

**MINISTÉRIO DA SAÚDE**  
**SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE**  
**DEPARTAMENTO DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE AMBIENTAL E SAÚDE DO**  
**TRABALHADOR**

**DIRETRIZES PARA ELABORAÇÃO DE ESTUDO DE AVALIAÇÃO DE RISCO À**  
**SAÚDE HUMANA POR EXPOSIÇÃO A CONTAMINANTES QUÍMICOS**

Brasília/2010

## **DIRETRIZES PARA ELABORAÇÃO DE ESTUDO DE AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA POR EXPOSIÇÃO A CONTAMINANTES QUÍMICOS**

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	Metodologia de Avaliação de Risco da ATSDR.....	1
1.2.	Aplicação da Metodologia de Avaliação de Risco à Saúde Humana no Brasil .....	3
1.3.	Constituição da equipe de avaliação de risco .....	5
2.	PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA .....	5
3.	LEVANTAMENTO E AVALIAÇÃO DA INFORMAÇÃO DO LOCAL .....	6
3.1.	Antecedentes.....	8
3.2.	Aspectos Demográficos.....	9
3.3.	Uso do Solo e Informação sobre o Uso de Recursos Naturais .....	11
3.4.	Contaminação Ambiental .....	12
3.5.	Informações sobre Rotas Ambientais.....	12
3.6.	Dados sobre Efeitos na Saúde .....	13
4.	LEVANTAMENTO DAS PREOCUPAÇÕES DA COMUNIDADE COM SUA SAÚDE.....	14
4.1.	Etapa Preparatória: Antes da Visita ao Local.....	15
4.2.	Visita ao Local.....	16
4.3.	Socialização das Informações e Comunicação de Risco .....	18
5.	SELEÇÃO DOS CONTAMINANTES DE INTERESSE .....	19
5.1.	Identificação de Contaminantes.....	20
5.1.1.	Organização dos Contaminantes de Interesse .....	21
5.1.2.	Apresentação dos Contaminantes de Interesse em Tabelas.....	21
5.2.	Revisão dos Níveis de Concentração.....	22
5.3.	Avaliação dos Dados e Técnicas de Amostragem.....	23
5.3.1.	Qualidade dos Dados de Campo.....	23
5.3.2.	Qualidade dos Dados de Laboratório .....	23
5.4.	Identificação do Compartimento Ambiental e Mecanismos de Transporte .....	24
5.5.	Mecanismos de Transporte e Destino dos Contaminantes .....	25
5.6.	Fatores Específicos de Natureza Química que Influenciam no Destino dos Contaminantes e no Transporte Ambiental .....	27

5.6.1.	Solubilidade em Água .....	27
5.6.2.	Pressão de Vapor .....	27
5.6.3.	Constante da Lei de Henry (H).....	28
5.6.4.	Coeficiente de Partição de Carbono Orgânico ( $K_{OC}$ ) .....	28
5.6.5.	Coeficiente de Partição Octanol/Água ( $K_{OW}$ ) .....	29
5.6.6.	Fator de Bioconcentração (FBC).....	30
5.6.7.	Velocidade de Transformação e de Degradação .....	30
5.7.	Fatores Específicos do Local de Estudo que Influenciam no Destino e Transporte Ambiental dos Contaminantes.....	31
5.8.	Amostragens Ambientais Representativas e Confiáveis do Local .....	33
5.9.	Modelos de Transporte Ambiental .....	35
6.	IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE ROTAS DE EXPOSIÇÃO.....	36
6.1.	Identificação da Fonte de Contaminação.....	37
6.2.	Compartimentos Ambientais .....	39
6.3.	Identificação de um Ponto de Exposição.....	39
6.4.	Identificação de uma Via de Exposição .....	41
6.5.	Identificação de Populações Receptoras.....	42
6.5.1.	Localização das Populações .....	43
6.5.2.	Fatores que Influem na Exposição .....	44
6.5.3.	Estimativa de Populações Receptoras .....	45
6.6.	Categorização das Rotas como Potenciais ou Completas .....	46
6.6.1.	Rotas de Exposição Completa .....	46
6.6.2.	Rotas de Exposição Potenciais .....	48
6.7.	Eliminação de uma Rota de Exposição .....	49
6.8.	Exposição Humana .....	49
6.8.1.	População Exposta.....	50
6.8.2.	População Potencialmente Exposta.....	50
6.8.3.	População com Exposição Desconhecida .....	51
7.	IMPLICAÇÕES NA SAÚDE PÚBLICA .....	51
7.1.	Avaliação Toxicológica.....	52
7.1.1.	Estudo do Perfil Toxicológico.....	52

7.1.2.	Identificação dos Efeitos sobre a Saúde: Carcinogênicos e Não-Carcinogênicos .....	54
7.1.3.	Caracterização da População e Populações Susceptíveis .....	58
7.1.4.	Características da Exposição .....	61
7.1.5.	Cálculo da Dose de Exposição .....	63
7.1.6.	Comparação do Nível de Exposição com “Valores de Referência” .....	65
7.2.	Avaliação dos Dados e dos Estudos de Saúde Existentes .....	65
7.3.	Resposta às Preocupações da Comunidade .....	66
8.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	67
8.1.	Contexto Brasileiro .....	67
8.2.	Processo de Adoecimento e Limitações do Modelo de Avaliação de Risco .....	68
8.3.	Conteúdo das Conclusões e Recomendações .....	70
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75
10.	ANEXO I .....	78
11.	ANEXO II .....	82

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. Metodologia de Avaliação de Risco da ATSDR**

A industrialização mundial tem crescido a cada ano, e este processo vem acompanhado de impactos negativos já que em muitos casos, os insumos e produtos finais dessas atividades contêm substâncias com características de toxicidade para o ambiente e para a saúde humana. A sociedade contemporânea está cada vez mais preocupada com os riscos que essas atividades representam e com a possível exposição das populações as diversas substâncias químicas presentes nos processos industriais.

Diante dos riscos à saúde humana, as autoridades nos países industrializados criaram procedimentos de avaliação que, além de dimensionar o risco, determinam recomendações para eliminação da exposição humana, ações de saúde direcionadas às populações expostas, bem como ações de remediação das fontes de emissão. A avaliação de risco à saúde das populações expostas a contaminantes ambientais representa um instrumento importante para a tomada de decisões e implementação, de maneira sistemática, de articulações e de ações intra e intersetoriais visando à promoção e proteção da saúde, melhorando as condições sociais e de vida.

Nos EUA, como nos demais países, os procedimentos de avaliação de risco à saúde humana por resíduos perigosos fazem parte de uma legislação com recursos, poderes e deveres institucionais estabelecidos para cada uma das etapas do processo de reconhecimento do local de risco, da avaliação do risco à saúde das populações expostas, das medidas de inibição da exposição humana, das ações de acompanhamento de saúde destas populações, bem como dos procedimentos de eliminação das fontes emissoras de resíduos perigosos.

A Agência de Registro de Substâncias Tóxicas e Controle de Doenças – ATSDR/CDC (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) foi criada, nos Estados Unidos da América, por meio da legislação Acta de 1986 de Re-autorização e Emendas ao “Superfundo” da Acta integral de 1980 para Resposta Ambiental, Compensação e Contingências (CERCLA), com a missão de desenvolver atividades de Saúde Pública

especificamente associadas com a exposição, real ou potencial, a contaminantes emitidos ao ambiente.

Esta Agência desenvolveu metodologia que fornece subsídios para a composição de uma lista nacional de locais prioritários para avaliação de risco. A partir destas avaliações a ASTDR notifica a Agência de Proteção Ambiental (United States Environmental Protection Agency – USEPA) sobre a existência de alguma ameaça para a saúde pública nos locais sob risco, de forma a permitir que a USEPA desenvolva intervenção para mitigação, prevenção ou eliminação da exposição e dos efeitos à saúde.

Na aplicação da avaliação de risco à saúde humana, segundo a metodologia da ATSDR, no relatório final de avaliação, a classificação dos diversos níveis de perigo à saúde humana impõe ações das diversas áreas de governo, antecipadamente estabelecidas. Estas ações são implementadas com recursos de um fundo próprio, criado em 1980 pelo governo federal dos EUA (também conhecido como *Superfund law*), tais ações são implementadas independentemente de quem tenha causado a situação de risco à saúde humana.

Considera-se objeto de avaliação para esta metodologia, compostos químicos, elementos ou combinações que, por sua quantidade, concentração, características físicas ou toxicológicas, possam representar um perigo imediato ou potencial à saúde humana ou ao ambiente, quando são inadequadamente usadas, tratadas, armazenadas, transportadas ou eliminadas. As etapas para o desenvolvimento da metodologia da ASTDR são:

- a. Avaliação da Informação do Local** – Nesta etapa o avaliador realizará o levantamento das informações do local onde ocorre a contaminação com descrição do local, incluindo aspectos históricos, avaliação preliminar das preocupações da comunidade, dados registrados sobre efeitos adversos à saúde, informação demográfica, usos do solo e outros recursos naturais, informações preliminares sobre contaminação ambiental e rotas ambientais.
- b. Resposta às Preocupações da Comunidade** – Consiste na identificação dos membros da comunidade envolvidos, desenvolvimento de estratégias para envolver a comunidade no processo de avaliação, manutenção da comunicação com a comunidade por meio de todo o processo de solicitação e resposta dos comentários da comunidade sobre os resultados da avaliação.

- c. Seleção dos Contaminantes de Interesse** – Inclui o levantamento dos contaminantes presentes no local e fora deste, as concentrações no ambiente, níveis de concentrações basais, verificação da qualidade dos dados, tanto do processo de amostragem quanto das técnicas de análise, cálculo de valores de comparação, inventário das emissões dos compostos tóxicos, busca de informação toxicológica e a determinação dos contaminantes de interesse.
- d. Identificação e Avaliação de Rotas de Exposição** – A partir da identificação das possíveis fontes de emissão dos contaminantes são realizadas determinações dos meios ambientais contaminados, mecanismos de transporte, pontos de exposição humana, vias de exposição e populações receptoras. Estas informações permitem avaliar se as rotas de exposição são potenciais ou completas.
- e. Determinação de Implicações para a Saúde Pública** – A partir da avaliação toxicológica é feita uma estimativa da exposição e uma comparação das estimativas com o estabelecido como tolerável em normas de saúde, além da determinação dos efeitos à saúde relacionados à exposição e avaliação de fatores que influem nos efeitos adversos para a saúde. Ainda devem ser determinadas as possíveis implicações para a saúde por perigos físicos. Para que se faça uma avaliação dos dados sobre efeitos à saúde, devem ser usados critérios de avaliação e discussão desta informação em resposta às preocupações da comunidade.
- f. Determinação de Conclusões e Recomendações** – A determinação de conclusões inclui a seleção de categoria(s) de perigo(s), conclusões sobre informação consideradas insuficientes, sobre as preocupações da comunidade relativas a sua saúde e, por fim, as conclusões sobre rotas de exposição. Na determinação de recomendações tem-se como objetivo proteger a saúde dos membros da comunidade e recomendar ações de saúde pública.

## **1.2. Aplicação da Metodologia de Avaliação de Risco à Saúde Humana no Brasil**

No Brasil, os procedimentos de avaliação de risco à saúde humana por resíduos perigosos, representam uma atividade recente. Na década de 90, a Organização Pan-Americana da Saúde – OPAS difundiu a metodologia da ATSDR e, a partir do ano 2002, o Ministério da Saúde começou sua aplicação em áreas piloto. Entretanto, diferente do que ocorre nos países onde esta prática já existe desde a década de 80, ainda não existe um arcabouço jurídico-institucional que imponha uma seqüência natural aos resultados dos estudos de avaliação de risco.

Por esta razão, a classificação de risco assinalada no relatório, bem como as recomendações daí decorrentes, devem ser avaliadas como um instrumental técnico-científico fundamental pelas esferas governamentais responsáveis pela tomada de decisão, mas com a devida adequação a realidade brasileira e aos recursos disponíveis.

No Brasil, segundo o Art. 196 da Constituição Federal de 1988, a Saúde é direito de todos e dever do estado, garantido mediante políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de doença e outros agravos e ao acesso universal e igualitário às ações e serviços para a promoção, proteção e recuperação. Para assegurar este direito, foi criado o Sistema Único de Saúde (SUS), sistema público descentralizado, integrado pelas três esferas de governo, regulamentado pelas Leis Orgânicas da Saúde (Leis nº 8.080/90 e nº 8.142/90).

A Lei nº 8.080, no seu Art. 3º dispõe que: *“a saúde tem como fatores determinantes e condicionantes, entre outros, a alimentação, a moradia, o saneamento básico, o meio ambiente, o trabalho, a renda, a educação, o transporte, o lazer e o acesso aos bens e serviços essenciais: os níveis de saúde da população expressam a organização social e econômica do país”*. Dentro desse contexto a saúde vai além da simples ausência de doença voltando-se para a qualidade de vida do indivíduo, dos grupos sociais, das comunidades.

As considerações acima impõem o desenvolvimento, no Brasil, de uma metodologia de avaliação de risco à saúde que, mesmo tendo como premissa a metodologia da ATSDR, leve em consideração a realidade político-institucional, jurídica e, principalmente, os direitos e garantias fundamentais do cidadão previstas no Art. 5º, incisos XIV e XXXIII da



Constituição Federal, os princípios e diretrizes do SUS (Art. 7º, Lei nº 8.080/90) e participação da comunidade conforme a Lei 8.142/90.

Desta forma, a presente metodologia de avaliação de risco à saúde humana em áreas contaminadas se baseia na experiência adquirida com os estudos já realizados no nosso país, a partir da aplicação da metodologia da ATSDR, com as devidas e progressivas adaptações consoantes com a realidade.

### **1.3. Constituição da equipe de avaliação de risco**

No início do processo, o líder/coordenador – geralmente o avaliador de saúde – forma uma equipe composta por profissionais de acordo com as demandas técnicas e comunicação específicas da área a ser estudada. A experiência tem demonstrado que um trabalho em equipe é muito efetivo, principalmente em locais mais complexos. A composição da equipe dependerá da natureza e da complexidade das questões do local e poderá se modificar durante a avaliação, à medida que mais informações se tornarem disponíveis. A equipe poderá ser integrada por profissionais: engenheiros, ciências ambientais, saúde pública, toxicologistas, epidemiologistas, geólogos, físicos especializados em saúde, educador em saúde, especialistas em comunicação em saúde, médicos/enfermeiros/dentistas, entre outros.

## **2. PROCESSO DE AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA**

Na avaliação das implicações à saúde pública, decorrentes de exposição a contaminantes ambientais, o avaliador deve obter e avaliar os dados e informações sobre a história do local, os tipos e níveis de contaminação, os mecanismos de transporte ambientais específicos, as vias de exposição humana, as preocupações da comunidade com sua saúde, os parâmetros pertinentes aos efeitos na saúde, e as implicações toxicológicas e médicas dos contaminantes do local de risco.

A avaliação de risco analisa as implicações na saúde humana e as preocupações da comunidade pela exposição aos contaminantes de interesse identificados na área estudada, com o intuito de determinar os riscos decorrentes da situação, levando em consideração

cenários no passado, presente e futuro, bem como recomendar ações para recuperação e proteção da saúde humana.

O processo de avaliação de risco possui as seis etapas, conforme listadas abaixo, que devem ser seguidas de modo a adquirir os dados e informações necessárias para avaliar os riscos à saúde da população no local:

- a. Levantamento e Avaliação da Informação do Local**
- b. Levantamento das Preocupações da Comunidade**
- c. Seleção dos Contaminantes de Interesse**
- d. Mecanismos de Transporte**
- e. Identificação e Avaliação de Rotas de Exposição**
- f. Determinação de Implicações para a Saúde Pública**
- g. Determinação de Conclusões e Recomendações**

### **3. LEVANTAMENTO E AVALIAÇÃO DA INFORMAÇÃO DO LOCAL**

Ao iniciar um processo de avaliação de risco à saúde humana, torna-se necessário que a equipe de avaliadores busque uma série de informações para a caracterização do local contaminado. É fundamental que a equipe, dispondo de conhecimentos prévios, faça uma visita à área acompanhada dos órgãos de saúde e meio ambiente das esferas envolvidas.

Durante a visita um discurso comum deve fazer parte da retórica de todos que irão ao local, buscando evitar pânico ou informações desajustadas sobre a área de risco. É preciso que a equipe de avaliadores vá a campo com uma estratégia de comunicação já traçada para as populações sob risco de exposição, a imprensa e outros atores envolvidos, ou seja, uma comunicação preliminar faz-se necessária até que se tenha buscado todas as informações para avaliar o risco real. As seguintes fontes de informação devem ser exploradas:

- Órgãos ambientais municipais, estaduais e federais: Principalmente, processos de licenciamento quando se tratar de empresas que necessitem de licenciamento ambiental para a instalação, operação e encerramento das atividades, além de denúncias sobre a área contaminada em questão.

- Páginas na internet sejam elas referentes aos órgãos oficiais, pesquisas científicas, bibliotecas públicas Ong's etc.
- Outros órgãos de governo como: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, secretarias estaduais e municipais de saúde, órgãos ligados a indústria, pesca, agricultura, vigilância sanitária, entre outros;
- Trabalhos acadêmicos: publicações, artigos científicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado;
- Relatórios técnicos;
- Processos em órgãos de justiça;
- Órgãos não governamentais;
- Comunicações veiculadas pela imprensa.
- Bibliotecas públicas;
- Visita ao local contaminado com o intuito de georreferenciar e buscar informações sobre: o acesso ao local contaminado, populações sob risco, atividades industriais, a existência de comércio, hospitais, creches, escolas, ou seja, uma descrição visual detalhada, porém preliminar do local de risco.

Toda a informação deve ser avaliada segundo a sua fidedignidade, considerando para isso; as fontes de informação utilizadas, metodologia e validade estatística. Caso os avaliadores não se sentirem aptos a validar, poderão submeter a informação a especialistas na área ou a estatísticos. A comparação do estudo com outros já realizados pode ser um caminho para a validação da informação. A estratégia de visita à área deve conter no mínimo:

- Contatos prévios com os órgãos de governo local (com o esclarecimento da finalidade do trabalho);
- Solicitação de colaboração de técnicos, especialistas e profissionais de diversos órgãos envolvidos;
- Apresentação da equipe de avaliação de risco;
- Solicitação de dados; e
- Contato prévio com a comunidade.

