entrada diária aceitável (ADI)**

---


$$\text{Rato} \quad \frac{(1 \text{ mg/m}^3) (0,2 \text{ m}^3 / \text{dia})}{0,4 \text{ kg}} = 0,5 \text{ mg/kg/dia}$$

$$\text{ADI para Homem} \quad \frac{(0,5 \text{ mg/kg})}{1000^*} = 0,0005 \text{ mg/kg por dia}$$



$$\text{Concentração no ambiente} = \frac{(0,0005 \text{ mg/kg}) (70 \text{ kg})}{15 \text{ m}^3} = 0,0023 \text{ mg/m}^3$$

\* Fator de incerteza

---

Esta tem sido uma breve discussão de diferentes métodos que podem ser usados para estabelecer guias ambientais. Vários problemas são encontrados na configuração das guias de ar ambiente. Um é a falta de dados de inalação. A maioria dos dados toxicológica é para uma rota oral de exposição. Diferenças significativas na absorção entre os pulmões, trato gastrointestinal e metabolismo entre as duas rotas de entrada também pode existir. Por exemplo, os dados carcinogênicos para Tricloroetileno são para uma exposição oral; uma rota oral de exposição para tricloroetileno pode ser mais tóxica do que a inalação. Os efeitos do tricloroetileno são observados principalmente no fígado e desconfia-se que são causados por produtos metabólicos. Quando um composto é ingerido, ele é absorvido pelo trato gastrointestinal e faz a primeira volta de desintoxicação pelo fígado. Quando um composto é inalado somente uma fração da dose irá imediatamente para o fígado; o resto circulará por todo o corpo. Além do mais, parte do tricloroetileno é exalada inalterada. Conseqüentemente a porcentagem do composto sendo realmente metabolizado no fígado e a quantidade que alcança o fígado de uma só vez pode ser maior quando o tricloroetileno é ingerido ao invés de inalado, e os efeitos tóxicos poderiam ser igualmente maiores.

Se as guias ambientais são calculadas para o ar, o nível do ar deveria ser monitorado. Isto é muito difícil. Os procedimentos de monitoramento ambiental não foram desenvolvidos para a maioria dos compostos, e o monitoramento de emissão de efluentes pode ser igualmente difícil de se obter.

Outra questão diz respeito ao tempo médio de amostragem. Quando as guias ambientais são calculadas pelos dados toxicológicos, os toxicologistas normalmente não se preocupam com os tempos médios para medicação analítica. Os tempos médios de amostragem deveriam depender provavelmente dos efeitos para serem prevenidos. Se a guia é baseada em um efeito tóxico agudo, o tempo médio deveria ser pequeno, não mais de 24 horas, desde que o efeito agudo poderia ocorrer se a guia é excedida. Se alguém estabelecer uma guia baseada em um longo prazo, efeito tóxico crônico, variações diárias podem ser toleráveis. Neste caso, uma concentração anual média pode ser comprada com guia.

Historicamente, emissões de ar têm sido controladas determinando-se qual prática de engenharia deveria ser usada, como exemplo "MTCD" (melhor tecnologia de controle disponível). Se MTCD é usado, os níveis da qualidade da substância sendo emitida ainda pode ser inaceitavelmente alta. Esta técnica normalmente reduz as emissões de efluentes totais em uma certa porcentagem. Se grandes quantidades de um material extremamente tóxico é introduzida em uma chaminé e reduzida em 99,9%, o nível de qualidade do ar



resultante ainda pode ser perigosa. Além do mais, quando somente um grau de controle é exigido, a possibilidade de substâncias tóxicas se formarem pelo processo de incineração não é considerada. Outros compostos poderiam possivelmente ser formados que não são controlados adequadamente. Talvez o método mais racional para emissões de ar é exigir tanto um grau de controle de engenharia como MTCD, e avaliar as emissões de ar ambientes resultantes.



## Referências:

1. Drinking Water and Health, Safe Drinking Water Committee of the Nacional Research Council, Nacional Academy of Sciences, Washington, D.C. 1977.
2. "Food producing animals." Food and Drug Administration, Federal Register, 42 (35): 10412-10437 (22.02.77)
3. C.E. Lawrence and A. S. Paulson, "Cigarette Smoke: A Virtually Safe Dose," Submitted to Science.

