

## Apêndice E: Cálculo de Doses de Exposição

As diretrizes ambientais (por exemplo, as guias de avaliação de meios [*environmental media evaluation guides* - EMEGs], os guias de doses de referência para avaliação de meios [*reference dose media evaluation guides* - RMEGs] e os guias de avaliação do risco de câncer [*cancer risk evaluation guides* - CREGs), por exemplo], apresentadas no Apêndice D, proporcionam um método de seleção dos contaminantes que precisam ser avaliados suplementarmente quanto a seu potencial de impacto sobre a saúde pública. Ao aplicar a análise de *screening*, o avaliador realiza uma comparação direta das concentrações da substância detectadas em um local frente às diretrizes ambientais, conforme descrito no Capítulo 7 deste manual.

Entretanto, as diretrizes ambientais são obtidas usando-se pressupostos de exposição *default* e podem não representar as condições específicas do local. A fim de realizar um *screening* usando informações específicas do local, o avaliador estima as doses e compara essas doses frente às diretrizes sanitárias adequadas (níveis mínimos de risco [MRLs] e doses de referência [RfDs], por exemplo). Este apêndice descreve em detalhes as equações e os métodos utilizados na estimativa de doses e na comparação frente a diretrizes de saúde, conforme discutido no Capítulo 7. Os parâmetros de exposição *default* (taxas de exposição e durações, por exemplo) são apresentados para fins ilustrativos. Entretanto, dependendo das condições de exposição específicas do local, poderão ser selecionados parâmetros alternativos a fim de refletir as estimativas de exposição de modo mais realista.

Este apêndice trata do cálculo de doses para exposição a substâncias químicas, não a radiação ou a radionuclídeos. Muitos fatores complexos devem ser considerados quando são estimadas as doses de radiação. O avaliador deve, portanto, consultar um físico especializado em saúde quando problemas de radiação ou radionuclídeos forem objetos de preocupação em um local.

A equação<sup>1</sup> genérica no Quadro 1 abaixo é usada para estimar a dose de exposição decorrente de contato com o meio contaminado:

Quadro 1. Equação Genérica da Dose de Exposição	
$ED = \frac{C \times IR \times AF \times EF}{BW}$	Onde: ED = dose de exposição C = concentração do contaminante TR = taxa de absorção do meio contaminado AF = fator de biodisponibilidade EF = fator de exposição BW = peso corporal.

Em muitos casos, o fator de exposição (EF) será igual a 1 – o que representa a exposição diária ao contaminante. Entretanto, é possível que ocorra alguma exposição de caráter intermitente ou irregular. Para estes tipos de exposição, um EF

<sup>1</sup> O fator de biodisponibilidade representa, em termos percentuais, a quantidade total de uma substância ingerida, inalada ou contactada que efetivamente entra na corrente sanguínea e está disponível para causar dano à saúde da pessoa. Tipicamente, pressupõe-se que o fator de biodisponibilidade seja 1 (100%) para fins de *screening* – toda a substância à qual a pessoa for exposta estará disponível para causar-lhe um efeito nocivo. O fator de biodisponibilidade poderá ser revisitado se o avaliador realizar uma análise mais minuciosa das exposições e da toxicologia da substância, conforme descrito no Capítulo 8.

pode ser calculado de modo a ser a média da dose ao longo do intervalo de exposição. O EF é calculado multiplicando-se a frequência da exposição pela duração da exposição (DE) e dividindo o período de tempo durante o qual a dose deve ser calculada como média (Quadro 2).

Quadro 2. Equação do Fator de Exposição	
$EF = \frac{F \times ED}{T}$	Onde: F = frequência de exposição ED = duração da exposição T = tempo de exposição

Por exemplo, se uma criança entra em contato com solo contaminado duas vezes por semana, durante um período de 5 anos, o fator de exposição seria:

$$EF = (F \times ED) / T$$

$$EF = ([2 \text{ dias/semana} \times 52 \text{ semanas/ano}] \times 5 \text{ anos}) / (5 \text{ anos} \times 365 \text{ dias/ano})$$

$$EF = 0,28$$

O uso de um fator de exposição no cálculo gera uma dose média durante o período de exposição. Quando ocorrem exposições diárias, o período de tempo usado para a duração da exposição (DE) no numerador será o mesmo que o tempo de exposição (T) usado no denominador. Entretanto, uma vez que alguns efeitos para a saúde podem não depender da dose média, mas sim da dose máxima ou de alguma outra medida da taxa da dose, o período de tempo no denominador poderá mudar. Se estiver sendo calculada a exposição para um carcinógeno, por exemplo, o período de tempo durante o qual a dose for calculada como média pode ser toda uma vida (em vez de 5 anos, o valor de 70 anos seria usado no denominador).