Delineadas as possíveis fontes de informação os seguintes aspectos devem ser contemplados: antecedentes, aspectos demográficos, uso do solo e informação sobre o uso

de recursos naturais, contaminação ambiental, rotas ambientais, dados sobre efeitos na saúde.

### **3.1. Antecedentes**

Neste item do relatório de avaliação de risco deve ser feita a contextualização da situação em análise, fornecendo o histórico da região, dados geográficos, informações sobre a organização político-administrativa, a descrição do local contaminado, incluindo os aspectos operacionais a atividade desenvolvida no local, históricos e procedimentos reguladores.

**Histórico da região** - Os avaliadores devem consultar fontes históricas locais, traçando uma linha temporal que leve ao fato principal, que é a contaminação ambiental e a possível exposição das populações humanas. Pode-se partir, por exemplo, da apresentação da situação municipal, até o histórico do sítio contaminado. Ou, ainda, dependendo das dimensões da contaminação, pode-se partir da situação estadual, até o sítio contaminado.

**Dados geográficos** – Buscar dados de geografia política, fronteiras municipais e estaduais, relevo, clima, vegetação, hidrografia, hidrogeologia, entre outros que forem relevantes para o caso em questão. Mapas, nas escalas existentes, devem ser consultados sempre que possível e incorporados ao relatório. A localização geográfica da área proporciona antecedentes sobre as condições geológicas e climáticas, áreas de inundação e localização dos principais corpos de água superficiais.

**Organização político-administrativa** – A finalidade dessa informação é obter dados sobre o planejamento municipal, a existência de plano diretor de ordenamento territorial, os bairros e suas populações, a área dos bairros circunvizinhos ao local, a infraestrutura existente (abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta e destinação final dos resíduos sólidos e drenagem). A localização dentro da comunidade proporciona o conhecimento acerca do tamanho da população potencialmente afetada pelo local de risco e por outras fontes de contaminação.

**Descrição do local contaminado** - A partir desse ponto, é necessário que a equipe de avaliadores tenha levantado a informação e as validado quanto a sua qualidade. Essas informações podem estar documentadas, entretanto também é válido que trabalhadores, ex-

trabalhadores, residentes e ex-residentes sejam entrevistados com o objetivo de informar sobre o local e as operações realizadas no passado e no presente, como por exemplo, mudanças no processo de trabalho, modificações tecnológicas, deposição de resíduos, dentre outros aspectos.

Os avaliadores devem determinar as fronteiras do local de risco com a finalidade de delimitar suas áreas internas e externas. A representação visual do local (planos urbanos, mapas topográficos e fotografias aéreas) indica o tamanho das operações no local, a extensão da contaminação superficial, as vias subterrâneas para o transporte dos contaminantes, as distâncias das populações vizinhas ao local de risco, a presença de escolas, creches, asilos e hospitais, e usos do solo nas proximidades do local de risco. Os perigos físicos que podem ser observados, durante a visita ao local de risco, incluem tambores, bombonas e outros recipientes de acondicionamento dos resíduos, produtos químicos acessíveis, aterros, diques e estruturas pouco seguras (edificações, tanques de armazenamento).

A informação sobre o desenvolvimento histórico do local proporciona, com frequência, uma indicação dos contaminantes que podem estar presentes, a extensão da contaminação, a taxa de migração conseqüente e a magnitude da exposição humana. Os documentos já levantados devem ser revisados para se obter as seguintes informações:

- Tipos de atividades realizadas no local - indicará os potenciais contaminantes de interesse no local;
- Duração das atividades industriais no local - Provavelmente influirá na extensão da contaminação e na migração dos contaminantes;
- Tempo que a contaminação ocorreu no local - Poderá dar uma idéia da extensão da migração de contaminantes e das populações potencialmente expostas;
- Mudanças no tamanho e desenvolvimento do local - Podem afetar as taxas e padrões de migração dos contaminantes;
- Atividades de remediação atuais e planejadas - Influenciarão nas implicações à saúde no local e necessitarão ser discutidas na avaliação de saúde.

### **3.2. Aspectos Demográficos**

O avaliador deve caracterizar as populações do local e das suas imediações, que podem estar ou estiveram potencialmente expostas aos contaminantes. O objetivo deste ítem é determinar o tamanho e as características das populações que tem maiores probabilidades de no passado, no presente e, ainda, no futuro, estarem expostas aos contaminantes.

O avaliador deve considerar as populações residenciais ao redor do local, assim como os indivíduos expostos em locais de trabalho, escolas, áreas de lazer próximo à área contaminada, deve buscar informações com relação à distância da população ao local de risco, as residências mais próximas e número de pessoas dentro de um raio específico do local.

Os dados sobre a distribuição etária, sexo, condições socioeconômicas, culturais, assim como, as etnias da comunidade afetada, podem ajudar na identificação de subgrupos suscetíveis e na interpretação dos parâmetros de efeitos na saúde pertinentes. Uma importante fonte de informação é o censo nacional. Os dados podem ser facilmente acessados na página <http://www.ibge.gov.br>. Ainda é possível obter dados demográficos em outras fontes: páginas oficiais dos governos municipais e estaduais. A Atenção Básica à Saúde, por meio do Programa de Saúde da Família (PSF), configura-se uma fonte importante para essa informação.

Em todos os casos é necessário verificar onde os dados foram gerados e a data da última atualização. O avaliador deve também levar em consideração que o próprio IBGE também utiliza algumas fontes de dados secundários, portanto, mais uma vez é necessário verificar a data que os mesmos foram gerados, informações relativas à metodologia de coleta, dentre outros aspectos, para que se possa validar a informação e verificar as possibilidades de uso da mesma.

O avaliador deve identificar também os dados sobre atividades residenciais, recreativas e ocupacionais das populações potencialmente expostas. Os tipos e níveis das atividades, nas quais participam as populações sob risco, podem influenciar na frequência e duração da exposição. As associações comerciais e industriais, as organizações não governamentais (ONGs), as associações de moradores, de trabalhadores, ou ex-trabalhadores, além do próprio IBGE, podem servir como fonte de informações sobre atividades residenciais, recreativas e ocupacionais das populações potencialmente expostas.

Quando se investiga um local inserido em um determinado bairro, deve-se estar atento, pois as informações podem não refletir a especificidade da área e, nesse caso, as fontes de dados municipais ou estaduais precisam ser restringidas ou até deve proceder-se a um levantamento de dados primários.

### **3.3. Uso do Solo e Informação sobre o Uso de Recursos Naturais**

O uso do solo influenciará significativamente nos tipos e intensidades das atividades humanas, por conseguinte terão influência no grau e intensidade do contato com os solos, água, ar, resíduos expostos, plantas e animais para consumo. O avaliador deve considerar, além do uso atual, as formas de utilização do solo no passado e no futuro. O seguinte roteiro pode ser seguido e complementado, quando necessário:

- **Acessibilidade ao local** – verificar a presença, integridade e adequação de placas de advertência, cercas, portões e outras medidas de segurança, bem como quaisquer indícios ou sinais físicos que indiquem que pessoas ou animais têm acesso e transitam no local;
- **Uso e ocupação do solo para fins residenciais, agrícolas, comerciais e industriais** – verificar a existência de moradias, comércios (incluindo o tipo de comércio, ou seja, supermercado, motéis, restaurantes), indústrias (incluindo a tipologia, ou seja, petroquímica, papéis e celulose, metalúrgica etc) e agrícolas (detalhando as atividades agrícolas como reflorestamento, hortifrutigranjeiros, criação de animais domésticos e para exploração de alimentos);
- **Escolas, hospitais, creches e asilos** – verificar a existência de escolas, hospitais, creches e asilos;
- **Locais de disposição de resíduos e descarte** – verificar a presença de lixões, aterros, corpos de água superficiais que possam receber resíduos, outras fontes de contaminação;
- **Usos recreativos** – verificar a presença de parques, passeio ciclístico, camping, locais de pesca e caça, represas, lagos para banhos e outros usos da água, instituições desportivas e recreativas, campo de futebol;

- **Uso futuro planejado** – verificar a existência de Plano Diretor, com possíveis usos que estão propostos para o local contaminado ou o seu entorno;
- **Localização de fontes públicas e privadas de abastecimento d'água** - verificar a presença de poços escavados, artesianos ou captação de água em superfície. Definir os seus principais usos: doméstico, irrigação, jardinagem, comercial, industrial, fins desportivos (natação, esqui, remo) ou pesca (comercial ou de subsistência);
- **Localização de sistemas de drenagem** – verificar a presença de grotas, valas, riachos, mananciais que possam ser condutores da contaminação;
- **Áreas agropecuárias circunvizinhas** - verificar a presença de pomares, hortas, áreas de cria e recria de animais, pastos, confinamentos, colméias e os padrões de mercado ou consumo desses produtos;
- **Biota** – identificação do bioma e seus principais representantes a fim de verificar a relação desse com os mecanismos de transporte dos contaminantes na área. Deve se caracterizar o estágio de preservação da biota e a relação que as populações humanas mantém com o ecossistema, por exemplo: exploração de madeira, consumo de mariscos e peixes, utilização de produtos da floresta, garimpagem, usos medicinais;
- **Outras observações** – outras informações relevantes e específicas do sítio contaminado devem ser incluídas na avaliação da informação do local.

### 3.4. Contaminação Ambiental

Este item deve contemplar o levantamento das substâncias químicas e suas concentrações identificadas em cada compartimento ambiental. O avaliador deve verificar as análises já existentes, assim como o limite de detecção utilizado pelo laboratório e a metodologia de coleta das amostras ambientais.

### 3.5. Informações sobre Rotas Ambientais

Algumas características da área contaminada poderão influenciar o transporte dos contaminantes químicos da fonte de contaminação ao ponto onde a população receptora



poderá se expor. Portanto, algumas características sobre o sítio ou a bacia hidrográfica são essenciais, tais como: topografia; tipo e localização de solo na maior escala possível; cobertura dos solos - que influenciará na infiltração e, conseqüentemente na velocidade de escoamento superficial; precipitação anual; temperatura; e hidrogeologia e a localização dos corpos superficiais em relação à área contaminada.

### **3.6. Dados sobre Efeitos na Saúde**

Uma parte fundamental da avaliação de um local é a identificação de informações sobre efeitos na saúde pertinentes ao local. Sabe-se que no Brasil são inúmeros os problemas em relação à geração de informações de dados de saúde, dentre os quais pode-se apontar a insuficiência de bancos de dados, a falta de recursos tecnológicos acessíveis, bancos com dificuldades para comunicação com outros bancos de dados, deficiência na atualização das informações, dificuldade de agregação dos dados, a distribuição de recursos financeiros inadequados no setor Saúde e pouco investimento na formação de pessoal de saúde.

As principais fontes de informação sobre os efeitos na saúde incluem as secretarias de saúde estaduais, municipais e os postos de saúde locais. Além disso, devem ser utilizados bancos de dados sobre saúde de instituições privadas e federais. Todos os bancos de dados sobre efeitos na saúde e informação utilizados nas avaliações de saúde devem ser assinalados neste item.

Um dos instrumentos de busca de informações em saúde é o banco de dados do Sistema Único de Saúde – SUS, que pode ser acessado via internet através da página <http://tabnet.datasus.gov.br/tabnet/tabnet.htm>.

No Anexo I são apresentados *links* onde o avaliador encontrará dados sobre os indicadores de saúde, assistência à saúde, informações epidemiológicas, recursos financeiros do SUS, entre outros.

A equipe de avaliadores deverá estar familiarizada com a informação do local disponível e a utilidade que esta tem para conduzir a avaliação de saúde. Até onde seja possível, devem-se investigar as preocupações da comunidade com sua saúde e buscar dados sobre efeitos na saúde provocados pelas condições ambientais. Caso essas

informações sejam escassas, os dados de saúde devem ser investigados junto à população, utilizando-se instrumentos de investigação adequados a população-alvo, ao problema de investigação, aos recursos humanos e financeiros disponíveis, dentre outros aspectos.

#### **4. LEVANTAMENTO DAS PREOCUPAÇÕES DA COMUNIDADE COM SUA SAÚDE**

Neste capítulo são apresentadas estratégias para o levantamento de preocupações da população com sua saúde. Uma das três principais seções de informações nas avaliações de saúde é o levantamento das preocupações da comunidade com a sua saúde, que irá subsidiar a etapa da avaliação denominada implicações para saúde pública, além de nortear a maneira de comunicar o risco às populações expostas.

A comunidade associada a um local de risco pode ser definida como a população que vive nas suas vizinhanças e todas as pessoas que podem proporcionar ou disseminar informação pertinente sobre o local durante o processo de avaliação de saúde, além de pessoas que estiveram ou estão vinculadas com o problema. A comunidade envolvida pode incluir residente individual que vive nas proximidades ou grupos organizados da comunidade e seus representantes.

As preocupações da comunidade, associadas com a exposição aos contaminantes do local, podem ser ambientais, de saúde ou, ainda, relativas a aspectos de ordem econômica, social, psicológica, entre outras. No levantamento destas preocupações é relevante controlar duas variáveis: tempo e espaço, pois essas variáveis determinarão o tipo de relação de um grupo de pessoas ou um indivíduo com a problemática da contaminação ambiental e do risco de exposição humana.

A equipe de avaliadores deve considerar alguns aspectos antes de entrar em contato com a comunidade: a gravidade do evento, o número de pessoas envolvidas, a repercussão na mídia e as responsabilidades institucionais.

A estratégia para buscar essas preocupações junto a comunidade deve incluir três etapas: uma etapa preparatória, que deve acontecer antes da visita ao local; uma etapa no campo de estudo, onde já exista o envolvimento direto da comunidade e autoridades locais;

e a terceira etapa que acontecerá após a visita e diz respeito a socialização de informações e ao planejamento de ações em programas de comunicação de risco.

#### **4.1. Etapa Preparatória: Antes da Visita ao Local**

Desde a etapa preparatória até a divulgação das informações à comunidade, os preceitos éticos devem permear todas as discussões, lembrando sempre que se está lidando com pessoas que não devem ser consideradas como objeto e sim como sujeito das ações. Antes de entrar em contato com a comunidade a equipe de avaliadores deve estar atenta para que os pontos apresentados a seguir sejam contemplados.

**Manter contato institucional com as diferentes áreas do poder público** - a equipe deverá ter o objetivo traçado previamente e considerar que as questões técnicas serão abordadas, mas que os objetivos políticos também serão evocados. Deve ser identificado, dentro da equipe de avaliadores, uma pessoa que ficará responsável por agendar, convidar, confirmar e participar das reuniões com as instituições. No mínimo, devem ser consideradas as instituições de saúde e meio ambiente locais. Entretanto, cada contaminação tem as suas peculiaridades e em alguns casos pode ser imprescindível contato com a defesa civil, órgãos de agricultura, indústria e comércio.

**Identificar os líderes comunitários, as associações de moradores existentes, e a pessoa que irá apresentar a equipe à comunidade local** - Dependendo de quem apresentar a equipe a comunidade a aceitação do trabalho pode ser maior ou menor, ou seja, deve-se buscar, sempre que possível, uma pessoa neutra que não seja representante de um grupo específico dentro da comunidade. Uma atitude adequada dos avaliadores será adotar a transparência em todas as ações, socializar as informações e atuar no âmbito do coletivo, evitando reuniões individuais, que poderiam ser interpretadas como conspiratórias.

**Definir a estratégia de comunicação, antes de visitar o local, assim como a metodologia que será aplicada para levantar as preocupações da comunidade.** Para essas definições é necessário diagnosticar o problema, observar, analisar e refletir considerando que as estratégias devem ser construídas coletivamente. A satisfação de estar “re-construindo” o seu futuro pode impulsionar as pessoas para pensar alternativas de solução dos problemas. Os avaliadores devem responder as questões da comunidade,

lembrando sempre que a comunidade é composta por diferentes grupos, portanto suas questões podem ser diferentes, assim como a forma de respondê-las.

**Escolher os canais de comunicação que deverão ser utilizados de modo a contemplar todas as possibilidades**, como por exemplo: comunicados escritos (cartazes fixados em locais públicos, cartas individuais, cartilhas, notícias em meios de comunicação, trabalhadores, sindicatos), reuniões para grupos específicos (associações de moradores, moradores de uma determinada área, professores, alunos, profissionais de saúde).

**Estabelecer um canal de recepção para as informações geradas a partir das observações (denúncias) da sociedade.** Para tanto, dentro da equipe deve ser identificado um bom ouvinte e relator. As informações devem ser compartilhadas entre os componentes da equipe.

**Técnicas e métodos de validação da informação da população** devem ser exploradas antes de ir a campo, seguindo o princípio que toda informação é válida, até mesmo aquelas que, com o passar do tempo ou que após uma análise, se apresente como falsa ou pouco consistente, pois isso pode refletir um estado psicológico ou social diante dos fatos que se apresentam.

Os avaliadores devem ir a campo com o entendimento que a avaliação é um processo e que todas as ações devem ser checadas periodicamente. As estratégias poderão ser alteradas, principalmente, quando se apresentarem ineficazes. Não existe “receita de bolo”, os atores sociais envolvidos e o ambiente não são estáticos, por isso a equipe de avaliadores deve ser flexível, apesar de ter que obedecer a limites preestabelecidos.

#### **4.2. Visita ao Local**

Durante a realização das visitas à área, pode-se perceber a necessidade de levantar informações junto à população, utilizando-se de instrumentos de investigação, tais como, formulários, questionários e entrevistas. A necessidade de uso desses instrumentos precisa ser bem avaliada, pois implica no desenho de um estudo de investigação que, para ser construído e validado, necessita da seleção da área, bem como da amostra da população e realização de um teste piloto.

Em algumas áreas, pode ser mais adequado o levantamento de preocupações utilizando metodologia qualitativa. Para tanto, existem disponíveis inúmeras possibilidades. Ou seja, a equipe deve escolher um método que seja adequado à realidade da área. Observações importantes durante a visita ao local:

- Qualquer comunicado emitido para a mídia deve ser feito por escrito e a comunidade precisa tomar conhecimento do seu conteúdo, da forma como será divulgado, onde, quando e por quem;
- Todo material divulgado de forma escrita deverá ter linguagem adequada ao grau de instrução da comunidade;
- Toda reunião deverá ser agendada com tempo suficiente para que a população se organize e possa comparecer, assim como os horários e locais devem atender as condições da população. Não se deve fazer reuniões, comunicados e visitas improvisadas;
- Evitar reuniões longas, colocar poucos pontos de pauta, caso necessário realize outras reuniões;
- Evitar palavras e frases negativas, buscando clareza e objetividade use exemplos para explicar determinados eventos, sobretudo se você já tiver ouvido isto de alguém da própria comunidade, tenha uma atitude de respeito, evitando piadas, mas bom humor e alguma graça sempre tornam mais leve uma reunião;
- Se houver recursos, planeje um pequeno lanche para ser oferecido a comunidade (café, água, biscoitos). Neste momento a equipe de investigadores presente a reunião deverá se envolver com a comunidade e verificar se as informações passadas foram entendidas, assim como levantar possíveis dúvidas que ainda poderão ser esclarecidas no momento ou futuramente;
- Nunca se deve ir para qualquer reunião, visita ou entrevista sem levar um roteiro com as principais informações que precisam ser transmitidas a população; mesmo que outros assuntos sejam discutidos, aqueles que eram o alvo principal da reunião não deixarão de ser apresentados;
- Prepare uma lista de presença, com identificação que facilite contatos futuros;
- Faça ata da reunião e escolha alguém para síntese no final da reunião; essa pessoa pode ser alguém da comunidade;

- Pense em mecanismos para verificar se a informação transmitida foi entendida pela população; deve-se estar atento a mensagem, aos receptores, transmissores e aos meios utilizados para que a informação seja clara, objetiva e atinja o seu alvo;
- A equipe deve estar disposta a repetir tantas vezes, quantas forem necessárias, e de modo diferente, a mensagem para que a população entenda o seu conteúdo;
- Não faça gravações, fotos ou filmagens das reuniões sem que isto tenha sido acordado antes e esteja atento que se isto acontecer deverá ser aprovado por todos e registrado. O uso desse conteúdo só deverá ser feito com autorização prévia dos presentes. Portanto, é melhor evitar o uso desses recursos . Não se pode esquecer que existem aspectos éticos envolvidos nessa ação.

#### **4.3. Socialização das Informações e Comunicação de Risco**

Ao término de todo o estudo de avaliação de risco, a equipe de investigadores deve fazer uma reunião com a população, com o objetivo de transmitir todo o conteúdo dos estudos. Dados de análises ambientais e de saúde devem ser transmitidos de modo consolidado, para que não se crie um clima de conflito dentro da comunidade.

Aqueles que desejarem informações específicas sobre o local de sua moradia, a possível contaminação de seus alimentos e resultados de exames de saúde individual, caso tenham sido realizados, podem e devem receber informações detalhadas e, preferencialmente, por escrito. Transmitir uma informação por escrito implica diretamente em um contato com a população, para interpretar e explicar os resultados. Todas as preocupações da comunidade com a sua saúde devem ser esclarecidas.

Os desdobramentos relativos às recomendações e às conclusões que o estudo faz dependerá da atuação de uma série de instituições de governo, por isso há necessidade da formulação de programas de comunicação de risco, capacitação de profissionais do Sistema Único de Saúde e definição das competências de atuação. Todo estudo envolvendo seres humanos deve levar em consideração a perspectiva ética.

## 5. SELEÇÃO DOS CONTAMINANTES DE INTERESSE

Este capítulo discute o processo de seleção dos contaminantes de interesse para uma avaliação posterior sobre seus efeitos potenciais na saúde. Estes contaminantes são os compostos químicos específicos do local de risco e identificá-los é um processo interativo que se baseia na análise das suas concentrações no local, na qualidade dos dados da amostragem ambiental e no potencial de exposição humana. Para auxiliar na identificação destas substâncias são apresentados a seguir os tipos de informações que a equipe de avaliadores deve buscar. Também são iniciadas as discussões sobre os compartimentos ambientais, que são definidos como os meios ambientais que podem ser afetados e viabilizar o transporte dos contaminantes, desde a fonte até os pontos onde poderia ocorrer a exposição humana. Estes compartimentos incluem: materiais de resíduos, lixiviados, gás, lodos, solo superficial, subsolo, sedimentos, água superficial, água subterrânea ou profunda (com subcategorias de poços municipais, privados e de monitoramento), ar e biota.

- **Contaminação dentro e fora do local de risco** - apesar de todos os contaminantes serem considerados como de interesse potencial, esses devem ser selecionados com base na análise comparativa com os guias de saúde, nas exposições através dos diversos meios, nos efeitos interativos e nas preocupações da comunidade com sua saúde.
- **Concentrações dos contaminantes nos compartimentos ambientais** – devem ser utilizados os dados obtidos em análises das amostras ambientais (análise temporal e espacial, quando possível) para identificar os contaminantes de interesse no passado, presente e futuro, bem como verificada a probabilidade de transferência entre os compartimentos ambientais.
- **Níveis de concentração basal** – deve ser realizada uma revisão dos níveis de concentração natural dos contaminantes nos compartimentos ambientais locais.
- **Qualidade dos dados e das técnicas de amostragem ambiental** - os dados da amostragem e as metodologias utilizadas nas análises devem ser avaliados para sua validação e representatividade.

- **Guias de Avaliação dos Compartimentos Ambientais (EMEG)** - sigla em inglês para *Environmental Media Evaluation Guidelines*, outros guias que contenham valores de comparação apropriados podem ser utilizados para auxiliar na seleção dos contaminantes de interesse.
- **As preocupações da comunidade com sua saúde** – o avaliador deve assinalar cada preocupação da comunidade com a sua saúde, relativa a um contaminante em particular, independente de sua presença ou concentração no local.
- **Inventário de Emissões de Compostos Tóxicos** – o avaliador deve examinar o Inventário de Emissões de Compostos Tóxicos do local para determinar as necessidades de uma amostragem adicional e a existência de outras fontes de contaminação na área. O avaliador deve ainda observar as datas, quantidades e nomes dos contaminantes ou compostos químicos que tenham sido liberados na instalação do local e em outras instalações das proximidades.
- **Perfis toxicológicos dos contaminantes de interesse** – há diversos bancos de dados sobre as informações que compõe os perfis toxicológicos das substâncias químicas tais como: IRIS (<http://www.epa.gov/iris/index.html>), ASTDR (<http://www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html>), IARC (<http://monographs.iarc.fr/>), TOXNET (<http://toxnet.nlm.nih.gov/>), INCHEM (<http://www.inchem.org>), ANVISA (<http://www.anvisa.gov.br>), Ministério da Agricultura ([http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://extranet.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)), entre outros. Nestes documentos são encontradas informações sobre efeitos na saúde, propriedades físicas e químicas dos contaminantes, dados sobre exposição, métodos analíticos, regulamentações e referências.

### 5.1. Identificação de Contaminantes

Os relatórios e documentos técnicos mencionam, geralmente, contaminantes que se encontram nos compartimentos ambientais no local e no entorno. Estes relatórios apresentam apêndices que assinalam os compartimentos ambientais amostrados, número da amostra, data da amostragem, limites de detecção e concentrações detectadas. A lista de



contaminantes encontrada pode ser bastante extensa, envolvendo muitos compostos e todos os compostos detectados devem ser considerados como de interesse potencial.

### **5.1.1. Organização dos Contaminantes de Interesse**

Deve-se identificar, organizar e discutir os dados sobre os contaminantes de interesse para cada compartimento ambiental. Na redação do relatório deve-se resumir a informação dos dados em tabelas e as concentrações não devem ser repetidas. Os subtítulos dos compartimentos ambientais, tais como Solo Superficial, Subsolo, Sedimento, Água Profunda, Água Subterrânea, Ar, Biota, Materiais de Despejos, Gás do Solo e Lixiviados devem ser utilizados de forma apropriada nos itens de contaminação no local e no entorno.

Devem ser identificados os contaminantes no local que não foram detectados ou relatados fora do mesmo. Independentemente dos dados estarem disponíveis para revisão, todos os compartimentos ambientais que tenham sido amostrados, no local ou fora dele, devem estar mencionados de forma explícita.

Os dados sobre solo superficial e subsolo devem estar separados, assim como os respectivos de água freática, poços privados, poços públicos e poços de monitoramento. Ao discutir os dados de água superficial, deve-se diferenciar claramente entre poços, lagos, rios e outros tipos de corpos de águas superficiais. Estes não incluem represas ou lagoas expressamente construídas para conter materiais de despejo.

O avaliador deve assinalar as tendências ao discutir os dados, mas não a migração dos contaminantes neste item. Considerando, de forma específica, a distribuição espacial, os “pontos críticos”, as mudanças de concentração no tempo e as diferenças de contaminação entre os compartimentos ambientais.

### **5.1.2. Apresentação dos Contaminantes de Interesse em Tabelas**

Quando uma substância é identificada como um contaminante potencial de interesse num compartimento ambiental, sua concentração deve ser apresentada para todos os compartimentos ambientais amostrados, seja em tabela ou manuscrito. A menos que a tabela fique muito grande, esta informação deve ser incorporada em uma parte da redação

para cada compartimento ambiental. Isto deve ser feito tanto para o item Contaminação no Local como para o de Contaminação Fora do Local. Ressalta-se que devem ser incluídos os valores de comparação nas tabelas.

As faixas de concentração dos contaminantes detectados devem ser apresentadas nas tabelas e caso existam, disponibilizar também as médias. Com o objetivo de selecionar os contaminantes de interesse, o avaliador deve utilizar a concentração máxima de um contaminante; isto assegura que serão avaliados todos os contaminantes potencialmente significativos.

Para diferenciar os dados históricos dos atuais, sugere-se identificar, em tabela, as concentrações de um contaminante que documente exposições passadas. É necessário que seja determinado se a remoção passada ou se as atividades de remediação alteraram a contaminação nos compartimentos ambientais. Não deve ser descartada a contaminação passada, presente ou o transporte, até que tenha ocorrido o seguinte:

- a. Determinou-se que o desenho da amostragem é satisfatório no que se refere à cobertura, representatividade, método e frequência de amostragem, armazenamento e envio das amostras ou métodos analíticos.
- b. Dispõe-se de informação segura sobre a ocorrência de atividades de remoção ou de remediação no compartimento ambiental amostrado.

## **5.2. Revisão dos Níveis de Concentração**

Os níveis de concentração relatados para cada contaminante devem ser revisados. Afora a listagem dos contaminantes detectados, deve-se considerar os relatórios do local e os documentos que contêm dados sobre concentrações destas substâncias na fonte de emissão, nas áreas de interesse especial e, em alguns casos, em localidades de referência. A revisão desta informação pode proporcionar indicações preliminares sobre aqueles contaminantes que tenham sido detectados em altas concentrações com maior frequência. Além disso, pode-se comprovar a integridade e representatividade da amostragem ao identificar os compartimentos ambientais específicos que foram amostrados e a localização exata dos pontos de amostragem.

As localidades de referência representam áreas no local ou fora dele que não estão contaminadas. Nestas localidades podem ser obtidas amostras de cada compartimento ambiental que tenham as mesmas características básicas do compartimento ambiental de interesse do local de risco. Para determinar as localidades de referência é necessário o conhecimento sobre a história do local, as emissões e despejos, os caminhos existentes no local ou suas plumas de contaminação (se estão localizados encosta acima, se são contra os ventos, corrente acima, etc).

### **5.3. Avaliação dos Dados e Técnicas de Amostragem**

Antes de usar os dados ambientais que permitam chegar a conclusões na avaliação de saúde, deve-se revisar a falta de adequação, insuficiências e discrepâncias nos dados ou nas técnicas analíticas e de amostragem utilizadas para obter a informação. Isto se faz para obter o resumo GQ/CQ (Garantia da Qualidade/Controle de Qualidade). Uma vez obtido, verifica-se a aceitabilidade dos seguintes critérios: qualidade dos dados de campo, qualidade dos dados de laboratórios e suficiência dos dados.

#### **5.3.1. Qualidade dos Dados de Campo**

Deve-se assegurar que os dados de amostragem no relatório de avaliação do local foram obtidos de acordo com as especificações de GQ/CQ. A informação deve ser revisada sobre os seguintes elementos: Inspeções de Campo; Método e lugar da coleta de amostras; Recipientes e conservantes utilizados na coleta de amostras; Procedimentos de descontaminação; Calibração dos equipamentos; e Duplicatas e alíquotas no campo.

#### **5.3.2. Qualidade dos Dados de Laboratório**

Estes critérios podem ser verificados ao revisar o manuscrito do caso e a revisão resumida de dados que devem ser incluídas no resumo de GQ/CQ. Informação similar deve estar disponível para o Programa de Contratos de Laboratórios (quando for o caso).

**O Manuscrito de Caso** é preparado pelo laboratório que executa as análises dos dados. Este manuscrito deve conter um resumo do controle de qualidade de todos os processos realizados pelo laboratório analítico. O documento assinala os problemas encontrados e suas soluções finais.

**A Revisão Resumida de Dados** é elaborada pela equipe de campo. Este resumo documenta a validade dos tempos de conservação das amostras, o desempenho dos instrumentos, calibração, brancos, recuperação substituta, recuperação das adições de padrões a uma matriz e identificação do composto. São incluídas as documentações sobre as ações tomadas para resolver os problemas de qualidade dos dados e uma avaliação global do caso.

#### **5.4. Identificação do Compartimento Ambiental e Mecanismos de Transporte**

Depois de identificar a fonte de contaminação, devem ser identificados todos os compartimentos ambientais que podem servir para o transporte dos contaminantes, desde a fonte até os pontos onde poderia ocorrer a exposição humana. A lista de compartimentos ambientais inclui: materiais de resíduos e lixiviados, gás, lodos, solo superficial, subsolo, sedimentos, água superficial, água subterrânea ou profunda, ar e biota.

Uma vez identificados os compartimentos, devem ser considerados os mecanismos de transporte e de transformação que poderiam influir na migração dos contaminantes. Deve-se focar, em primeiro lugar, nos meios ambientais amostrados que já se sabe que estão contaminados.

Quando o transporte dos contaminantes envolver mais de um compartimento ambiental, este processo deverá ser explicado no relatório. É importante para o avaliador conhecer a situação passada e presente da contaminação. No caso de meios ambientais que não tenham sido amostrados corretamente, deverão ser explorados o destino dos contaminantes e os processos de transporte para determinar se o meio esteve, está ou estará contaminado.

Uma vez que os processos de transporte tenham sido avaliados para um compartimento em particular e determinada a possível extensão da contaminação desde a

fonte, deve-se definir o ponto (ou pontos) de exposição associado com o dito compartimento contaminado.

### 5.5. Mecanismos de Transporte e Destino dos Contaminantes

Os mecanismos de transporte indicam como cada contaminante de interesse, devido às suas características físico-químicas e às condições ambientais existentes no local, migram desde as fontes de emissão até os pontos onde a exposição humana pode ocorrer. A avaliação dos mecanismos de transporte é muito importante para determinar os seguintes elementos:

- A fonte original de contaminação e o ponto de emissão para uma rota de exposição;
- A possibilidade de contaminação e de exposição potencial, além das áreas amostradas;
- A representatividade e adequação da amostragem realizada no local;
- A necessidade e urgência de realizar estudos adicionais de: amostragem ambiental, avaliação da exposição ou outros relacionados com a saúde;
- Estimar o período no qual os compartimentos ambientais e os pontos de exposição poderiam ter estado contaminados.

No geral, o transporte ambiental envolve os movimentos de gases, líquidos e partículas sólidas dentro de um determinado meio e através de interfaces entre ar, água, sedimento, solo, plantas e animais. Quando uma substância é emitida para o ambiente, um ou mais dos seguintes eventos podem ocorrer:

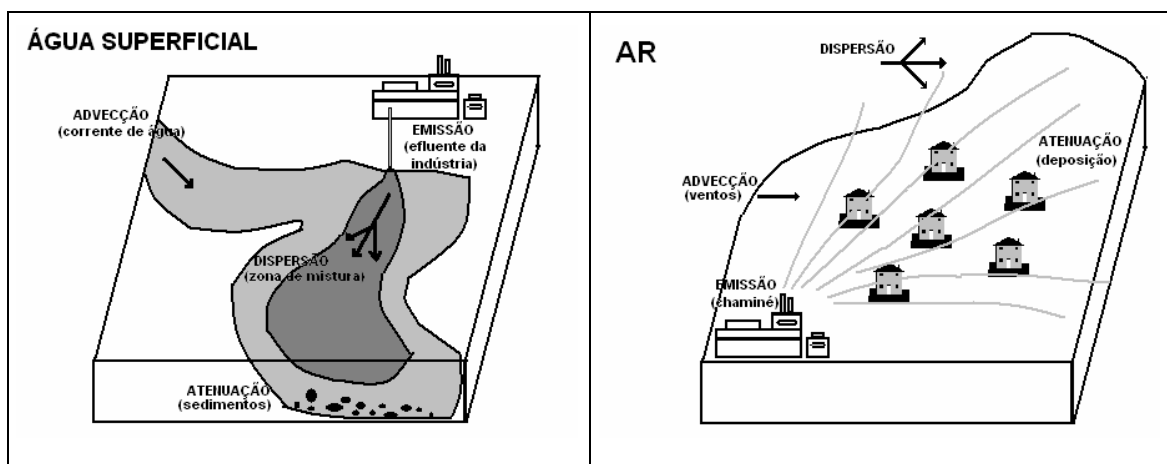
- **Movimento** (advecção/convecção em água, transporte em sedimento suspenso, ou através da atmosfera);
- **Transformação física** (volatilidade, chuva);
- **Transformação química** (fotólise, hidrólise, oxidação/redução);
- **Transformação biológica** (biodegradação); e/ou
- **Acumulação** em um ou mais meios.