#### Valores Default Padrão

##### Peso Corporal (PC):

70 kg - adulto, média aproximada

16 kg - crianças de 1 a 6 anos de idade, 50º percentil

10 kg - recém-nascido (6 a 11 meses), média aproximada

##### Duração da Exposição (DE):

70 anos - a vida inteira, por convenção

30 anos - limite superior do tempo (90º percentil) em uma residência para o país

9 anos - tempo mediano (50º percentil) em uma residência para o país

6 anos - crianças de 1 a 6 anos de idade

Obs: kg - kilograma

As condições de exposição específicas do local determinarão quais valores o avaliador deve usar na equação de cálculo da dose de exposição. O Manual de Fatores de Exposição (*Exposure Factors Handbook*) de 1997 da Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos EUA é uma boa fonte para a identificação de faixas e percentis referentes a várias informações de exposição que podem ser relevantes para o local que se avalia. O mais importante no cálculo da dose de exposição mais precisa é identificar valores que se relacionam especificamente com a situação de exposição que está sendo avaliada. Na ausência de informações específicas sobre o local, podem ser aplicados vários pressupostos de exposição conservadores.

Alguns valores *default* padrão que podem ser úteis na estimativa para se estimarem exposições constam da caixa de texto acima<sup>2</sup>. O avaliador deve ter presente que, se a concentração de uma substância química exceder um valor EMEG, RMEG, CREG, uma dose calculada usando-se os valores *default* padrão também excederá o MRL, a RfD, ou o nível de risco alvo.

A discussão a seguir proporciona uma visão geral da avaliação quantitativa da exposição humana mediante as seguintes vias: ingestão de água, contato dérmico e inalação (Seção 1); ingestão de solo, contato dérmico e inalação de poeira (Seção 2); inalação de ar e contato dérmico (Seção 3); e ingestão de alimentos (Seção 4).

## 1- ÁGUA POTÁVEL (ÁGUA SUBTERRÂNEA E ÁGUA DE SUPERFÍCIE)

A ingestão de água contaminada muitas vezes é a fonte de exposição a substâncias perigosas mais significativa em um local. Entretanto, há vários estudos que indicam que quando determinadas substâncias químicas, tais como compostos orgânicos voláteis (VOCs), estão presentes na água, as exposições por inalação e por contato dérmico podem contribuir significativamente para a dose de exposição total. A grandeza destas exposições varia dependendo da frequência dos banhos, do tempo que a pessoa passa no ambiente interno, das taxas de troca de ar no banheiro e na casa, entre outros fatores. Embora raramente exista uma estimativa precisa das exposições por estas vias de não-ingestão, é possível estimar que as exposições por não-ingestão poderiam gerar uma dose de contaminante comparável à dose de ingestão.

*Estudos experimentais evidenciaram que a dose interna de clorofórmio resultante do banho (inalação mais contato dérmico) foi comparável à dose de exposição resultante do consumo da água (Jo et al. 1990).*

### 1.1 Ingestão

Ingestão de água contaminada é uma das vias de exposição mais significativas. Para estimar a exposição a um contaminante a partir da ingestão de água potável, é preferível analisar as concentrações do contaminante em amostras de água de torneira de domicílios individuais. Os dados coletados de poços particulares ou de poços municipais também poderão ser usados. Na ausência de dados de fontes de abastecimento de água potável, o avaliador poderá considerar a possibilidade de utilizar dados de poços de monitoramento a fim de estimar os limites superiores das exposições a contaminantes.

Informações específicas sobre o local, tais como o clima em que a exposição está ocorrendo, permitirão ao avaliador calcular uma dose de exposição mais precisa para a situação específica que está sendo avaliada. Se estiverem sendo calculadas doses de exposição, por exemplo, para uma pessoa em um clima mais tropical, as taxas de ingestão possivelmente precisarão ser maiores, uma vez que as pessoas que vivem em climas mais quentes tendem a beber mais água do que o valor *default* padrão muitas vezes utilizado. Além disso, é preciso ter presente que a taxa de ingestão *default* padrão de 2 L/dia representa a ingestão de fluidos de todas as fontes. Assim sendo, pressupor a taxa de ingestão *default* padrão sugere que todos os líquidos são provenientes de uma única fonte de água potável.

<sup>2</sup> Os valores *default* padrão apresentados na caixa de texto são pressupostos de exposição que a ATSDR usa quando calcula valores de comparação. De acordo com o Manual de Fatores de Exposição da EPA (1997), o peso corporal adulto médio é 71,8 kilogramas (kg), o peso corporal médio de um recém-nascido (6-11 meses) é 9,1 kg, e o 90º percentil do tempo que uma pessoa mora em uma residência é 33 anos.

O Quadro 3 ilustra como podem ser estimadas doses de exposição por meio da água potável e apresenta valores *default* padrão que podem ser utilizados na ausência de informações específicas sobre o local.

Quadro 3. Equação da Dose de Exposição por Ingestão de Água	
$ED = \frac{C \times IR \times EF}{BW}$	Onde: ED = dose de exposição (mg/kg-dia) C = concentração do contaminante (mg/L) IR = taxa de ingestão de água contaminada (L/dia) EF = fator de exposição (não-unitário) BW = peso corporal (kg)

### Taxas<sup>3</sup> Default de Ingestão de Água Potável

2 L/dia - adulto

1 L/dia - criança

Obs: L/dia - litros por dia

Considere-se, por exemplo, a exposição humana a uma fonte de abastecimento de água contaminada com 35 miligramas por litro (mg/L) de cloreto de metileno. Para calcular a dose de exposição para um adulto usando esses valores, o avaliador deve pressupor um peso corporal de 70 quilogramas (kg), uma taxa de ingestão de água de 2 litros por dia (L/dia) e a exposição diária:

$$ED = (C \times IR \times EF) / BW$$

$$ED = (35 \text{ mg/L} \times 2 \text{ L/dia} \times 1) / 70 \text{ kg}$$

ED = 1 miligrama de substância química por quilograma de peso corporal por dia (mg/kg/dia)