Os mecanismos de transporte e o destino dos contaminantes usualmente podem ser simplificados em quatro categorias básicas:

- a. **Emissão:** a liberação ou descarga de material contaminado desde uma fonte;
- b. **Advecção** ou convecção: a migração normal ou o movimento do contaminante através do meio (exemplo, a corrente de um arroio, o fluxo do ar, a erosão do solo, arraste de solo por correntes superficiais, deslizamento de solos, movimento de massas, etc);
- c. **Dispersão:** distribuição de contaminantes em um líquido, gás ou fase sólida devida à colisão deste contaminante com o dito material; e,
- d. **Atenuação:** a degradação, a adsorção ou o atraso do transporte de um contaminante.

Durante a análise do destino do transporte dos contaminantes em um meio, deve-se de responder às seguintes perguntas:

- A que velocidade estão entrando os contaminantes no meio? (velocidade de emissão ou descarga)
- Para onde se dirigem os contaminantes e com que velocidade estão migrando? (advecção)
- Como estão se dispersando os contaminantes no meio?
- Qual é o grau de amortecimento ou degradação dos contaminantes enquanto estão migrando? (atenuação)
- Os contaminantes migrarão para outros meios? (transferência entre meios)
- Quais são os antecedentes sobre exposições passadas e futuras?



**FIGURA 1.** Exemplos de mecanismos de transportes de contaminantes.

## **5.6. Fatores Específicos de Natureza Química que Influenciam no Destino dos Contaminantes e no Transporte Ambiental**

Depois de identificar os contaminantes de interesse no compartimento amostrado, e distinguir o possível mecanismo de transporte, deve-se considerar os fatores de natureza química que podem influir no transporte dos contaminantes. As propriedades físico-químicas, tais como solubilidade e densidade, influem no destino e transporte do composto através das interfaces e dos meios ambientais.

### **5.6.1. Solubilidade em Água**

A solubilidade em água é referente à máxima concentração de um composto químico que se dissolve numa quantidade definida de água pura. Condições ambientais como a temperatura e o pH, podem influir na solubilidade química da substância. Os agentes químicos muito solúveis em água se adsorvem com baixa afinidade aos solos e, por isso, são rapidamente transportados até os corpos de água superficial e subterrânea.

A solubilidade também afeta a volatilidade, por exemplo, os compostos químicos muito solúveis em água tendem a ser menos voláteis e também facilmente biodegradáveis. Os líquidos que são mais densos que a água podem penetrar e sedimentar preferencialmente na base dos aquíferos, enquanto que os líquidos de menor densidade que água serão encontrados recobrando o corpo hídrico.

### **5.6.2. Pressão de Vapor**

É uma medida da volatilidade de um agente químico em estado puro. É um parâmetro importante da velocidade de volatilização dos contaminantes. A temperatura, a velocidade do vento e as condições do solo de um lugar em particular, assim como as características de adsorção e a solubilidade na água do composto, afetarão a taxa de volatilidade.

Em geral, os agentes químicos, com pressão de vapor relativamente baixa e uma alta afinidade por solos ou água, têm menores probabilidades de evaporar-se e chegar ao ar.

Compostos com pressão de vapor  $< 10^{-8}$  mm Hg estarão primariamente associados ao material particulado, enquanto que aqueles com pressão de vapor  $> 10^{-4}$  mm Hg se encontrarão na fase vapor. Compostos com pressão de vapor entre estes dois valores poderão se apresentar nas duas fases (Eisenreich et al., 1981).

### 5.6.3. Constante da Lei de Henry (H)

Esta constante leva em conta o peso molecular, a solubilidade e a pressão de vapor, indicando o grau de volatilidade de um composto químico em uma solução. Quando o contaminante químico tem uma alta solubilidade na água com relação a sua pressão de vapor, isto indica que o composto se dissolverá principalmente em água.

Quando a pressão de vapor é relativamente alta com relação a sua solubilidade em água, a constante da Lei de Henry também é alta e o químico se evaporará preferencialmente ao ar. Um alto valor para a constante da Lei de Henry de um contaminante poderia sugerir que a inalação seria a via de exposição. O quadro 1 assinala as faixas de volatilidade em função do valor da Constante da Lei de Henry encontrada para cada composto.

**Quadro 1 - Volatilidade segundo faixas da constante da Lei de Henry**

<b>Volatilidade</b>	<b>Faixa de valor (<math>\text{atm m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}</math>)</b>
Não volátil	Menor que $3 \times 10^{-7}$
Baixa volatilidade	$3 \times 10^{-7}$ a $1 \times 10^{-5}$
Volatilidade moderada	$1 \times 10^{-5}$ a $1 \times 10^{-3}$
Alta volatilidade	Maior que $1 \times 10^{-3}$

**Fonte:** ATSDR (1992)

### 5.6.4. Coeficiente de Partição de Carbono Orgânico ( $K_{OC}$ )

Também conhecido como coeficiente de partição da matéria orgânica ou carbono orgânico do solo e água, ou coeficiente de adsorção é uma medida da tendência de um composto orgânico para ser adsorvido por solos ou sedimentos.



O  $K_{oc}$  é específico de cada substância e é independente das propriedades do solo. Os valores de  $K_{oc}$  vão de 1 a 10.000.000. Um  $K_{oc}$  alto indica que o químico orgânico se fixa com firmeza à matéria orgânica do solo resultando em que pouca quantidade do composto se move às águas superficiais ou aos aquíferos.

Um valor baixo de  $K_{oc}$  sugere a possibilidade de que o composto químico se mova aos corpos de água (ATSDR, 1992). No quadro 2 são mostrados os valores do coeficiente de  $K_{oc}$  e a relação com a adsorção do solo.

**Quadro 2** - Intervalos de valores do  $K_{oc}$  e adsorção ao solo

Valores do coeficiente $K_{oc}$	Adsorção ao solo
Menor que 10	Muito fraca
10 a 100	Débil
100 a 1000	Moderada
1000 a 10.000	De moderada a forte
10.000 a 100.000	Forte
Maior que 100.000	Muito forte

**Fonte:** ATSDR (1992)

### 5.6.5. Coeficiente de Partição Octanol/Água ( $K_{ow}$ )

Este coeficiente prediz o potencial do agente químico para acumular-se na gordura animal, medindo sua distribuição ao equilíbrio, entre octanol e água. Os organismos tendem a acumular compostos com valores altos da constante  $K_{ow}$  nas porções lipídicas de seus tecidos.

Por isso, uma forma de estimar o potencial de bioconcentração de uma substância é medir o quanto lipofílica ela é. Por ser difícil medir diretamente a lipofilicidade, os cientistas usam regularmente o valor de  $K_{ow}$  para prever a tendência de uma substância para distribuir-se entre o octanol (um representante das gorduras) e a água. O valor de  $K_{ow}$  está relacionado de maneira direta com a tendência a bioconcentrar-se na biota e está inversamente relacionado com a solubilidade em água.

Os agentes químicos com valores altos de  $K_{ow}$  tendem a acumular-se em solos, sedimentos e biota e se transferem aos humanos através da cadeia alimentícia. Por outro

lado, compostos químicos com baixos  $K_{ow}$  tendem a distribuir-se na água e no ar e a via de exposição através da cadeia alimentar é de menor importância que outras vias, tais como a inalação.

#### **5.6.6. Fator de Bioconcentração (FBC)**

O FBC é uma medida da magnitude da distribuição química com relação ao equilíbrio entre um meio biológico (como o tecido de um organismo marinho) e um meio externo como a água.

É determinado dividindo a concentração de equilíbrio (mg/Kg) de um composto químico em um organismo ou tecido pela concentração de um agente químico no meio externo. Em geral, os compostos que têm um alto valor de  $K_{ow}$  têm um alto FBC.

Entretanto, alguns compostos como os hidrocarbonetos aromáticos, não se acumulam significativamente em peixes e vertebrados, apesar de seu alto  $K_{ow}$ . Isto se deve ao fato de que os peixes têm a habilidade de metabolizar rapidamente tais compostos. A bioacumulação é um termo muito amplo, que se refere a um processo que inclui a bioconcentração e qualquer ingestão de resíduos químicos de fontes alimentícias.

#### **5.6.7. Velocidade de Transformação e de Degradação**

Este fator leva em consideração as mudanças físicas, químicas e biológicas de um contaminante através do tempo. A transformação química é influenciada pela hidrólise, a oxidação, a fotólise e a degradação microbiana.

Uma transformação chave para contaminantes orgânicos é a fotólise aquosa, isto é, a alteração de uma espécie química pela absorção da luz. A biodegradação, isto é, a ruptura de compostos orgânicos, é um processo muito importante nos solos. A velocidade de biodegradação está relacionada do conteúdo de matéria orgânica do solo.

É difícil calcular com precisão as velocidades de transformação química e de degradação. Sua aplicação também é difícil, já que tudo isto depende de variáveis físicas e biológicas específicas do local de estudo.

## 5.7. Fatores Específicos do Local de Estudo que Influenciam no Destino e Transporte Ambiental dos Contaminantes

Ao identificar as possíveis rotas de transporte a partir das características físico-químicas da substância química, também deverão ser considerados os fatores específicos do local de estudo que poderiam influir neste transporte. Cada local é único e deve ser avaliado a fim de determinar as características que podem aumentar ou diminuir a migração dos contaminantes de importância. Muitos dos fatores que afetam o transporte dependem das condições climáticas e das características físicas do local.

- **Taxa de Precipitação Anual** - Informação útil para estimar a quantidade de arraste de solo por escoamento superficial, as médias de recarga de aquíferos e conteúdo de umidade nos solos. Uma alta taxa de precipitação anual em um lugar com contaminantes altamente hidrossolúveis, ocasionará uma importante migração. Afora isto, a precipitação remove as partículas e vapores solúveis da atmosfera.
- **Condições de Temperatura** - Afetam o índice de volatilidade dos contaminantes. Por exemplo, uma zona congelada retarda o movimento.
- **Velocidade e Direção dos Ventos** - Influenciam no índice de geração de pó fugitivos. Durante os períodos de estabilidade atmosférica, a sedimentação gravitacional atuará para redepositar as partículas ou gotas suspensas.
- **Condições Diurnas e Estacionais** - Estas condições podem ser um fator importante de alteração das taxas de migração dos contaminantes em lugares onde as médias de precipitação ou temperatura variam muito nas diferentes épocas do ano ou no decorrer do dia.
- **Características Geomorfológicas** - Podem ter um papel muito importante na velocidade das correntes de água, o volume e índice de velocidade de correntes superficiais, médias de erosão e características do solo. Os terrenos sobre pedras fraturadas podem aumentar, de maneira significativa, as conexões hidrológicas entre corpos de água superficiais e aquíferos. Características hidrogeológicas, os tipos e a localização de aquíferos (o nível freático e a condutividade hidráulica) são importantes para determinar o perigo que a zona de estudo representa para fontes de

água potável. Deve-se utilizar com precaução os perfis geológicos gerais e a informação de poços de prova na área de estudo, ao avaliar a conexão entre aquíferos e a continuidade deles. Os contornos do nível freático e as superfícies piezométricas indicam os gradientes hidráulicos e por fim, dão idéia dos padrões de fluxo dos aquíferos, incluindo a possibilidade de descargas superficiais, isto é, infiltrações, mananciais e arroios afluentes.

- **Canais de Águas Superficiais** - Localização, largura e profundidade e suas áreas de inundação próximas à área de estudo também podem afetar a magnitude da migração dos contaminantes. As variações nos fluxos por mudanças nas estações do ano e os arroios intermitentes devem ser considerados na investigação. Em função das correntes efluentes receberem água da zona de saturação (isto é, o canal situado abaixo do nível freático) podem aumentar o movimento dos contaminantes da água subterrânea contaminada para a água superficial. Por sua vez, as correntes afluentes (isto é, o canal situado acima do nível freático) proporcionam água para a zona de saturação e podem aumentar o movimento dos contaminantes da água superficial para a água subterrânea.
- **Características do Solo** - Devem ser consideradas a configuração, composição química e física, porosidade, permeabilidade e capacidade de troca iônica. Tais características influem nos índices de percolação, recarga de aquíferos, lixiviação e transporte de contaminantes. As informações sobre os níveis basais de metais, de compostos orgânicos e sobre o pH nos solos da área são necessárias para delimitar a zona contaminada.
- **Cobertura do Solo** - As características da vegetação na área de estudo influem nos índices de erosão, percolação e evaporação.
- **Flora e Fauna** - A flora e a fauna da área contaminada ou de local próximo poderiam ser utilizadas pelo homem como fonte alimentícia e, por isso, facilitariam a exposição humana.
- **Obras Públicas** - Os esgotos ou canais de drenagem podem facilitar o movimento de contaminantes. Afora isto, poços mal construídos podem causar contaminação de aquíferos.

## 5.8. Amostragens Ambientais Representativas e Confiáveis do Local

Este item orienta a determinar se os dados ambientais são suficientes para caracterizar o transporte de contaminantes e a magnitude da contaminação. Para isto devem ser considerados os seguintes passos:

- a. Revisar as deficiências quanto ao número, localização, período coberto e qualidade das amostras;
- b. Mencionar explicitamente os meios que não tenham sido amostrados; e
- c. Considerar cada uma das seguintes orientações sobre os compartimentos ambientais e as ações de verificação e validação das informações, que são apresentadas no Quadro 3.

**Quadro 3** – Orientações sobre os compartimentos ambientais e as ações de verificação e validação das informações.

Água Superficial	<ul style="list-style-type: none"><li>• Revisar o relatório da visita ao local ou obter informação topográfica para conhecer a declividade do terreno e a direção da corrente de água.</li><li>• Determinar a localização das estações de amostragens (à montante, à jusante, corrente abaixo) em relação à área de estudo e a duração da amostragem para avaliar a representatividade dos dados.</li><li>• Entender que a amostragem em períodos curtos detecta somente o que existe na superfície da água num momento determinado e, por isso, dá pouca informação sobre o transporte de contaminantes.</li><li>• Notar que a concentração dos contaminantes nas águas superficiais, tanto nas correntes como nos corpos d'água, pode variar de maneira significativa devido a condições meteorológicas e hidrogeológicas locais, estratificação térmica e eventos sazonais.</li></ul>
Água Subterrânea	<ul style="list-style-type: none"><li>• Verificar se existe informação suficiente sobre os poços privados e públicos, suas localizações, as populações que os utilizam, tipos de usos, profundidade e tempo de uso. Esta informação é importante para definir se os dados da amostragem são representativos da magnitude da contaminação da água subterrânea.</li><li>• Em caso de não contar com informação sobre a direção do fluxo do aquífero em documentos locais, contatar o órgão ambiental para informação hidrológica local.</li><li>• Considerar o uso de informação sobre as profundidades do nível freático dos poços de monitoramento e de outros poços nas proximidades, a fim de obter dados sobre a direção do fluxo da água subterrânea no nível freático do aquífero.</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar se as amostras de água subterrânea foram filtradas e coletadas à montante e à jusante da área de estudo e se foram obtidas ao longo da pluma de contaminação.</li> </ul>
Ar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ao avaliar a informação sobre o ar, determinar o quanto se pode utilizar os dados com base na duração da amostragem. Indicar se a amostragem é representativa de uma exposição aguda (menos de 14 dias), intermediária (15 – 364 dias) ou crônica (mais de um ano).</li> <li>• Indicar se a amostragem foi realizada na altura da área de inalação.</li> <li>• Verificar, empregando a informação proporcionada pela <i>rosa dos ventos</i> da área de estudo, se a(s) estação(ões) de monitoramento se localiza(m) a favor dos ventos predominantes. Se não existem dados meteorológicos da área de estudo, deve-se estabelecer a distância da estação meteorológica mais próxima que tenha a informação sobre a rosa dos ventos e o quanto ela é representativa da área em questão.</li> <li>• Determinar se existem emissões de poeira provenientes do local e determinar a área alcançada pela trajetória ou deposição da poeira.</li> </ul>
Solo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coletar informação sobre a composição química e física, porosidade e permeabilidade do solo.</li> <li>• Identificar as dúvidas sobre os dados do solo.</li> <li>• Explicar como o método de amostragem pode afetar a informação obtida, por exemplo: indicar o número de amostras coletadas, o local de amostragem de cada uma delas, a profundidade, se as amostras foram coletadas em perfil e, caso afirmativo, se a amostra do perfil foi tomada como única (mistura de várias profundidades) ou se – antes da análise – foi feita uma estratificação, separando frações de distintas profundidades.</li> </ul>
Sedimentos e Lodo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se a amostragem não incluiu amostras estratificadas nos depósitos de lodos ou sedimentos nas áreas de deposição, assinalar que a avaliação não pode determinar os possíveis eventos de contaminação que poderiam ter ocorrido no passado, caso este tipo de amostragem se aplique a área de estudo.</li> </ul>
Biota	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se a absorção de um contaminante pelos peixes representa um possível mecanismo de transporte, é necessário assegurar que existe evidência de que os peixes do local estão contaminados. Caso contrário, determinar a existência de informação suficiente sobre os ambientes aquáticos (águas superficiais e sedimentos) que sugerem a possível exposição dos peixes a certos contaminantes do local e explicar como poderiam contaminá-los.</li> <li>• Se a biota local é contaminada por um compartimento ambiental, determinar se existem antecedentes em outros estudos que indiquem a absorção de contaminantes pela flora e fauna. Citar as pesquisas que relatam tais antecedentes.</li> <li>• Caso os dados existentes sejam suficientes para um determinado meio ambiental, anotar os contaminantes encontrados em tal meio e a magnitude, velocidade e direção da migração dentro e fora da área de estudo. Descrever como esta migração se relaciona com a rota de exposição de interesse.</li> </ul>

## **5.9. Modelos de Transporte Ambiental**

A modelagem ambiental é usada para a análise qualitativa e quantitativa do transporte de contaminantes nas áreas de estudo. Em alguns casos, pode-se usar modelos para apoiar-se na conceituação dos mecanismos de transporte e dos fatores que afetam a área de estudo. Alguns usos específicos da modelagem são:

- Avaliar e recomendar áreas de amostragem;
- Identificar lacunas de informação;
- Descrever tendências temporais e espaciais da concentração de contaminantes em um ponto de exposição;
- Estimar a duração da exposição; e
- Estimar as concentrações dos contaminantes passadas e futuras nos pontos de exposição, quando não existem informações disponíveis.

O avaliador deve reconhecer que os modelos contêm suposições que influenciam na validade de suas predições e, por isto, antes de basear-se nos dados derivados da modelagem, deve-se assegurar, quando possível, de que o modelo empregado tenha sido validado e calibrado com informação específica da área de estudo.

Sendo a validade de ditas suposições, em geral, difícil de ser estabelecida para cada área de estudo, a metodologia de avaliação de risco a saúde humana indica que tais modelos ou expressões matemáticas são ferramentas que somente devem ser usadas como guias para ajudar a tomar certas decisões com relação à saúde pública, e não devem substituir às decisões baseadas nas amostragens ambientais validadas e amplas.

Não devem ser utilizadas concentrações ambientais preditas a partir de modelos para estimar a dose de exposição humana ou para obter conclusões relacionadas com a saúde. Informações proporcionadas por modelos não podem servir como substituto de medições atuais das condições existentes quando se determinam as implicações de saúde pública. Caso sejam utilizados dados provenientes destes modelos, deve-se deixar isto claramente assinalado no relatório, bem como as suas incertezas e limitações.

## 6. IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE ROTAS DE EXPOSIÇÃO

O propósito deste capítulo é mostrar como identificar cada um dos cinco elementos de uma rota de exposição, determinando por sua vez, se estes elementos estão ligados entre si, estabelecer os parâmetros para categorizar a rota de exposição como completa ou potencial e avaliar os pontos que definem se a rota deve ser eliminada ou deve ser analisada mais adiante na avaliação de saúde. Uma Rota de Exposição é um processo que permite o contato dos indivíduos com os contaminantes originados em uma fonte de contaminação e é composta por cinco elementos:

- a. **Fonte de contaminação:** É a fonte de emissão do contaminante ao ambiente. Entretanto, no caso onde a fonte original é desconhecida, esta pode ser representada pelo compartimento ambiental responsável pela contaminação de um ponto de exposição.
- b. **Compartimento ambiental:** Os compartimentos ambientais são vários, incluindo: materiais ou substâncias de resíduos, água subterrânea ou profunda (aquíferos), água superficial, ar, solo superficial, subsolo, sedimento e biota.
- c. **Ponto de exposição:** É o lugar onde pode ocorrer ou ocorre o contato humano com o compartimento ambiental contaminado, por exemplo, uma residência, local de trabalho, parque desportivo, jardim, curso de água (rio, etc), corpo de água (lago, etc), um manancial, um poço ou uma fonte de alimentos.
- d. **Via de exposição:** São os caminhos pelos quais o contaminante pode estabelecer contato com o organismo, tais como: ingestão, inalação e absorção ou contato dérmico.
- e. **População receptora:** São as pessoas que estão expostas ou potencialmente expostas aos contaminantes de interesse em um ponto de exposição.

O relatório da avaliação deve conter somente a informação necessária para distinguir e entender as rotas de exposição, incluindo toda informação essencial às rotas de exposição que estão sendo avaliadas. As conclusões sobre os perigos para a saúde não devem ser analisadas na seção de análise de rotas.



Uma rota de exposição não é simplesmente um compartimento ambiental (solo, ar, água, etc) ou uma via de exposição. Pelo contrário, uma rota de exposição inclui todos os elementos que ligam uma fonte de contaminação com a população receptora. Estes elementos podem ocorrer no presente, no passado ou no futuro.

As diferentes rotas de exposição, mesmo que tenham um mesmo contaminante em comum, podem significar diferentes problemas de saúde. Para determinar se uma rota de exposição é relevante para o estudo, o avaliador deve contar com informação suficiente para ligar o compartimento ambiental contaminado com uma população específica. Se a informação é insuficiente para chegar a tal determinação, o relatório deve indicar qual é a informação que falta e fazer as recomendações pertinentes para preencher o vazio informativo.

Deve-se identificar para qual ou quais contaminantes existe informação insuficiente com relação aos mecanismos de transporte e/ou vias de exposição, indicando que a ausência de informação impede uma avaliação completa dos contaminantes enquanto os dados não estejam disponíveis. Devido à complexidade para identificar rotas de exposição em um local, o uso do Quadro 4 deve ser considerado como uma folha de trabalho para facilitar o manejo informativo dos cinco elementos componentes de toda a rota de exposição.

**Quadro 4- Rotas de exposição**

Elementos da rota de exposição						
Rota Nome	Fonte	Meio ambiente	Ponto de Exposição	Via de Exposição	População Receptora	Tempo

**6.1. Identificação da Fonte de Contaminação**

Uma fonte de contaminação é a origem da contaminação ambiental, como: áreas abertas de incineração; áreas de armazenamento de lodos residuais; tanques de armazenamento; lagoas; fossas; poços de injeção; pilhas de tambores; equipamentos de

proteção individual para o manejo de materiais; chaminés; dentre outras. Cada fonte representa a localização (ponto ou área) onde os contaminantes chegam ao meio ambiente como resultado de algum mecanismo de transporte. Um local de risco pode ter uma fonte de contaminação única ou múltiplas fontes.

Em alguns casos, é difícil identificar a fonte original da contaminação, mesmo que se possa detectar contaminantes no ambiente. Isto não implica que necessariamente se conheça a fonte que origina a contaminação de determinado meio. Em muitas ocasiões a fonte de contaminação não poderá ser conhecida. Em tais casos, e com o fim de estabelecer a rota de exposição, o meio contaminado pode ser assinalado como uma fonte intermediária de contaminação. Com base na informação disponível, deve-se indicar no relatório o que se conhece sobre o tipo e a magnitude da contaminação na fonte e no meio receptor de cada uma das rotas de exposição. É conveniente deixar estabelecido qual a adequação da caracterização das fontes contaminantes na área de estudo.

As fontes de contaminação nem sempre são óbvias. Uma série de fatores deve ser considerada a fim de decidir se a contaminação existiu, existe ou poderá existir no futuro. Tais como: localização ou ponto de emissão de contaminantes; histórico de armazenamento, eliminação ou descarga; contaminantes e concentrações na fonte; taxas de emissão; frequência de descargas; período de operação e condições atuais. Ao considerar a localização e o ponto de emissão de substâncias na área de estudo, devem ser identificadas construções, tais como, tanques, curral, tubulações, ou possíveis fontes naturais como lagoas, açudes, jazidas minerais. Entretanto, a identificação destes pontos não significa que eles representem uma fonte de contaminação.

O histórico do lugar de estudo oferece antecedentes sobre se os contaminantes foram descarregados ou emitidos intencionalmente ou não em uma área particular. Se esta informação foi documentada e comprovada por algum órgão oficial, a área de deposição ou o ponto de emissão poderia ser considerado uma fonte de contaminação. A concentração dos contaminantes deve ser revisada no ponto que se suspeita originar a contaminação e os resultados obtidos devem ser comparados com: 1) concentrações basais das amostras dos compartimentos ambientais obtidas à montante, corrente acima, montanha acima ou vento acima; e 2) concentrações obtidas à jusante, corrente abaixo, montanha abaixo e ventos abaixo.

Esta comparação ajudará a decidir se o ponto de emissão é uma fonte de contaminação. Se, a partir do ponto de suspeita, as concentrações do contaminante diminuem com a distância e se, além disso, a concentração não aumenta na direção contrária, tal ponto pode ser considerado uma fonte de contaminação. Caso na localidade não existam concentrações basais, isto é, níveis ambientais dos compostos químicos de interesse, não se pode determinar se as concentrações no ponto de emissão ou área representam: 1) a fonte original de contaminação; 2) uma fonte intermediária de contaminação que pode não estar relacionada com a fonte original; 3) níveis basais que poderiam estar elevados por depósitos minerais naturais ou por uma contaminação generalizada, por exemplo, pela atividade industrial ou agrícola na área.

A frequência de descarga e de emissão da contaminação poderia ajudar a determinar a necessidade de realizar maiores investigações sobre esta fonte. Os antecedentes sobre o período de operação são fundamentais para definir a importância do ponto de emissão em períodos específicos, particularmente se as emissões envolvem algum elemento humano de controle. Com base no período de operação e nas condições atuais, poder-se-á definir o período que deve ser considerado quando se avalia uma rota de exposição.

## **6.2. Compartimentos Ambientais**

São os meios ambientais que podem ser afetados e viabilizar o transporte dos contaminantes, desde a fonte até os pontos onde poderia ocorrer a exposição humana. Estes compartimentos incluem: materiais de resíduos, lixiviados, gás, lodos, solo superficial, subsolo, sedimentos, água superficial, água subterrânea ou profunda (com subcategorias de poços municipais, privados e de monitoramento), ar e biota.

## **6.3. Identificação de um Ponto de Exposição**

É o ponto de contato das pessoas com um meio contaminado. Pode ser identificado a partir dos usos do solo e dos recursos naturais, no passado, presente e futuro. Os padrões de uso do solo urbano têm variado de forma intensa (recreativo, residencial, agrícola, comercial e industrial) e originado uma grande variedade de pontos de exposição,

dependendo do meio ambiental contaminado e da época examinada. Por isso, é muito importante que o avaliador considere o passado, presente e futuro, com relação aos usos múltiplos do solo e dos recursos naturais. Pode ser possível que, devido a ações corretivas ou por outras atividades desenvolvidas na área do estudo, não se encontrem pontos de exposição e neste caso, o avaliador deve considerar que os pontos de exposição existiram e, assim, buscar sua identificação.

Em locais onde existiram controles físicos e barreiras (cercas permanentes) ou controles institucionais (seguranças ou controle de acesso a área) que preveniam o contato da população com o meio contaminado de interesse, deve-se assumir que não existe ponto de exposição para as pessoas a quem se proíbe entrar em contato com tal meio. Apesar destes controles, algumas pessoas (intrusos, trabalhadores nas obras de remediação, etc) poderiam entrar em contato com o meio contaminado. Quando existe a evidência de que alguns indivíduos tenham tido, ou ainda têm, acesso à zona contaminada, o avaliador deve informar que na área existe, ou existiu, um ponto de exposição. No Quadro 5 são apresentados os possíveis pontos de exposição para cada compartimento ambiental.

### Quadro 5 - Possíveis pontos de exposição para cada compartimento ambiental

Água subterrânea	Poços: municipal, doméstico, industrial e agrícola. Este tipo de água também pode ser usada para atividades recreativas.
Água Superficial	Fontes de água para irrigação, uso público, indústrias e para animais.
Solo	Pode ser ponto de exposição para trabalhadores da área de estudo. Em áreas residenciais pode ser ponto de exposição para os residentes. Os pontos de exposição em interiores também são de interesse, já que podem resultar do transporte desde o local até as casas, pela suspensão e deposição.
Subsolo	Pode ser ponto de contato para os trabalhadores nas escavações
Ar	O ponto de exposição envolve contaminantes voláteis ou que adsorvem em partículas suspensas. O contato pode ocorrer dentro e/ou fora das edificações. Áreas na direção dos ventos predominantes podem ser ponto de exposição pelo arraste de substâncias voláteis ou de contaminantes fixados pelas partículas de pó.
Cadeia alimentar	Os pontos de exposição se apresentam se as pessoas consomem plantas, animais ou produtos alimentícios que tenham tido contato com solo, sedimento, resíduo industrial, água superficial, ar ou biota contaminados.
Outros meios	Os sedimentos podem servir como reservatórios de contaminantes para organismos aquáticos, representando exposição adicional. Materiais de construção contaminados na área de estudo podem ser retirados para serem usados em outros lugares. Lodos de processos de tratamento (como as unidades de tratamento para águas residuais) municipais ou industriais, podem servir como ponto de exposição se são empregados como enriquecedores de solos.

Depois de haver identificado os pontos de exposição na área de estudo, o avaliador deve considerar as vias de exposição **potenciais** para cada um dos pontos identificados.

#### 6.4. Identificação de uma Via de Exposição

A via de exposição representa o quarto elemento de uma rota de exposição. São os meios pelos quais os contaminantes entram no organismo humano e incluem:

- Ingestão de contaminantes por meio de consumo de água subterrânea, água superficial, solo e alimentos;
- Inalação de contaminantes de água subterrânea ou superficial pela presença de vapores ou aerossóis, inalação de contaminantes presentes no ar em forma de gases ou de partículas de solo ou poeira;

- Contato dérmico com contaminantes presentes na água, solo, ar alimentos e outros meios; e
- Absorção dérmica de contaminantes presentes na água, solo, ar, alimentos ou outros meios.

Todas as vias de exposição relevantes para a área de estudo devem ser consideradas, incluindo aquelas que poderiam ser pouco freqüentes, mas concentrando-se nas de maior importância. Se a via de exposição tem a probabilidade de ser pouco freqüente para toda a comunidade na área de estudo, deve-se assinalar esta questão e definir se esta via deve ser eliminada em estudos subseqüentes.

Uma via de exposição potencial que sempre deve ser considerada é aquela decorrente da exposição pela contaminação do ambiente residencial. Esta situação poderia também se estender a outros grupos, mas ressalta-se que alguns grupos são considerados de maior risco como crianças e mulheres grávidas.

Uma vez que a via de exposição tenha sido determinada como relevante para uma rota de exposição, a duração e a freqüência da via também devem ser discutidas. O período compreendido pela via de exposição, quando de importância para o estudo, deve ser assinalado na seção Implicações para a Saúde Pública.

## **6.5. Identificação de Populações Receptoras**

O último elemento de uma rota de exposição é a população que está potencialmente ou de fato exposta, por meio das vias de exposição, aos contaminantes presentes na área. Cada rota deve ser considerada com relação às populações (trabalhadores, residentes, populações de passagem, pescadores) que devem ser identificadas com a maior precisão possível. Por exemplo, se a única rota de exposição for via solo contaminado em uma área residencial ao longo do limite norte de uma zona de estudo, os residentes de dita área seriam a população de interesse para a rota e não toda comunidade que habitasse em um raio de 1 Km da área de estudo. Entretanto, todos os usuários de um abastecimento de água municipal deveriam ser a população exposta de interesse, caso seja observado a contaminação deste abastecimento. Caso a contaminação tenha sido constatada em um poço privado, a população exposta seria somente a de usuários deste poço.

Se uma rota de exposição possuir diversos componentes em um dado momento, o avaliador deve estimar a população para cada um deles. Quando não for possível identificar populações associadas com relação à rota de exposição no passado, presente ou futuro, a rota não deve ser considerada como relevante para a área e isto deve ser explicitado no relatório.

### 6.5.1. Localização das Populações

A localização das pessoas na área de estudo ou proximidades deve ser identificada. As áreas (residenciais, escolas, asilos, parques, áreas de recreação, etc), e as rotas, devem ser assinaladas. A distância com relação à área contaminada pode dar informação sobre a magnitude e a frequência da exposição. Devem ser assinaladas algumas localidades como praias, centros de atração turística, hotéis e outros estabelecimentos ao longo das principais rotas de transporte dos contaminantes, já que implicam na possível exposição de populações em trânsito durante sua estadia no lugar. As populações que poderiam estar expostas aos contaminantes podem ser identificadas ao considerar as vias de exposição em cada ponto de exposição. No quadro 6 são apresentadas as vias de exposição das populações e as características dessas vias.

**Quadro 6** - Vias de exposição das populações e as características dessas vias

Vias de exposição	Características
Contato com a água	Pessoas que utilizam água contaminada para preparação de alimentos, higiene e limpeza doméstica, asseio pessoal ou recreação. Quando possível, devem ser identificadas todas as populações que usem água proveniente de fontes sujeitas à contaminação.
Inalação	Devido à variação da concentração dos contaminantes no ar, as populações afetadas podem ser compostas por pessoas expostas a concentrações diferentes. Podem se sobrepor mapas de isoconcentrações com mapas que identifiquem áreas habitadas para identificar populações expostas a diferentes níveis de contaminantes.
Ingestão de solo	A população pode ser identificada estimando a área de dispersão e determinando a população compreendida dentro desta área. Pode ser caracterizada com maior profundidade, identificando os grupos de alto risco (crianças, mulheres grávidas). Entretanto, deve ficar claro que a população inteira poderia ingerir parte do solo contaminado.
Ingestão de água contaminada	A identificação da população exposta aos contaminantes via água de consumo humano é mais complexa. A magnitude e a extensão da contaminação deve ser determinada (estabelecer se a contaminação se restringe às águas superficiais, aquíferos ou em ambas as fontes; e a que distância migrou os contaminantes). Depois devem ser localizados os sistemas de água potável públicos e privados

	que utilizam água contaminada. Caso os aquíferos estejam contaminados, devem ser obtidas informações específicas sobre os poços. Agregar aos dados sobre sistemas de água dados sobre as populações que são abastecidas por estes sistemas.
Ingestão de alimentos	Quando existe a possibilidade de que os contaminantes entrem na cadeia alimentar, devem ser identificadas as pessoas expostas ou as potencialmente expostas por meio do consumo de plantas e animais. Devem ser consideradas todas as fontes locais de alimento. Quando estes alimentos forem parte de uma rota de exposição na área de estudo, devem ser indicadas as populações sob risco.

Durante a avaliação pode ser necessário o levantamento dos hábitos alimentares, para se obter informação sobre a quantidade e frequência da ingestão de produtos contaminados. O número de pessoas expostas pela ingestão de frutas e vegetais de hortas familiares pode ser estimado pelo número de residências com hortas na área contaminada.