Para crianças, o avaliador deve pressupor um peso médio de 10 kg, uma taxa de ingestão de água de 1 L/dia e a exposição diária:

$$ED = (C \times IR \times EF) / BW$$

$$ED = (35 \text{ mg/L} \times 1 \text{ L/dia} \times 1) / 10 \text{ kg}$$

$$ED = 4 \text{ mg/kg-dia}$$

## 1.2 Contato Dérmico

A absorção dérmica de contaminantes presentes na água ocorre durante o banho ou a natação e pode ser uma rota de exposição significativa, dependendo das características específicas da substância. A exposição de trabalhadores por esta via dependerá do tipo de trabalho realizado, do vestuário de proteção usado e da extensão e duração do contato aquático. A permeabilidade da água a uma substância química é influenciada pelas propriedades físico-químicas da substância, inclusive

<sup>3</sup> Os valores *default* são pressupostos de exposição que a ATSDR utiliza ao calcular valores de comparação para água potável. De acordo com o Manual de Fatores de Exposição da EPA (EPA 1997), as taxas de ingestão de água para adultos e crianças (1-10 anos) são, em média, 1,4 L/dia e 0,74 L/dia, respectivamente. As taxas de ingestão de água potável ao 90º percentil para um adulto e uma criança são 2,3 L/dia e 1,3 L/dia, respectivamente.

seu peso molecular (tamanho e forma), sua carga eletrostática, hidrofobicidade e solubilidade em meios aquosos e lipídicos. Em geral, as substâncias químicas que demonstram alta permeabilidade dérmica são de baixo peso molecular, não ionizadas e lipossolúveis.

Devem ser utilizados coeficientes de permeabilidade específicos da substância química para se estimar a absorção dérmica de uma substância química a partir da água. Os valores referentes aos coeficientes de permeabilidade dérmica podem variar em uma ampla faixa, dependendo da substância química. A Parte E da Orientação para Avaliação de Risco do Superfundo (*Risk Assessment Guidance for Superfund*), Orientação Suplementar para Avaliação de Risco Dérmico (*Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment*) de 2001 da EPA apresenta os coeficientes de permeabilidade dérmica disponíveis para algumas substâncias químicas. Quando se conhece o coeficiente de permeabilidade de uma substância química, é possível estimar a absorção dérmica de uma substância química a partir da água.

Antes de usar um coeficiente de permeabilidade dérmica, deve ser verificada a referência original, de modo a confirmar a aplicabilidade do estudo experimental. Por exemplo, coeficientes de permeabilidade dérmica obtida de estudos animais podem não ser aplicável para fins de avaliação humana devido a diferenças substanciais em sua permeabilidade dérmica. Em alguns estudos, os coeficientes de permeabilidade foram determinados usando os chamados *neat liquids* (líquidos que não foram misturados ou diluídos) ou soluções aquosas concentradas – sabe-se que a exposição da pele a elevadas concentrações de solventes orgânicos pode danificar a pele, o que, por sua vez, pode alterar profundamente a permeabilidade da pele.

Dois outros fatores a se considerar quando são calculadas as doses de exposição por contato dérmico são a frequência e a duração da exposição. Ao calcular as doses de exposição por contato com águas de superfície, o avaliador deve considerar fatores geográficos, tais como proximidade ou disponibilidade de água de superfície para recreação, fatores sazonais e idade.

Quadro 4. Equação de Cálculo da Dose de Exposição por Contato Dérmico de Água	
$ED = \frac{C \times P \times SA \times ET \times CF}{BW}$	Onde: ED = dose de exposição (mg/kg-dia) C = concentração do contaminante (mg/L) P = coeficiente de permeabilidade (cm/hr) SA = Área de superfície do corpo exposta (cm <sup>2</sup> ) ET = tempo de exposição (horas/dia) CF = fator de conversão (1 L/1,000 cm <sup>3</sup> ) BW = Peso corporal (kg) 1,3 Inalação

O Quadro 4 ilustra como podem ser estimadas doses de exposição por contato dérmico com água e apresenta valores *default* de exposição dérmica que podem ser utilizados nos casos em que todo o corpo é exposto. É preciso ter presente que, quando somente partes do corpo são expostas, devem ser usadas às respectivas áreas de superfície dessas partes específicas do corpo. O Manual de Fatores de Exposição (*Exposure Factors Handbook*) da EPA, de 1997, é uma boa fonte de informações adicionais sobre áreas de superfície de partes do corpo.