### 6.5.2. Fatores que Influem na Exposição

Cada área de estudo é única e deve ser considerada individualmente a fim de se determinar as características distintas que poderiam aumentar ou retardar a frequência e magnitude da exposição humana. Ao avaliar a possibilidade de exposição, o avaliador deve observar os seguintes fatores:

- **Idade da população** - Afeta o tipo, o nível e frequência de atividades na área ou entorno. Deve ser estabelecida a presença de grupos de alto risco, como crianças, mulheres grávidas e idosos.
- **Condições climáticas** - Uma revisão das condições climáticas é necessária porque fornece informação sobre o tipo e frequência das atividades ao ar livre e de recreação da população local.
- **Acessibilidade à área de estudo** – A população pode entrar em contato com meios contaminados se o acesso à área não for limitado ou restrito. A acessibilidade ao local deve ser delimitada, assinalar os materiais contaminados nos limites do local e áreas de contaminação. As áreas que tenham construções abandonadas ou água estancada podem ser atrativas para crianças.
- **Usos do solo e dos recursos naturais** - Uma revisão do uso do solo no local e suas proximidades fornecerá informações sobre o tipo e a frequência das atividades da população no entorno e sobre a probabilidade de aumento da exposição, que afetam



o grau e a intensidade do contato com os solos, água, ar, resíduos e o consumo de alimentos. O avaliador deve estar atento aos seguintes tipos de uso do solo; áreas residenciais; áreas recreativa; fontes de alimentos; usos agrícolas; usos da água superficial; usos de água subterrânea; e poços residenciais privados.

É necessário empregar julgamento profissional para elaborar a lista final de possíveis rotas de exposição. No relatório final as rotas de exposição podem ser apresentadas em um formato de tabela, onde se indica a fonte contaminante, o meio afetado, os pontos de exposição, as vias de entrada ao organismo e as populações receptoras.

### **6.5.3. Estimativa de Populações Receptoras**

O avaliador deve estimar o tamanho da população exposta, ou potencialmente exposta, para cada uma das rotas de exposição identificada. Os seguintes passos devem servir como um guia para estimar a população receptora:

- a. Antes da visita à área de estudo, deve-se avaliar, as possíveis rotas completas e potenciais.
- b. Durante a visita à área de estudo, as rotas de exposição devem ser reavaliadas considerando o acesso ao local, usos da área (trabalho, recreação, pesca, etc) e pontos de exposição.
- c. Depois que as rotas de exposição, completas e potenciais, tenham sido identificadas, é conveniente estimar o tamanho da população exposta para cada.
- d. Para determinar a população receptora recomenda-se que o avaliador consulte algumas fontes de informação: Associação de moradores; Organizações ou órgãos federais, estaduais e municipais; Censos, levantamentos, PSF ou outras fontes de informação demográfica.
- e. Se não for possível obter um número exato das pessoas expostas, é necessário quantificar o número de residências que representem um ponto de exposição provável em uma rota potencial ou completa na área de estudo e multiplicar cada casa pela média de indivíduos por casa/habitação segundo

os dados do censo correspondente. Se existe uma forma mais exata para calcular o tamanho da população pode ser usada, porém é necessário citar a fonte de informação que se empregou para obter tal estimativa.

- f. Como último recurso, é conveniente estimar o número de pessoas expostas ou potencialmente expostas, que vivem ou trabalham a uma certa distância da fonte de contaminação.
- g. Na avaliação de saúde, devem ser descritas as fontes e o método empregado para estimar a população receptora.

## **6.6. Categorização das Rotas como Potenciais ou Completas**

As rotas de exposição podem ser categorizadas como completas ou potenciais. Cada rota completa ou potencial representa uma condição de exposição passada, presente ou futura que deve ser descrita. Embora o enfoque de maior importância na avaliação seja sobre as rotas de exposição completas, deve-se reservar espaço para se discutir uma ou várias rotas potenciais. Quando não existirem rotas completas, maior atenção deve ser dada às rotas potenciais. Qualquer contaminante associado com as rotas completas ou potenciais requer uma avaliação posterior na seção de Implicações à Saúde Pública.

### **6.6.1. Rotas de Exposição Completa**

Uma rota de exposição completa é aquela em que os cinco elementos ligam a fonte de contaminação à população receptora. Independente de ter ocorrido no passado, presente ou futuro, em todos os casos em que a rota seja completa, a população será considerada exposta. Cada rota de exposição completa deve ser discutida separadamente e apresentada com os cinco elementos (fonte de contaminação, meio afetado, ponto de exposição, via de exposição e população receptora) conectados entre si.

Evitar confundir futuras rotas de exposição completas com futuras rotas potenciais, avaliando o estado da contaminação no ponto de exposição. Convém assumir que uma futura rota de exposição completa existe se cada uma das seguintes condições se apresenta:

- a. Existência de uma contaminação atual em um ponto de exposição ou em um compartimento ambiental que poderia chegar a ser um ponto de exposição

em dias, semanas ou meses (áreas em via de urbanização em local contaminado).

- b.** Pessoas de uma comunidade que no futuro terão acesso a um ponto de exposição ou poderão participar de atividades na área contaminada (trabalhadores das companhias que construirão parques desportivos sobre área contaminada e o trânsito de moradores nos locais contaminados).
- c.** A inexistência de controle ou de restrições em certas áreas, para prevenir o contato com contaminantes atuais em pontos de exposição, onde é alta a possibilidade de contato humano com um meio contaminado que pode aparecer a qualquer momento em um futuro próximo. Por exemplo, existe uma futura rota de exposição completa se uma casa em construção sem um poço profundo, encontra-se localizada sobre um aquífero contaminado e não existem impedimentos para prevenir os residentes ou proprietários sobre a construção de poços no aquífero contaminado. Outro exemplo de uma rota completa futura é quando existe a probabilidade de que a rota presente continue no futuro.

Deve-se ter em mente que as rotas de exposição completas, tanto presentes como futuras, refletem uma exposição presente, contínua e provável em qualquer momento. Considerando que as rotas completas possam ser uma exposição atual ou uma alta probabilidade de exposição no futuro, deve-se prestar mais atenção à avaliação e às medidas recomendadas para prevenir a exposição presente. Este enfoque permitirá que os órgãos ambientais se concentrem naquelas rotas para as quais há preocupações de saúde pública. A seção de recomendações oferecerá elementos sobre esta questão. Alguns exemplos de atividades humanas que poderiam resultar em exposições a partir de futuras rotas completas incluem as seguintes:

- Construção de poços e consumo de água subterrânea contaminada;
- Usos de áreas contaminadas que levariam à exposição humana (residência, asilo, escola, hospital, áreas de recreação, etc).
- Consumo de frutas e vegetais cultivados em áreas contaminadas;
- Consumo de carnes e outros sub produtos de origem animal criados em área contaminada;

- Consumo de pescados de corpos de água contaminados;
- Remoção e/ou uso de material ou meios contaminados;
- Ocupação de construção sobre áreas com emissões de gás proveniente do subsolo; e
- Habitação ou trabalho em áreas com ar contaminado em interiores ou exteriores.

#### **6.6.2. Rotas de Exposição Potenciais**

Uma rota deste tipo existe quando falta um ou mais dos elementos que constituem uma rota de exposição. Também se incluem nesta categoria aquelas rotas para as quais se empregou a modelagem a fim de completar lacunas de informação. Uma rota potencial indica que a exposição a um contaminante pode haver ocorrido no passado, que pode ocorrer no presente ou que poderá ocorrer no futuro.

Recomenda-se assumir que uma rota potencial poderia ocorrer no futuro, quando no ponto de exposição não se encontra evidência atual de contaminação. Por exemplo, uma futura rota potencial de exposição se estabelece quando: a contaminação pode migrar a algum ponto de exposição; ou calculou-se (mediante modelos) ou projetou-se que a contaminação se apresentará em algum ponto de exposição. Se existem possibilidades de que um poço privado de água potável seja afetado pelo contaminante encontrado à montante dele, pode-se então antecipar a existência de uma futura rota de exposição potencial.

Em geral, a discussão das rotas potenciais no documento final deve ser breve. Entretanto, condições particulares da área de estudo, como a descoberta de um aquífero contaminado, com uma pluma à montante de um reservatório para abastecimento público de água, pode ser de suficiente importância para prestar-lhe maior atenção como rota potencial. As avaliações de saúde devem incluir uma lista das rotas potenciais com uma estimativa da magnitude das populações por elas afetadas.

## **6.7. Eliminação de uma Rota de Exposição**

A eliminação de rotas baseando-se em informação sobre compartimentos ambientais não contaminados deve ser avaliada com cuidado, pois o avaliador deve considerar a possibilidade de uma futura contaminação ou, ainda, considerar a confiabilidade e representatividade dos dados das amostras ambientais, antes de tomar uma decisão final.

Não se devem descartar todas as rotas de exposição relacionadas com um compartimento específico tão somente porque uma (ou mais) rota(s) de exposição de tal compartimento não foram consideradas de importância. Para aquelas rotas preocupantes para a comunidade local, deve-se explicar com clareza porque foram eliminados tanto o contaminante que causa preocupação quanto a rota suspeita.

Uma rota de exposição provável pode ser eliminada se ao menos um dos seus cinco elementos está ausente e nunca se apresentará. O julgamento profissional deve ser usado quando se elimina uma rota por falta de dados ambientais. Se uma rota de exposição suspeita não pode ser categorizada como completa ou potencial e nenhum contaminante de interesse é identificado, a rota deve ser eliminada. Por outro lado, deve-se usar a experiência profissional sobre como discutir isto na avaliação de saúde.

Em geral, evita-se discutir rotas de exposição humana ou ambiental que não estejam baseadas em dados ambientais, informação da área de estudo ou antecedentes bibliográficos. Se os contaminantes das rotas de exposição suspeitas são considerados importantes devido à preocupação da comunidade, devem ser discutidos na avaliação de saúde.

## **6.8. Exposição Humana**

Existem três categorias de exposição: população exposta, população potencialmente exposta e exposição desconhecida.

### **6.8.1. População Exposta**

Uma população é considerada exposta se existiu, existe ou existirá, uma rota de exposição completa que liga o contaminante a ela. Uma população exposta inclui pessoas que ingerem, inalam, entram em contato, de alguma forma, com os contaminantes no passado, presente ou futuro. Por exemplo:

- Tenham ingerido, estão ingerindo ou vão ingerir contaminantes de um ou mais meios ambientais;
- Inalaram, estão inalando ou inalarão contaminantes de um ou mais meios ambientais; e
- Tiveram contato, têm contato ou terão contato com contaminantes de um ou mais meios ambientais.

Se um compartimento ambiental (solo) contém um contaminante de interesse (DDT) em um ponto de exposição (jardim residencial) e existe evidência de que tenha ocorrido, ocorre ou ocorrerá uma via de exposição (ingestão), deve-se assumir que os habitantes de dita residência estão ou estarão expostos. Se o jardim residencial está localizado em uma casa desocupada, deve-se assumir que seus futuros ocupantes estarão expostos.

Os indivíduos também seriam considerados como expostos se a exposição for verificada mediante marcadores biológicos ou exames médicos. Entretanto, para a avaliação de saúde, não é indispensável contar com ditos estudos para determinar a exposição em uma população.

### **6.8.2. População Potencialmente Exposta**

Uma população é considerada como potencialmente exposta se uma rota de exposição potencial tenha existido no passado, existe no presente ou existirá no futuro.

### 6.8.3. População com Exposição Desconhecida

Esta categoria deve ser considerada para uma população na qual não tenha sido possível estabelecer uma rota de exposição completa ou potencial.

## 7. IMPLICAÇÕES NA SAÚDE PÚBLICA

Nas etapas anteriores, caracterizou-se a contaminação ambiental, identificando os contaminantes de interesse e analisando todas as possíveis rotas de exposição humana, desde os focos de emissão dos diversos contaminantes, todos os caminhos percorridos, atuais, passados ou futuros, até atingir a população. Procurou-se ainda identificar as populações expostas, suas preocupações com relação à contaminação, bem como seus hábitos, características sócio-demográficas e econômicas.

É bom lembrar que os contaminantes são considerados de interesse na medida em que podem produzir efeitos adversos, atuais ou futuros, sobre a saúde humana. Cada nível de exposição corresponderá à possibilidade, ou não, de ocorrerem determinados efeitos adversos na população exposta.

Para que possam ocorrer efeitos sobre a saúde a partir da contaminação ambiental é preciso que a população se exponha às substâncias presentes no ambiente. Vimos nas etapas anteriores a descrição das rotas pelas quais as substâncias podem entrar em contato com as populações. Para que haja exposição é preciso que se estabeleçam rotas de exposição completas, no passado, presente ou no futuro.

A etapa implicações para saúde pública, dentro da metodologia de avaliação de risco à saúde, consta de três componentes:

- a. **Avaliação toxicológica:** aborda os perfis toxicológicos dos contaminantes definidos como de interesse e calcula a dose de exposição aos contaminantes;
- b. **Avaliação dos dados e dos estudos de saúde existentes:** levantamento e análise de informações sobre a ocorrência de efeitos sobre a saúde associados à exposição aos contaminantes de interesse; e

- c. **Avaliação e resposta às preocupações da comunidade com sua saúde:** investigação da possibilidade de associação entre as preocupações de saúde apresentadas pela comunidade e a exposição aos contaminantes, e esclarecimento a tais preocupações.

Para que se estabeleçam as implicações para a saúde durante a avaliação de risco de uma área contaminada, é fundamental que tenham sido definidos quais os contaminantes químicos de interesse que estão entrando em contato com a população e suas rotas de exposição. Também é importante que tenham sido avaliadas todas as informações de saúde referentes à(s) população(ões) exposta(s), além de suas preocupações diante da contaminação. Essas informações são a base para a realização dos três componentes da etapa implicações para saúde pública.

### **7.1. Avaliação Toxicológica**

Este componente procura avaliar os possíveis efeitos adversos de cada contaminante de interesse no organismo humano, sob as condições em que são encontradas na área em estudo e compreende:

- a. Estudo do perfil toxicológico de todos os contaminantes de interesse;
- b. Identificação dos efeitos sobre a saúde: carcinogênicos e não-carcinogênicos;
- c. Caracterização da população e populações susceptíveis;
- d. Características da exposição;
- e. Cálculo da dose de exposição; e
- f. Comparação do nível de exposição com “valores de referência”.

#### **7.1.1. Estudo do Perfil Toxicológico**

O estudo do perfil toxicológico de cada contaminante de interesse consiste na sua caracterização segundo: as fases de exposição (contato do organismo com o contaminante), a toxicocinética (destino do contaminante após seu contato com o organismo – processos de absorção, distribuição, acumulação, biotransformação e eliminação), a toxicodinâmica



(mecanismos de ação do contaminante no organismo e aparecimento de efeitos nocivos decorrentes da ação tóxica) e a clínica (sinais e sintomas, ou alterações detectáveis, que caracterizam os efeitos deletérios causados no organismo). No item 5 (Contaminantes de Interesse) são apresentados alguns endereços eletrônicos de bancos de dados onde o avaliador poderá encontrar informações a respeito do perfil toxicológico de diversas substâncias químicas

Determinações legais impõem que as pesquisas experimentais, acerca dos efeitos adversos das substâncias sobre os sistemas/órgãos-alvo (sistema nervoso, reprodutor, etc.), incluam também a identificação do seu potencial teratogênico (capacidade de induzir malformações fetais), genotóxico (capacidade de induzir alterações no material genético) e carcinogênico (capacidade de gerar alterações responsáveis pela indução do câncer) (IPCS, 2000). Atenção especial deve ser dada a todas as substâncias que apresentem efeitos genotóxicos, sendo este um indicador de maior nível de potencial lesivo sobre o organismo humano, em especial àqueles em formação. A manifestação clínica deste efeito pode ocorrer somente na geração seguinte, na prole das pessoas expostas, sob a forma de malformações congênitas ou desenvolvimento de cânceres ou tumores.

A observação da capacidade de acumulação da substância no organismo, em particular em ossos, dentes e gordura, influencia a presença de níveis sanguíneos ou urinários do composto e indicar uma exposição passada. Um dos principais órgãos responsáveis pela biotransformação (alterações estruturais no organismo) das substâncias químicas no organismo é o fígado. Um grande número de compostos é biotransformado por ele, porém existem exceções, para compostos com menor potencial lesivo e facilmente excretados pelos rins. Da mesma forma, os rins são responsáveis pela eliminação de um grande número de compostos. A existência de lesão prévia nesses órgãos, fruto de alguma doença subjacente, faz com que os portadores sejam populações particularmente susceptíveis.

Fatores ambientais (como a temperatura) e individuais (como tabagismo e etilismo), o uso de medicamentos e a dieta, também podem afetar a cinética e toxicidade das substâncias químicas no organismo. A temperatura ambiente elevada tende a aumentar a sudorese do indivíduo e, conseqüentemente, diminuir o fluxo urinário normal podendo resultar na menor excreção de metabólitos por esta via. O uso de medicamentos pode

alterar a biodisponibilidade pela ligação às proteínas plasmáticas ou pela indução ou inibição da atividade do sistema microssomal hepático. Além disso, a dieta, o cigarro, bebidas alcoólicas, fatores genéticos, idade, peso, sexo, também desempenham papel importante na biotransformação dos agentes químicos (OGA, 2003).

### **7.1.2. Identificação dos Efeitos sobre a Saúde: Carcinogênicos e Não-Carcinogênicos**

#### **Efeitos Carcinogênicos**

Para que ocorra um câncer, ou melhor, para que uma única célula se torne cancerígena, é necessária uma série de modificações. Uma substância química é dita cancerígena quando é capaz de produzir dano ao funcionamento normal da célula, capaz de participar da série de eventos que ocorrem entre a célula normal até tornar-se cancerígena.

Um carcinógeno pode participar da origem do câncer de duas formas diferentes. Como iniciador do tumor produz alterações mutagênicas que preparam a célula para tornar-se cancerosa. Por si só, essas substâncias não são capazes de gerar câncer, mas modificam a célula permanentemente de tal forma que, quando entram em contato com promotores de tumor essas células são, então, transformadas, não importando o tempo que tenha decorrido entre os dois eventos.

No mecanismo normal de divisão celular, há genes que inibem a divisão e genes que a estimulam. Ocorre câncer quando há mutação em um dos genes que controlam esses mecanismos. Os genes que inibem a divisão celular são chamados de genes supressores de tumor e o gene alterado que hiperativa o estímulo à divisão celular é chamado oncogene. As substâncias químicas podem atuar promovendo mutações genéticas e chegar a essas alterações permanentes. Aqui está a maior parte das substâncias carcinogênicas. Por isso quando uma substância é suspeita de ser carcinogênica ela requer todo cuidado já que se têm poucas evidências de carcinogenicidade em humanos.

Quando características físico-químicas da substância fazem com que tenha uma longa meia-vida, portanto persista muito tempo sem se metabolizar, e também facilitem sua acumulação nos organismos vivos, então haverá mais substância no interior do organismo para promover tais mutações genéticas. De toda forma, o câncer é sempre um evento muito

raro e pode ocorrer longe do momento da contaminação. Essa é uma das razões pela qual o câncer devido a substâncias químicas é pouco diagnosticado, portanto difícil realizar onexo-causal.

Compostos químicos com potencial genotóxico podem induzir ao desenvolvimento de alterações carcinogênicas em múltiplos tecidos e espécies, por alterações nas informações codificadas no DNA. Embora teoricamente possam existir limites para todos os mecanismos de carcinogênese devido aos mecanismos homeostáticos e de reparação celular em relação a químicos genotóxicos assume-se que não existe limite seguro de exposição (Hallenbeck, 1993; IPCS, 2000a).

Da mesma forma, a OMS/IARC determina que quando um composto é considerado carcinogênico para animais, mesmo que em um único sítio e após exposição a altas doses, as ações de saúde a serem realizadas devem considerar a possibilidade de desenvolvimento de câncer em múltiplos sítios em populações humanas expostas (IARC, 1999).

As substâncias são classificadas segundo sua carcinogenicidade por diversas instituições que nem sempre utilizam os mesmos parâmetros. Deste modo, sugere-se a utilização da classificação elaborada pela USEPA e pela Agência Internacional de Investigação do Câncer (*International Agency for Research on Cancer – IARC*), o que não impede o avaliador de consultar outras instituições e utilizar suas classificações, no caso de serem mais restritivas do ponto de vista toxicológico.

Conforme veremos a seguir, essas classificações estão baseadas, em sua maioria, em experimentos com animais. Quando a EPA classifica uma substância como 2B significa que existem evidências suficientes de carcinogenicidade em animais, mas não são suficientes os dados em humanos. Diz-se então que a substância é provavelmente carcinogênica. Os Quadros 7 e 8 apresentam as classificações dos carcinógenos segundo as duas instituições mencionadas.

**Quadro 7 - Classificação das substâncias carcinogênicas - IARC**

<b>Categorias</b>	<b>Evidências</b>
1 - Carcinogênica	Dados suficientes em humanos
2A - Provavelmente carcinogênica	Dados limitados em humanos e dados suficientes em animais OU dados suficientes em animais e outros dados relevantes
2B - Possivelmente carcinogênica	Dados limitados em humanos OU dados suficientes em animais OU dados limitados em animais e outros dados relevantes
3 - Não existem evidências de serem carcinogênicas	Dados ausentes ou inadequados em humanos ou em animais

**Quadro 8 - Classificação das substâncias carcinogênicas - EPA**

<b>Categorias</b>	<b>Evidências</b>
A - Carcinogênica	Dados suficientes em humanos
B - Provavelmente carcinogênica	B1 Dados limitados em humanos e dados suficientes em animais.
	B2 Dados em humanos inadequados ou ausentes e dados suficientes em animais
C - Possivelmente carcinogênica	Dados em humanos ausentes e dados limitados em animais
D - Não existem evidências de carcinogenicidade	Dados ausentes ou inadequados em humanos ou em animais.
E - Não carcinogênica	Nenhuma evidência em estudos adequados em humanos ou animais.

Uma das dificuldades do estudo da carcinogenicidade das substâncias químicas é a escassez de dados em humanos. A maior parte das substâncias, quando existem informações, são oriundas de dados de experimentos em animais. Para a extrapolação desses dados para humanos, é preciso ter em conta que além das diferenças entre as espécies, são utilizados experimentos que usam grandes doses e em geral os animais são submetidos a curtos períodos de exposição. Na maioria das situações de exposição humana encontramos baixas doses e exposição de longa duração. Para minimizar essas dificuldades diversas instituições internacionais desenvolveram modelos para permitir que se faça, com alguma segurança, essa extrapolação dos dados em animais para situações de exposição humana.

### **Efeitos não-carcinogênicos**

A maior parte dos estudos de toxicidade de uma substância química é feita com animais, oferecendo diversas doses conhecidas de uma substância para determinar alguns indicadores de toxicidade como o NOAEL (*no-observed-adverse-effect-level*), que é o nível de maior dose oferecida a uma população de cobaias que não apresentou nenhum efeito adverso; o LOAEL (*lowest-observed-adverse-effect-level*) indica qual o menor nível de dose em que foi observado efeito adverso.

Cada um desses indicadores é elaborado para cada tipo de exposição, quanto à duração (pode ser aguda, intermediária e crônica) e quanto à via de exposição (respiratória, digestiva, cutânea). Outro indicador de toxicidade é a DL50 (dose letal 50 – aquela que mata 50% da população de cobaias). Com base nesses estudos com animais, são elaboradas as curvas de dose-resposta (para cada efeito, nas abscissas são colocadas as doses e nas ordenadas a população de cobaias que apresenta o efeito). Os efeitos sistêmicos ocorrem quando a substância produz efeitos sobre os mais diversos órgãos (rins, fígado, cérebro, coração, etc.) e tecidos, que são observados em animais. Nem sempre eles são os mesmos observados em humanos, mas é lícito supor a ocorrência de efeitos em humanos caso ocorram em animais. Essa extrapolação de animais para humanos é realizada considerando graus de incerteza.

O Nível de Risco Mínimo (*Minimal Risk Level* - MRL) é definido como uma estimativa de exposição diária humana a uma substância perigosa que provavelmente não trará risco apreciável de efeito adverso diferente de câncer, considerando uma duração específica de exposição (aguda de 1 a 14 dias; intermediária de 15 a 364 dias; e crônica de 365 dias ou mais) para uma determinada via de exposição. O MRL foi criado para dar idéia do perigo que representa cada substância. Exposições acima do MRL não significam que ocorrerão efeitos adversos. É um indicador de perigo e quer dizer que exposições até esse nível provavelmente não acarretarão efeito adverso inclusive à pessoa mais sensível.

O MRL é baseado no NOAEL do estudo que menor dose utilizou para verificar o efeito adverso, associado aos graus de incerteza. Quando se dispõe de informações suficientes de diversos estudos em animais, em diversas espécies, é utilizado o NOAEL. O MRL é produzido dividindo-se o NOAEL pelos fatores de incerteza. Em geral, quando se

usa o NOAEL, os fatores de incerteza são dois, agregando um fator 10 pela extrapolação de animais para humanos e outro fator 10 pela variabilidade e suscetibilidades humanas.

### **7.1.3. Caracterização da População e Populações Susceptíveis**

O estudo da exposição humana a contaminantes ambientais e especificamente aos resíduos perigosos inclui sua análise a partir de grupos especiais da população. Algumas faixas etárias merecem atenção especial, são as ditas populações susceptíveis. Elas se constituem dos menores de 18 anos e dos maiores de 60 anos, ou seja, dos fetos, crianças, adolescentes e dos idosos. São populações consideradas susceptíveis à exposição porque quando expostas às substâncias químicas, desenvolvem efeitos à saúde que não são normalmente encontrados na população geral, que podem ocorrer com maior gravidade ou precocidade, ou que podem ocorrer em pessoas expostas a menores níveis de exposição às substâncias químicas.

Existem alguns mecanismos determinantes que explicam esta susceptibilidade aos agentes químicos dentro destes grupos etários definidos. Os fetos e crianças se caracterizam organicamente por estarem em processo de crescimento e desenvolvimento acelerado, com seu organismo ainda em processo de construção em relação ao das pessoas adultas. Portanto, eles têm um maior número de células se dividindo rapidamente, o que as torna mais sensíveis à intervenção dos químicos sobre sua estrutura genética (WHO, 1987). Da mesma forma, o sistema imune e a capacidade de ação das enzimas detoxificadoras das substâncias químicas ainda estão imaturos, o que diminui o potencial de reação do organismo ao agente agressor.

A barreira hematoencefálica que impede a entrada dos agentes químicos em grande quantidade no cérebro também não está totalmente formada e eles apresentam um gradiente de absorção aumentado por unidade de peso. A relação área de superfície corporal por peso corporal é 2,7 vezes maior do que em adultos, a frequência respiratória por minuto pode ser 65 vezes maior e o consumo de água por peso corporal é mais que 2 vezes maior do que em adultos (SELEVAN *et al*, 2000). Isso propicia a que em um mesmo ambiente em que o ar esteja contaminado por pesticidas, por exemplo, a criança esteja inalando proporcionalmente maior volume de ar por quilo de peso corporal por área de superfície

pulmonar. A exposição via dérmica assume nas crianças valor muito superior do que para a população adulta, pois estas apresentam maior superfície corporal em relação ao peso corporal do que aqueles, portanto a exposição a contaminantes através do contato com a pele e posterior absorção pode adquirir proporções significativas.

A população infantil também apresenta outras características próprias, sociais e de comportamento que determinam padrões de relacionamento distintos com os componentes ambientais. Costumam lidar com o solo, a água e a biota de forma mais próxima, mantendo contato manual ou mesmo ingestão e/ou inalação frequentes. No entanto, o grau e tipo de interação com o meio variam de acordo com a faixa etária, padrões culturais e locais de moradia.

Crianças menores de 7 anos, principalmente abaixo dos 4 anos, tendem a permanecer em casa, geralmente só saindo em companhia de adultos, onde os principais pontos de exposição estão em materiais e objetos contaminados dentro da casa, através de paredes ou chão (solo, poeira), roupas e alimentos contaminados. Atenção diferencial deve ser dada à faixa etária menor de 2 a 3 anos, pelo contato estreito com o solo, paredes, móveis e objetos devido ao processo de aprendizagem de engatinhar e andar. Da mesma forma, entre menores de 1 ano, o leite materno constitui uma das principais formas de alimentação, se não a única, especialmente entre menores de 6 meses.

Crianças maiores de 7 anos estão em uma etapa de socialização intensa ao mesmo tempo que possuem maior grau de autonomia e liberdade de ação. Assim, tendem a brincar com os amigos, fora de casa ou ao ar livre, explorando sítios potencialmente contaminados (fábricas abandonadas, depósitos de lixo, plantações com agrotóxicos, etc.) e expondo-se a situações de contato próximo com meios contaminados (banhos de rio, lagos, brincadeiras em terrenos baldios, manuseio e ingestão de frutos). Estão entre as principais frequentadoras de áreas de lazer em condomínios, praças, clubes e escolas.

Crianças têm maior potencial de exposição aos contaminantes no ambiente do que a população adulta. Ao elegerem locais para a construção ou estabelecimento de escolas, creches, áreas de lazer, clubes esportivos, é importante certificar que não hajam pontos de

exposição potenciais futuros levando-se em conta estas características do comportamento infantil.

Dos elementos de uma rota de exposição aqueles mais associados ao componente humano são as vias de exposição e as características da população receptora. Como já apresentado, a forma como um contaminante entra em contato com o organismo humano (vias de exposição) pode ser através da inalação, ingestão ou contato dérmico, ou todas elas juntas. O comportamento das crianças faz com que elas apresentem características especiais de exposição aos contaminantes diferentes dos adultos. Crianças menores de 3 anos têm o hábito de levar a boca quaisquer objetos ou materiais que entram em contato, aumentando o risco de ingestão de contaminantes. Além disso, ocasionalmente ingerem terra. Também nas brincadeiras infantis rolam, arrastam-se pelo chão, pulam e mexem com a terra, favorecendo o contato com o corpo e a inalação de poeira.

As substâncias químicas no ambiente podem causar uma grande faixa de alterações do desenvolvimento em crianças das quais as malformações congênitas são apenas as mais óbvias. Podem também causar déficit clínico e subclínico no desenvolvimento neurocomportamental através de lesão no cérebro fetal. Os distúrbios decorrentes de lesões no desenvolvimento do cérebro incluem de morte a malformações até lesão funcional, esta última a mais difícil de determinar.

Na faixa etária acima dos 60 anos, ocorrem alterações dos mecanismos de equilíbrio fisiológicos, bioquímicos e imunes, com uma diminuição da capacidade de resposta imunológica e de metabolização dos agentes químicos. O conseqüente aumento da produção de metabólitos tóxicos associados a uma “reserva funcional” já prejudicada, leva a uma maior probabilidade de ocorrerem efeitos adversos durante uma exposição aguda a substâncias químicas. Além disso, pessoas idosas têm um maior período de exposição a estas substâncias tóxicas. Existem grupos populacionais que apresentam fatores genéticos que podem potencializar a ocorrência dos problemas de saúde associados com a exposição ambiental. A susceptibilidade genética associada a exposições ambientais pode estar relacionada a doenças como asma e câncer de pulmão e cólon, entre outras. O uso do



tabaco e álcool pode acentuar os efeitos tóxicos das substâncias químicas no organismo humano por meio de uma série de mecanismos de atuação.

É importante extrapolar a discussão de susceptibilidade do ponto de vista estritamente biológico, e entendê-la também como uma condição sócio-cultural. As condições de vida, as heranças culturais, os hábitos sociais, alimentares, de comportamento, são fatores que determinam maior ou menor interação individual com o ambiente, e vão também determinar diferentes padrões de exposição e adoecimento.

#### **7.1.4. Características da Exposição**

Para que possam ocorrer efeitos sobre a saúde a partir da contaminação ambiental é preciso que a população se exponha às substâncias presentes no ambiente. A exposição ambiental dificilmente se configura como a uma única substância, geralmente são compostos que interagem com o meio e que penetram no organismo humano por diferentes vias, podendo desenvolver múltiplas formas de interação, sinergismo ou potencialização dos seus mecanismos de ação e biotransformação.

Não se pode estabelecer a existência de exposição apenas a partir da determinação dos compostos ou seus metabólitos no organismo. Em exposições passadas, dependendo do intervalo de tempo decorrido entre a dosagem dos compostos e a interrupção da exposição, e das características do processo metabólico das substâncias e do organismo dos indivíduos estes podem não ser mais “dosáveis” nos indivíduos, ou estarem dentro dos valores de referência aceitáveis. Sob esta condição, o estabelecimento da relação causa/efeito – a relação entre os efeitos encontrados na população com os níveis de exposição pode ser difícil de realizar.

Nas situações de exposição humana, como a do presente caso, a exposição ocorre a múltiplas substâncias, geralmente são compostos que interagem com o meio e que penetram no organismo humano por diferentes vias, podendo desenvolver múltiplas formas de interação dos seus mecanismos de ação, metabolismo e efeitos. Interações toxicológicas podem aumentar ou diminuir a aparente toxicidade de uma mistura em relação ao esperado, com base nas relações dose/resposta dos componentes da mistura (ATSDR, 2001a). Em

relação ao aumento de toxicidade, quando da exposição a mais de um composto, é admitida a possibilidade de ocorrência de:

- **Efeitos aditivos** – conseqüente à exposição a duas ou mais substâncias, as quais atuam conjuntamente, mas não interagem, sendo geralmente o efeito total a soma simples dos efeitos decorrentes da exposição separada às substâncias sob as mesmas condições;
- **Efeitos combinados** – efeitos sucessivos ou simultâneos de dois ou mais compostos no organismo pela mesma rota de exposição;
- **Efeitos sinérgicos** – efeito biológico decorrente da exposição simultânea a duas ou mais substâncias que é maior do que a simples soma dos efeitos que ocorrem seguinte a exposição separadamente a estas substâncias;
- **Fenômeno de potencialização** - onde uma substância em uma concentração ou dose que por si não tem um efeito adverso acentua o dano causado por outra substância.

As misturas de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) são um exemplo desta complexidade. Não existem estudos adequados que diretamente caracterizem os riscos à saúde e às relações dose – resposta para exposições a essas misturas. Exposição individual a cada um destes químicos pode produzir lesão neurológica, porém, segundo a ATSDR, não foram encontrados estudos que investiguem a ação tóxica conjunta destes compostos sobre o sistema nervoso. Porém, esta considera razoável, para exposições ambientais a misturas desses compostos (BTEX), a existência de uma ação neurotóxica aditiva conjunta baseado em predições de estudos de modelagem PBPK - *physiologically based pharmacokinetic* (ATSDR, 2001b).

Assim, embora a análise da relação dose/resposta para identificação do efeito tóxico permaneça válida como indicador de ações de investigação, apresenta limites como norteador de medidas de monitoramento da saúde e de identificação do dano à saúde em populações expostas.

A concentração dos compostos no ambiente não é igual à dose que é absorvida pelo organismo humano. A forma química como esse composto está presente no ambiente e o meio no qual está, determinarão gradientes distintos de absorção por cada uma das principais vias (inalatória, oral, dérmica). O mercúrio metálico (Hg<sup>0</sup>), por exemplo, quando

na forma de vapor, tem um alto gradiente de absorção, 75 a 80% pela via inalatória, porém se ingerido na forma líquida, será pouco absorvido pela mucosa do trato gastrintestinal, 0,01% (SUE, 1996 e GOYER, 2001). Por isso, é importante que tenha sido estabelecido nas etapas anteriores a forma de apresentação e a rota de exposição de cada contaminante, pois permite estudá-lo a luz do seu potencial de ser absorvido a partir da forma como se apresenta no ambiente. As informações a cerca da biodisponibilidade dos compostos em especial para absorção dérmica são difíceis de serem obtidas e o cálculo da dose de exposição a partir deste parâmetro é sempre limitado.

O cálculo da dose de exposição é o que vai dar a idéia da quantidade da substância que está entrando em contato com os organismos humanos seja através da inalação, da ingestão ou da absorção pela pele. Para tanto, é necessário levarmos em conta a estratificação dessa população segundo faixa etária.

#### **7.1.5. Cálculo da Dose de Exposição**

O cálculo da dose de exposição (anexo II) permite o estabelecimento de níveis de exposição associados com a ocorrência de determinados efeitos sobre a saúde. Essa informação é útil para a organização de programas de saúde específicos para atendimento da população, para uma dada situação de exposição.