**Valores Default de Exposição Dérmica**

Área total de superfície do corpo ao 50º percentil (centímetros quadrados [cm <sup>2</sup> ])		
Idade (anos)	Masculino	Feminino
3 < 6	7.280	7.110
6 < 9	9.310	9.190
9 < 12	11.600	11.600
12 < 15	14.900	14.800
15 < 18	17.500	16.000
18 - 70	19.400	16.900

Fonte: EPA 1997

### 1.3 Inalação

Como avaliador de saúde, é preciso reconhecer, igualmente, o potencial de inalação de Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs) que escapam da água usada no ambiente doméstico. Estudos experimentais evidenciaram que estes compostos são eficientemente transferidos da água para o ar, principalmente por chuveiros nos quais a água é aquecida e existe uma grande interface água-ar.

*Em alguns experimentos modelos com chuveiros, cerca de 40-60% do TCE presente na água foi volatilizado para o ar, dependendo da temperatura da água e de outros fatores (Andelman 1985).*

Os compostos orgânicos voláteis liberados para o ar podem se equilibrar com o ar do banheiro e, posteriormente, com o resto da casa. Técnicas de modelagem têm sido utilizadas para calcular a concentração de compostos orgânicos voláteis no ar em várias partes da casa em decorrência da liberação destes compostos durante o uso de água no ambiente doméstico interno. Estes dados, em combinação com perfis de tempo-atividade dos moradores, foram utilizados para estimar as exposições a compostos orgânicos voláteis presentes no ar em ambientes internos. Os modelos prevêem que a exposição esperada em decorrência da inalação de compostos orgânicos voláteis tem o potencial de ser muito maior do que a exposição por ingestão (Andelman 1985). Os modelos de exposição domiciliar estimam que a absorção de compostos orgânicos voláteis por inalação domiciliar pode ser 1 a 6 vezes maior do que a absorção por ingestão para (McKone 1989). Os compostos orgânicos voláteis, depois de inalados, podem ser absorvidos pelo epitélio respiratório e transportados pelo corpo pela circulação sanguínea sistêmica. A absorção respiratória de compostos orgânicos voláteis é influenciada pela concentração no ar, pela taxa de respiração e pela duração da exposição.

*Para o clorofórmio, o risco estimado decorrente de um banho de 10 minutos foi semelhante ao risco associado ao consumo de água da torneira (Jo et al. 1990).*

Depois de estimadas as concentrações de compostos orgânicos voláteis no ar domiciliar interno liberados a partir da água, é possível usar a Equação de Cálculo da Dose de Exposição por Inalação de Ar (Quadro 7) que consta da Seção 3.1 para calcular as doses de exposição.

## 2- SOLO (SOLO DE SUPERFÍCIE E SEDIMENTO)

### 2.1 Ingestão

A ingestão de solo pode ocorrer pelo consumo inadvertido de solo presente nas mãos ou em alimentos, pelo contato bucal com objetos, pela ingestão de quantidades atipicamente elevadas de solo (i.e., anomalia do apetite conhecida como pica de solo)<sup>4</sup> ou pela ingestão intencional de terra como parte de certas práticas culturais (i.e., geofagia). Todas as crianças têm contato bucal ou ingerem produtos não-alimentícios em maior ou menor medida.

Tanto o uso quanto a acessibilidade ao local e às áreas vizinhas devem ser considerados quando se avaliam as vias de exposição ao solo do local. Os locais que têm prédios abandonados ou instalações abandonadas, água parada ou cursos d'água podem atrair crianças e as exposições podem ocorrer em locais próximos de áreas de lazer ou pátios de escola, apesar de cercas e outras medidas destinadas a restringir o acesso. Os trabalhadores de estabelecimentos comerciais ou industriais podem ingerir solo contaminado a taxas que podem variar dependendo do tipo de emprego.

*O comportamento anômalo de apetite por terra, ou pica De solo, é a ingestão recorrente de quantidades de terra incomumente altas (i.e., 1.000- 5.000 mg/dia) (ATSDR 2001).*

Tanto áreas residenciais quanto áreas de recreação apresentam a probabilidade de proporcionar acesso que resulte em uma exposição. Solo contaminado pode ser introduzido nas casas pelos pés dos familiares e pelas patas de animais domésticos. Particulados de solo suspensos no ar externo também podem entrar em uma casa pela troca de ar interno-externo. Uma criança em tenra idade que brinca no piso da casa terá a oportunidade máxima de ingestão e de exposição dérmica a solo e poeira acumulados no piso.

**Quadro 5. Equação da Dose de Exposição por Ingestão de Solo**

$ED = \frac{C \times IR \times EF \times CF}{BW}$	<p>Onde:</p> <p>ED = dose de exposição (mg/kg-dia)</p> <p>C = concentração do contaminante (mg/kg)</p> <p>IR = taxa de ingestão do solo contaminado (mg/dia)</p> <p>EF = fator de exposição (não-unitário)</p> <p>CF = fator de conversão (10<sup>-6</sup>)</p> <p>BW = peso corporal (kg)</p>
---	--

O Quadro 5 ilustra como as doses de exposição via ingestão de solo podem ser estimadas e apresenta algumas taxas *default* de ingestão de solo para várias faixas etárias.

<sup>4</sup> O grau do comportamento de anomalia do apetite por terra (pica) varia amplamente na população e é influenciado pelo estado nutricional e pela qualidade de atendimento e de supervisão. Entre os grupos em risco de apresentarem comportamento de apetite anômalo desta natureza incluem-se crianças de 6 anos de idade e menos e pessoas com retardo de desenvolvimento. A ATSDR geralmente utiliza uma taxa de ingestão de 5.000 mg/kg quando avalia exposições decorrentes de pica. Acredita-se que este valor representa uma estimativa conservadora com base nos estudos disponíveis (ATSDR 2001).

<b>Taxas Default de Ingestão de Solo</b>
--

100 mg/dia - Adulto, taxa média de ingestão de solo
---

200 mg/dia - Criança, taxa média de ingestão de solo
--

5.000 mg/dia - Criança com anomalia do apetite por terra - pica -
---

Obs: mg/dia - miligramas por dia
----------------------------------

Considere-se, a título de exemplo, a ingestão, por um adulto, de solo com uma contaminação de contaminante não carcinogênico de 100 miligramas por quilograma (mg/kg) e uma taxa diária de ingestão de solo de 100 miligramas por dia (mg/dia). Pressupor que a pessoa fica no local 5 dias por semana, 50 semanas por ano, durante 30 anos. Calcular, primeiro, o fator de exposição:

$$EF = (F \times ED) / T$$

$$EF = ([5 \text{ dias/semana} \times 50 \text{ semanas/ano}] \times 30 \text{ anos}) / (30 \text{ anos} \times 365 \text{ dias/ano})$$

$$EF = 0,68$$

Em seguida, calcular a dose de exposição:

$$ED = (C \times IR \times EF \times CF) / BW$$

$$ED = (100 \text{ mg/kg} \times 100 \text{ mg/dia} \times 0,68 \times 10^{-6}) / 70 \text{ kg}$$

$$ED = 9,71 \times 10^{-5} \text{ mg/kg-dia}$$

## 2.2 Contato Dérmico

Como avaliador de saúde, é preciso reconhecer o potencial de exposição por absorção dérmica de substâncias químicas provenientes de solo contaminado<sup>5</sup>. A absorção dérmica de contaminantes do solo ou de poeira depende da área de contato, da duração do contato, da substância química e da atração física entre o contaminante e o solo, bem como da capacidade do contaminante de penetrar na pele. Fatores específicos da substância química, como lipofilicidade, polaridade, volatilidade, peso molecular e solubilidade também afetam a absorção dérmica<sup>6</sup>.

Muitas substâncias químicas orgânicas ligam-se à matéria orgânica do solo e, portanto, não estão prontamente disponíveis para absorção pela pele. Além disso, somente a fração do contaminante que entra em contato direto com a pele é passível de absorção. Portanto, a capacidade de um contaminante do solo ser absorvido dermicamente depende da difusão do contaminante pela matriz do solo.

Um fator específico do solo envolvido na absorção dérmica é a aderência. Existem muitas incertezas relativas ao cálculo da quantidade de solo que adere à pele, o que torna difícil a recomendação de um valor *default* de referência. A aderência depende

<sup>5</sup> O contato dérmico direto com contaminantes presentes no solo pode provocar reações de sensibilização dérmica a partir da reatividade química ou sensibilidade alérgica. Estes tipos de reação de sensibilidade decorrem do contato cutâneo direto com a substância química sensibilizadora e não dependem da absorção dérmica do contaminante. Existe ampla variabilidade intraindividual nas reações de sensibilização dérmica. Este tipo de reação de sensibilização, portanto, não é considerado nos valores de comparação para solo ou outros meios.

<sup>6</sup> Além dos múltiplos fatores que é preciso considerar ao avaliar a extensão da absorção dérmica, os avaliadores de saúde devem, igualmente, reconhecer as limitações da aplicação de dados toxicológicos dérmicos a cenários específicos do local. Embora tenha valor informativo para o processo, boa parte dos dados fundamenta-se em estudos animais, com aplicações repetidas de doses relativamente altas da substância pura diretamente sobre a pele do animal de teste. Estas informações precisam ser contextualizadas de modo a refletir as exposições específicas do local. Os dados podem não ser diretamente aplicáveis a curtos períodos de contato humano com o solo, por exemplo.



das propriedades do solo, da parte do corpo exposto ao solo e do tipo de atividade que está sendo desempenhada durante o contato com o solo (EPA 2001). As condições específicas do local e da exposição, portanto, devem ser consideradas, sempre que possível. Os valores *default* de aderência do solo recomendados para adultos e crianças (1-6anos de idade) são 0,07 mg/cm<sup>2</sup> e 0,2 mg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

**Aderência é a quantidade, expressa em miligramas por centímetro quadrado (mg/cm<sup>2</sup>), de solo que adere à pele.**

Outro fator a se considerar quando do cálculo das doses de exposição por contato dérmico é a frequência e a duração da exposição. Diferentes pressupostos de frequência e duração da exposição são atribuídos a crianças mais novas (2,5 anos), crianças mais velhas, e adultos. Acredita-se que as crianças mais novas teriam uma maior frequência de exposição porque tendem a reter solo em sua pele após entrar no ambiente interno da casa. Os adultos Teriam uma menor frequência de exposição porque tendem a ter menos tempo para estar exposto ao solo externo (Hawley 1985).

O Quadro 6 ilustra como podem ser estimadas as doses de exposição por contato e absorção dérmica de solo e apresenta valores *default* de exposição dérmica.

Quadro 6. Equação da Dose de Exposição por Contato Dérmico com Solo	
$ED = \frac{C \times A \times AF \times EF \times CF}{BW}$	<p>Onde:</p> <p>ED = dose de exposição (mg/kg-dia)                      C = concentração do contaminante (mg/kg)                      A = total de solo aderido (mg)                      AF = fator de biodisponibilidade (não-unitário)                      EF = fator de exposição (não unitário)                      CF = fator de conversão (10<sup>-6</sup>)                      BW = peso corporal (kg)</p>

**Valores Default de Exposição Dérmica**

Idade (anos)	Peso Corporal (kg)	Superfície Total (cm <sup>2</sup> )	Área Exposta (%)	Área Exposta (cm <sup>2</sup> )	Total de Solo Aderido (mg)
0-1	10	3.500	30	1.050	210
1-11	30	8.750	30	2.625	525
12-17	50	15.235	28	4.266	299
18-70	70	19.400	24	4.656	326

Fonte: EPA 2001; EPA 1997

O total de solo aderido (A) é estimado multiplicando-se a área exposta pela concentração de aderência do solo de 0,07 mg/cm<sup>2</sup> para adultos e 0,2 mg/cm<sup>2</sup> para crianças.

Considere-se, por exemplo, a dose média de exposição diária estimada para uma criança que tenha sido exposta a um contaminante presente no solo a uma concentração de 100 mg/kg todos os dias desde o nascimento até a idade de 11 anos. Pressuponha-se que a área média de superfície cutânea exposta durante este período é de 30% e a biodisponibilidade do contaminante é 0,1. Calcular, primeiro, o fator de exposição:

Calcular, primeiro, o fator de exposição para idade 0-1:

$$EF = (F \times ED) / T$$

$$EF = (365 \text{ dias/ano} \times 1 \text{ ano}) / (11 \text{ anos} \times 365 \text{ dias/ano})$$

$$EF = 0,09$$

Em seguida, calcular o fator de exposição para idade 1-11:

$$EF = (F \times ED) / T$$

$$EF = (365 \text{ dias/ano} \times 10 \text{ anos}) / (11 \text{ anos} \times 365 \text{ dias/ano})$$

$$EF = 0,91$$

Calcular, então, a dose de exposição:

$$ED = [\text{exposição para idade 0-1}] + [\text{exposição para idade 1-11}]$$

$$ED = [(C \times A \times AF \times EF \times CF) / BW] + [(C \times A \times AF \times EF \times CF) / BW]$$

$$ED = [(100 \text{ mg/kg} \times 210 \text{ mg} \times 0,1 \times 0,09 \times 10^{-6}) / 10 \text{ kg}] + [(100 \text{ mg/kg} \times 525 \text{ mg} \times 0,1 \times 0,91 \times 10^{-6}) / 30 \text{ kg}]$$

$$ED = (0,00002 \text{ mg/kg-dia}) + (0,00016 \text{ mg/kg-dia})$$

$$ED = 0,00018 \text{ mg/kg-dia}$$

### 2.3 Poeira

Como avaliador de saúde, também é preciso considerar a inalação de poeira de solos contaminados. Tanto em crianças quanto em adultos, a dose de um contaminante do solo resultante da ingestão oral provavelmente excederá a dose resultante da inalação de poeira (Hawley 1985). Entretanto, no caso de poeiras contaminadas, as substâncias químicas que têm efeitos tóxicos específicos sobre o sistema trato respiratório (cromo e câncer de pulmão, p. ex.) podem exigir atenção especial. Quando existe uma preocupação em particular com um contaminante presente na poeira, a Equação da Dose de Exposição por Inalação de Ar (Quadro 7) que consta da Seção 3.1 pode ser usada para calcular as doses de exposição.

## 3- AR

### 3.1 Inalação

A inalação é uma importante via de exposição humana a contaminantes que existem como gases atmosféricos ou são adsorvidos para partículas ou fibras transportadas pelo ar. A exposição, por inalação, a contaminantes de locais que contêm resíduos perigosos pode ocorrer como resultado de uma liberação direta de gases e partículas a partir de uma instalação *in loco*, da volatilização de gases de solos ou corpos d'água contaminados, ou da resuspensão de poeira e partículas de superfícies de solo contaminadas. Quando se avalia a exposição a gases atmosféricos, geralmente não é necessário o cálculo de uma dose. As doses que constam da literatura toxicológica são relatadas como concentrações que podem ser diretamente comparadas às concentrações medidas em um local. O cálculo de uma dose pode ser necessário quando se considera a exposição a contaminantes aderidos à poeira e inalados.

O Quadro 7 ilustra como podem ser estimadas doses de exposição por inalação e apresenta taxas *default* de inalação de ar. O nível de atividade, a condição física, o

sexo e a idade da pessoa exposta são alguns dos fatores que influenciarão a taxa de inalação de ar.

**Quadro 7. Equação da Dose de Exposição por Inalação de Ar**

$ED = \frac{C \times IR \times EF}{BW}$	Onde: ED = dose de exposição (mg/kg-dia) C = concentração do contaminante (mg/m <sup>3</sup> ) IR = taxa de inalação (m <sup>3</sup> /dia) EF = fator de exposição (não-unitário) BW = peso corporal (kg)
---	--

**Taxas Default de Inalação de Ar**

(média aproximada)
4,5 m3/dia - recém-nascido, menos de 1 ano
10 m3/dia - criança, 6-8 anos
12 m3/dia - menina, 12-14 anos
15 m3/dia - menino, 12-14 anos
11,3 m3/dia - mulher 19-65+ anos
15,2 m3/dia - homem 19-65+ anos

Fonte: EPA 1997

**3.2 Contato Dérmico**

A exposição dérmica a certos contaminantes presentes no ar poderia resultar na absorção do contaminante por meio da pele. Entretanto, provavelmente não haverá dados disponíveis para se estimar quantitativamente as exposições por esta via. No entanto, o avaliador deve reconhecer o potencial de exposição da via para contaminantes presentes no ar que podem ser prontamente absorvidos por meio da pele.

**4 CADEIA ALIMENTAR (BIOTA)**

**4.1 Ingestão**

A avaliação do risco à saúde humana decorrente da ingestão de alimentos contaminados exige informação sobre as quantidades de alimentos contaminados consumidos e a extensão da contaminação presente nos gêneros alimentícios. O método mais confiável de avaliação do alcance da exposição humana a contaminantes presentes em alimentos é a medição direta das concentrações nos alimentos. Estas medições devem ser realizadas em alimentos preparados para o consumo ou em porções de plantas e animais contaminados que sejam representativas das porções usadas como alimento.

Se a cadeia alimentar puder ser uma via de exposição humana significativa e em não havendo informações adequadas sobre os níveis do contaminantes, esta lacuna de informação deve ser explicitamente identificada na avaliação de saúde pública; deve-se, igualmente, emitir uma recomendação no sentido de que sejam obtidas as informações relevantes. Ao fazer esta recomendação, o avaliador deve considerar as substâncias encontradas no local e entender as tendências de bioacumulação das

substâncias em animais ou plantas, de modo que seja possível recomendar a estratégia mais adequada para obtenção das informações necessárias.

O cálculo estimativo da dose de exposição pelas cadeias alimentares exige conhecimento da taxa de consumo dos alimentos específicos na dieta humana. O Manual de Fatores de Exposição da EPA (1997) informa taxas de ingestão para uma série de alimentos. O avaliador deve estar ciente de que as taxas de consumo da população na área circunvizinha a um local de resíduos perigosos podem diferir consideravelmente das taxas de consumo médias nacionais. Por exemplo, as taxas de consumo regional de carne bovina podem variar amplamente em relação às médias nacionais. As taxas de consumo de sub populações na área contaminada também podem variar significativamente em relação às médias nacionais. Pessoas tais como indígenas de origem americana ou nativa do Alasca, por exemplo, que subsistem de peixe de uma fonte primária, provavelmente terão uma taxa de consumo mais elevada. Quando existe informação disponível sobre os padrões de consumo locais e estes diferem das médias nacionais, os padrões de consumo locais devem ser usados nos cálculos para determinação das doses de exposição.

Na maioria das vezes, o avaliador de saúde estará preocupado com exposições decorrentes do consumo de peixe que tenham bioacumulado uma substância encontrada na água de superfície ou em um sedimento. Tipicamente, o avaliador pressuporá que todos os peixes consumidos foram pescados de um corpo d'água contaminado. O Quadro 8 ilustra como podem ser estimadas as doses de exposição por ingestão de peixe. Entretanto, se a população exposta estiver consumindo peixe de várias fontes, deve-se usar a equação apresentada no Quadro 9.

Como estimativa conservadora, o exemplo a seguir não considera a redução do contaminante devido ao cozimento. A prática de cozer o peixe antes do consumo humano pode reduzir os níveis de algumas substâncias. O avaliador pode examinar a literatura científica a fim de identificar como o cozimento pode afetar a substância que está sendo avaliada. Por exemplo, estudos demonstraram uma redução de 20-70% de algumas substâncias lipofílicas (PCBs, p. ex.) em peixes em decorrência do cozimento (Sherer e Price 1993; Wilson et al. 1998).

Quadro 8. Equação da Dose de Exposição por Ingestão de Peixe	
$ED = \frac{C \times IR \times AF \times EF \times CF}{BW}$	Onde: ED = dose de exposição (mg/kg-dia) C = concentração do contaminante (mg/kg) IR = taxa de ingestão do meio contaminado (mg/dia) EF = fator de exposição (não-unitário) CF = fator de conversão (10 <sup>-6</sup> ) BW = peso corporal (kg)

**Taxas de Ingestão de Peixe**

20.100 mg/dia - população geral (todos os peixes) média nacional
25.000 mg/dia - praticantes da pesca recreativa (peixes de água doce), 95º percentil em escala nacional
26.000 mg/dia - praticantes da pesca recreativa (peixes marinhos) 95º percentil para a região do Golfo
170.000 mg/dia - pescadores de subsistência (todos os peixes), 95º percentil em escala

nacional

Fonte: EPA 1997

Considere-se, por exemplo, um adulto que pratica pesca recreativa em um lago situado nas proximidades de onde mora e ingere 25.000 mg/dia de peixe com uma concentração de contaminantes não-carcinogênicos de 100 mg/kg. A taxa de ingestão de peixe é uma média diária, de modo que o fator de exposição é igual a 1. Para calcular a dose de exposição:

$$ED = C \times IR \times EF \times CF / BW$$

$$ED = (100 \text{ mg/kg} \times 25.000 \text{ mg/dia} \times 1 \times 10^{-6}) / 70 \text{ kg}$$

$$ED = 3,57 \times 10^{-2} \text{ mg/kg/dia}$$

No caso de contaminação de solo residencial, também é de interesse conhecer a taxa de consumo de alimentos de cultivo caseiro e plantas silvestres locais. Para estimar a ingestão diária total de um contaminante específico que possa bioacumular-se em vários alimentos, deverão ser consideradas as taxas de ingestão diárias dos contaminantes de todos os alimentos afetados. O Quadro 9 ilustra como podem ser estimadas as doses de exposição por ingestão de alimentos.

Quadro 9. Equação da Dose de Exposição por Ingestão de Alimentos	
$ED = \sum \left( \frac{CL \times CRi \times EF}{BW} \right)$	<p><i>As doses de exposição por ingestão de alimentos podem ser calculadas da seguinte forma:</i></p> <p>Onde:</p> <p>ED = dose de exposição (mg/kg-dia)                      CL = concentração do contaminante (mg/kg)                      CRi = taxa de consumo do grupo de alimentos (g/dia)                      EF = fator de exposição (não-unitário)                      BW = peso corporal (kg)                      Γ = número total dos grupos de alimentos</p>
$ED = \frac{CL \times CRi \times EF \times PHi}{BW}$	<p><i>As doses de exposição por ingestão de alimentos de cultivo caseiro são calculadas de forma semelhante:</i></p> <p>Onde:</p> <p>ED = dose de exposição (mg/kg-dia)                      CL = concentração do contaminante (mg/kg)                      CRi = taxa de consumo do grupo de alimentos (g/dia)                      EF = fator de exposição (não-unitário)                      BW = peso corporal (kg)                      PHi = porcentagem dos alimentos de cultivo caseiro</p>

O exemplo a seguir ilustra o cálculo da dose de exposição por ingestão de alimentos para o cádmio por contaminação de uma horta. As taxas de consumo e a porcentagem dos alimentos de cultivo caseiro foram obtidas do Manual de Fatores de Exposição da EPA (1997).

Alimento	CL (mg/g)	CR <sup>7</sup> (g/dia)	PH (%)	EF (kg)	BW	Dose de Exposição (mg/kg/dia)
Batatas	0,02	65,6	3,8	1	70	0,0007
Verduras cor verde escuro	0,01	10,8	4,4	1	70	0,00007
Verduras cor amarelo profundo	0,51	8,8	6,5	1	70	0,004
Tomates	0,24	52,6	18,4	1	70	0,03
Outras Verduras	0,01	79,0	6,9	1	70	0,0008
Total						0,036

Assim, a dose de exposição humana diária de cádmio proveniente de produtos de horticultura caseira neste exemplo é estimada em 0,036 mg/kg/dia. As estimativas devem ser confirmadas, conforme necessário, por um levantamento do padrão de consumo local.

<sup>7</sup> O valor CR foi convertido para g/dia de g/kg-dia multiplicando-se por 60 kg (EPA 1997).

## Referências Bibliográficas

Andelman JB. 1985. Inhalation exposure in the home to volatile organic contaminants of drinking water. *Science of the Total Environment* 1985 Dec;47:443-60.

ATSDR. 2001. Summary report for the ATSDR soil-pica workshop. June 2000, Atlanta, Georgia. Atlanta: US Department of Health and Human Services.  
<http://www.atsdr.cdc.gov/child/soilpica.html>. March 20, 2001.

EPA. 1997. Exposure Factors Handbook. Volumes 1, 2, and 3.  
<http://www.epa.gov/ncea/pdfs/efh/front.pdf> EXIT ATSDR.

EPA. 2001. Risk Assessment Guidance for Superfund. Volume I: Human Health Evaluation Manual. Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment: Interim. Review Draft—  
For Public Comment. Publication No.: EPA/540/R/99/005.  
<http://www.epa.gov/oerrpage/superfund/programs/risk/ragse/index.htm> EXIT  
ATSDR. September 2001.

Hawley JK. 1985. Assessment of health risk from exposure to contaminated soil. *Risk Analysis* 1985 5(4):289-302.

Jo WK, Weisel CP, Liroy PJ. 1990. Chloroform exposure and the health risk associated with multiple uses of chlorinated tap water. *Risk Analysis* 1990 Dec;10(4):581-5.

McKone TE. 1989. Household exposure models. *Toxicol Lett* 1989 Dec;49(2-3):321-39.

Sherer and Price. 1993. The effect of cooking processes on PCB levels in edible fish tissue. *Qual Assur* 1993 Dec;2(4):396-407.

Wilson ND, Shear NM, Paustenbach DJ, Price PS. 1998. The effect of cooking practices on the concentration of DDT and PCB compounds in the edible tissue of fish. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 1998 Jul-Sep;8(3):423-40.