No entanto, quando uma substância é considerada carcinogênica, ou potencialmente carcinogênica, não existe dose de exposição segura, devendo considerar toda população potencialmente exposta ao risco de câncer. Ressalta-se também que o cálculo da dose de exposição constitui apenas mais um parâmetro para a tomada de decisões, não devendo ser o fator primordial definitivo. A escuta da comunidade, a análise da toxicidade do contaminante, em especial seu potencial mutagênico, a consideração em relação às variabilidades individuais e aos grupos populacionais susceptíveis, devem ser fatores discutidos para a decisão final.

A ocorrência e o tipo de expressão clínica do dano à saúde conseqüente a exposição aos compostos tóxicos é dependente de três fatores principais, a dose de exposição, o tempo de exposição e o período fisiológico de exposição. Para tanto, é necessário que o avaliador estratifique a população segundo faixa etária, uma vez que cada grupo etário possui um

padrão de comportamento característico que faz com que fique mais ou menos tempo, ou mais ou menos intensamente em contato com o contaminante. É necessário calcular as estimativas de dose de exposição para os diversos grupos populacionais identificados, baseadas nas concentrações de cada substância encontrada nos diversos compartimentos ambientais. O cálculo da dose de exposição é o que vai nos dar a idéia da quantidade da substância que está entrando em contato com os organismos humanos seja através da inalação (ar, vapores), da ingestão (alimentos, solo e água ) ou da absorção pela pele (água, vapores e solo), ou dos diversos compartimentos ambientais. Quando calculamos a dose de exposição de cada grupo químico, levamos em conta todas as vias pelas quais o agente químico penetra no organismo humano para cada um dos subgrupos populacionais definidos, crianças, adultos, idosos. A cada faixa etária considerada, corresponderá um peso corporal médio e valores padrão de inalação de ar, ingestão de solos e água e área de superfície corporal.

### **Dados Ambientais**

O cálculo das doses de exposição é realizado a partir dos contaminantes de interesse, ou seja, aqueles que apresentaram concentrações nos meios examinados acima dos valores de referência e constituem rota de exposição. Para esse cálculo, pode-se utilizar uma média dos valores encontrados acima dos padrões de referência ou, pelo Princípio da Precaução, eleger-se o maior valor encontrado no meio.

### **Vias de Exposição**

As estimativas sobre dose de exposição são geralmente determinadas pela exposição a um contaminante único mediante uma única via. Entretanto, em muitos lugares, a exposição a um contaminante pode ocorrer através de vias múltiplas. Quando isso ocorre, as exposições por meio das diversas vias devem ser somadas para se obter uma dose total de exposição. Para isso são necessárias estimativas do ingresso das substâncias químicas no organismo humano a partir do meio contaminado, através da ingestão, inalação ou absorção

dérmica. Podem ser usadas estimativas pré-definidas como valores básicos de inalação diária de ar ( $\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$ ), ingestão de solo ( $\text{mg}.\text{dia}^{-1}$ ) e de água ( $\text{L}.\text{dia}^{-1}$ ) e do consumo de alimentos. No entanto, o ideal é que pelo menos em relação à taxa de ingestão de alimentos, o cálculo seja baseado em informações locais específicas da população exposta.

#### **7.1.6. Comparação do Nível de Exposição com “Valores de Referência”**

Para avaliar se os contaminantes de interesse têm a possibilidade de comprometer a saúde, nas condições específicas de exposição existentes no local, deve-se comparar as estimativas da dose de exposição com os valores de referência de saúde. Para definir o nível do risco à saúde, para ocorrência de efeitos lesivos não-carcinogênicos, podem ser utilizados como indicadores os Níveis de Risco Mínimo (MRL) da ATSDR e a Dose de Referência (RfD) da EPA ou outros valores de referência de outros países.

A comparação das doses de exposição com os níveis de risco mínimo agudos e intermediários tem o sentido de avaliar o risco que essas substâncias representam, considerando exposições de curta e média duração. É um importante parâmetro para se avaliar a necessidade de intervenção urgente. Porém, as referências prioritariamente utilizadas são as relativas aos experimentos com baixa dose e longa duração (crônicos), os que mais se assemelham à situação vivida na maioria dos casos de populações expostas a substâncias químicas.

#### **7.2. Avaliação dos Dados e dos Estudos de Saúde Existentes**

É fundamental enfatizar que a necessidade de aprofundar as investigações sobre os efeitos à saúde das populações expostas, causados pela exposição a contaminantes ambientais, com estudos epidemiológicos cada vez mais sofisticados, não significa que haja dúvidas de que estas populações estão expostas a substâncias nocivas e sob risco grave de dano à saúde, agravado por tratar de uma exposição crônica, cujo impacto sobre a saúde,

passado, atual e futuro, necessita ser determinado. Por um imperativo ético, não é de forma alguma razoável ou admissível que se pense em esperar que estudos epidemiológicos mostrem os efeitos danosos em humanos para que se interrompa a exposição às substâncias químicas.

Nesse capítulo, procura-se identificar as repercussões sobre a saúde da população exposta, que ocorreram ou estão ocorrendo, a partir de uma revisão dos estudos e pesquisas realizadas, dados de atendimento de saúde existentes e informações colhidas junto à comunidade durante a etapa de levantamento das suas preocupações.

Segundo Câmara e Tambellini (2003), “a metodologia epidemiológica é utilizada em Saúde Ambiental para descrever, analisar ou interferir na relação entre a exposição a poluentes ambientais e a ocorrência de efeitos adversos para a saúde das populações”. Para que os dados epidemiológicos evidenciem a relação causal entre os contaminantes de interesse e a doença, os estudos realizados devem ser desenhados especificamente para tal fim. A maneira de associar efeito adverso sobre a saúde e exposição a um contaminante é comparando grupos expostos e grupos não-expostos. São desenhos de estudo epidemiológicos que apresentam muitas dificuldades particularmente quando se trata do câncer, um evento muito raro. No entanto, devemos ressaltar que as pesquisas devem ser direcionadas para a identificação dos efeitos esperados sob aquela dose de exposição.

### **7.3. Resposta às Preocupações da Comunidade**

Essa seção tem o objetivo de tentar esclarecer algumas dúvidas da população, dentro do escopo de ação deste relatório e do que é possível para a equipe. Durante as várias visitas realizadas à área sob avaliação, ocorre a oportunidade de entrar em contato com vários moradores e lideranças locais que falam sobre as ansiedades e preocupações da comunidade como relatado nas etapas anteriores. Ao longo de um relatório de avaliação de risco, deve haver o cuidado de nortear as pesquisas e estudos no sentido de não só estabelecer o risco existente para a população exposta, mas também procurar as respostas às questões apresentadas pela mesma.

## **8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Nesse último capítulo, são elaboradas conclusões e recomendações para atender aos propósitos da avaliação de risco e discutir as preocupações da comunidade. É importante considerar a definição de saúde e ambiente na Constituição do Brasil, os princípios e as diretrizes do SUS, as limitações do modelo de avaliação de risco e as especificidades do processo de adoecimento da população.

### **8.1. Contexto Brasileiro**

Conforme apresentado no início desse documento, para assegurar o direito à saúde, conforme o art. 196 da Constituição Federal de 1988, foi criado o Sistema Único de Saúde (SUS), sistema público descentralizado, integrado pelas três esferas de governo, que foi regulamentado pelas Leis Orgânicas da Saúde (Leis nº 8.080/90 e 8.142/90), e estabelece que o contexto de saúde vai além da simples ausência de doença, voltando-se para a qualidade de vida do indivíduo, grupos sociais, comunidades, países e regiões.

É comum entender que o dano à saúde existe quando se encontram evidências de lesão à estrutura ou ao funcionamento dos sistemas e aparelhos do organismo humano. Essas evidências podem ser desde alterações bioquímicas, até sintomas e sinais clínicos. No entanto, o conceito de saúde é mais amplo. A constituição brasileira assinala que saúde significa não somente ausência de doença e acesso a serviços sanitários, mas é resultado da possibilidade de que o cidadão brasileiro tenha trabalho, moradia, ambiente saudável, lazer, cultura e educação. Essa assertiva traz a condição de ambiente saudável como diretamente relacionado à aquisição de saúde e permite uma compreensão ampla do seu significado.

A saúde ambiental é o componente da saúde pública que se ocupa das formas, substâncias, forças e condições do ambiente entorno do homem, que podem exercer influência sobre sua saúde e bem-estar. Atualmente, esse conceito compreende o enfoque

ecológico que considera o ambiente na totalidade dos seus componentes. Nos últimos vinte anos, passou a incorporar questões mais amplas como, por exemplo, a pobreza, o desenvolvimento sustentável e a qualidade de vida (Câmara & Tambellini, 2003).

Essa definição ultrapassa a questão biológica, abrangendo outras dimensões. Tanto como a condição de estar saudável, é importante a sensação de estar saudável. Ou seja, é importante “sentir-se bem”, estando fatores e condições do ambiente diretamente relacionados à produção dessa percepção de bem-estar.

## **8.2. Processo de Adoecimento e Limitações do Modelo de Avaliação de Risco**

O processo de adoecimento é particular de cada pessoa, sendo conseqüente a fatores de caráter coletivo como o meio ambiente e o contexto social, econômico, histórico e cultural de uma dada sociedade. É também determinado por outros fatores de caráter individual, como o mapa genético de cada um, a carga genética que herdamos de nossos antepassados, o estado nutricional, de desenvolvimento e o grau de maturidade do nosso organismo. A junção dessas duas ordens de fatores é que determina a relação entre saúde e doença em uma pessoa, e explica porque alguns adoecem e outros não, quando expostos às substâncias químicas, e porque podem ocorrer patologias diferentes em pessoas expostas ao mesmo composto.

É importante lembrar que em muitos casos a população exposta tem baixa escolaridade, baixa renda, subemprego, condições precárias de saneamento, é acometida por múltiplas doenças infecciosas, subnutrição, doenças crônicas, entre outras. Nessas populações, a exposição a alguma substância química, ou múltiplas substâncias, se configura como um fator de risco adicional, agravando sua vulnerabilidade. Além disso, a resposta biológica nem sempre corresponde às descrições existentes na literatura.

Devemos acrescentar as limitações do modelo de avaliação de risco principalmente em relação aos limites de referência; aos efeitos adversos ou a capacidade do agente químico produzir câncer e/ou efeitos sistêmicos; uso de estimativas ou dados substitutos quando faltam informações sobre a exposição, local e contaminantes; e considerar o “pior



cenário” ou as maiores concentrações nos cálculos da exposição para não subestimar o risco. Existem incertezas geradas pela insuficiência de dados, particularmente os relacionados com a exposição e efeitos adversos. Além disso, dados genéricos são utilizados nos cálculos como parâmetros sobre idade, taxas de inalação, consumo de água e alimentos e duração da exposição, entre outros (Schmidt, 2004 e EPA, 2004).

Afora isso, fatores numéricos de segurança ou fatores de incerteza são utilizados para minimizar o efeito da variabilidade e a extrapolação de dados sobre efeitos em animais para efeitos em humanos. Portanto, os fatores de segurança são utilizados para responder questões não conhecidas como as diferenças nas respostas entre as espécies, bem como a variabilidade espacial, temporal e entre os indivíduos, e a sensibilidade potencial aumentada em determinados grupos da população, como crianças, por exemplo.

As conclusões e recomendações em relação ao risco para as populações expostas podem parecer extremamente conservadoras, dependendo dos interesses dos diferentes grupos envolvidos no caso, pois podem superestimar o risco. Porém, deve-se considerar que essas populações estão expostas a um ou mais contaminantes, por várias vias, durante anos ou décadas. Os efeitos tóxicos, portanto, podem aparecer com maior frequência nessas populações do que no resto dos indivíduos, configurando um risco adicional de adoecimento.

Finalmente, para a tomada de decisão, gerenciamento e comunicação do risco é necessário que o processo de avaliação de risco seja claro e transparente, conhecido pelas partes envolvidas: população, especialmente os expostos, cientistas, governo, justiça, legisladores, indústria, entre outros, para garantir a preservação da saúde e qualidade de vida da população.

Em resumo, embora a doença venha sendo melhor entendida por procedimentos contextualistas, aproximando uma visão mais relativista e menos determinista no fenômeno “adoecer”, isso não ocorre sem dificuldades, pois a incerteza, inerente à idéia de “risco”, é conflitante com a percepção construída para o saber científico. Além disso, há o forte apelo da tradição biologicista, o fraco subsídio das ciências afins que dão suporte teórico e as implicações no âmbito social específico, como os pleitos jurídicos. O direito ainda tenta com dificuldades superar a noção de “causa”, buscando alcançar o entendimento dos fenômenos a partir da idéia de “risco” (Lieber & Lieber, 2002).

### 8.3. Conteúdo das Conclusões e Recomendações

Considerando o exposto acima e as categorias e definições mostradas no Quadro 9, é possível elaborar conclusões e recomendações nos casos de áreas contaminadas no Brasil. No Quadro 10 são mostradas as divisões das categorias risco, os critérios de categorização e as recomendações do setor saúde para as ações do setor ambiental.

**Quadro 9-** Categorias e definições de risco

<b>Categoria</b>	<b>Definição</b>
<b>A</b>	Utilizada para os locais que apresentam um risco para a saúde pública como resultado de exposições passadas, presentes e futuras, de curto ou longo prazo, a substâncias químicas perigosas, ou locais onde existe risco físico
<b>B</b>	Utilizada para os locais que apresentam um risco para a saúde pública como resultado de exposições passadas, presentes e futuras, de curto ou longo prazo, a substâncias químicas perigosas não carcinogênicas, com valores abaixo dos níveis de referência.
<b>C</b>	Essa categoria se utiliza para os locais que têm informação incompleta.
<b>D</b>	Essa categoria se utiliza para os locais que não apresentam um risco para a saúde pública.

**Quadro 10** - Critérios e recomendações para as categorias de risco para a saúde pública.

Categoria	Critérios	Recomendações de Ações de Saúde	Recomendações do setor saúde para ações de ambiente
A	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existiu, existe e poderá existir rotas de exposição completas a uma ou mais substâncias carcinogênicas ou com potencial carcinogênico por mecanismo genotóxico; <b>e/ou</b></li> <li>- Existiu, existe e poderá existir rotas de exposição completas a uma ou mais substâncias com efeitos tóxicos sistêmicos em níveis acima dos valores de referência; <b>e/ou</b></li> <li>- Os dados de efeitos na saúde da comunidade específica indicam que o local teve um impacto adverso na saúde humana que requer uma rápida intervenção; <b>e/ou</b></li> <li>- Os perigos físicos no local representam um risco eminente</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tomar as medidas necessárias para afastar os riscos físicos existentes e interromper a exposição da população; na impossibilidade de eliminação dos riscos, remover a população.</li> <li>2. Identificar a população exposta (passado, presente e potencial no futuro) por meio do Cadastro Nacional de Usuários do SUS.</li> <li>3. Acompanhar a saúde das populações expostas por meio de ações de Vigilância e Atenção (vigilância ambiental, epidemiológica, sanitária e saúde do trabalhador, atenção básica, média e alta complexidade) incluindo: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaborar protocolos específicos para avaliação de saúde dos expostos e ações de vigilância à saúde;</li> <li>- Estruturar sistema de informação para vigilância dos expostos;</li> <li>- Monitorar os indicadores biológicos de efeito, exposição e de vulnerabilidade social e econômica;</li> <li>- Formar e capacitar continuamente os profissionais de saúde e agentes comunitários para atender às</li> </ul> </li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar parcerias visando as medidas que interrompam as rotas de exposição, bem como o monitoramento das condições ambientais;</li> <li>- Monitorar a qualidade ambiental para subsidiar as ações de vigilância e atenção à saúde da população exposta.</li> </ul>

	de dano à saúde;	<p>especificidades das ações de atenção e vigilância à saúde dos expostos;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementar projeto de educação, comunicação de risco e informação em saúde para a população exposta e profissionais dos órgãos envolvidos na tomada de decisão;</li> <li>- Fortalecer os mecanismos de controle social e participação comunitária, como estabelecido no SUS;</li> <li>- Fomentar e executar estudos e pesquisas para fundamentar cientificamente as intervenções, tomada de decisão e gestão nos diversos campos de interesse da situação em foco;</li> <li>- Estabelecer mecanismos de gestão que permitam a reestruturação e o fortalecimento do setor saúde para atender às especificidades de atenção e vigilância à saúde da população exposta;</li> <li>- Fortalecer parcerias intra e intersetoriais para coordenação e implementação das ações de vigilância e atenção à saúde da população exposta.</li> </ul>	
<b>B</b>	<p>- Os dados são disponíveis para todos os meios ambientais aos quais os humanos estão sendo expostos; e</p> <p>- Existiu, existe e poderá existir rotas de exposição completas a</p>	<p>1. Identificar a população exposta (passado e potencial no futuro) por meio do Cadastro Nacional de Usuários do SUS;</p> <p>2. Acompanhar a saúde das populações expostas por meio de ações de Vigilância e Atenção à saúde da população exposta (vigilância ambiental, epidemiológica, sanitária e saúde do trabalhador, atenção básica, média e alta complexidade)</p>	<p>Mitigar ou eliminar as rotas de exposição;</p> <p>Monitorar a qualidade ambiental para subsidiar as ações de vigilância e atenção à saúde da população exposta.</p>

	<p>uma ou mais substâncias com efeitos tóxicos sistêmicos, porém em níveis abaixo dos valores de referência; e</p> <p>- Existem dados que indicam deterioração da qualidade de vida da população do local; e</p> <p>- Não existem dados de efeitos de saúde específicos da comunidade que indiquem que o local teve um impacto adverso na saúde humana.</p>	<p>incluindo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaborar protocolos específicos para avaliação de saúde dos expostos e ações de vigilância à saúde;</li> <li>- Estruturar sistema de informação para vigilância dos expostos;</li> <li>- Monitorar os indicadores biológicos de exposição, efeito e de vulnerabilidade social e econômica;</li> <li>- Formar e capacitar continuamente os profissionais de saúde e agentes comunitários para atender as especificidades das ações de atenção e vigilância à saúde dos expostos;</li> <li>- Implementar projeto de educação, comunicação de risco e informação em saúde para a população exposta e profissionais dos órgãos envolvidos na tomada de decisões;</li> <li>- Fortalecer os mecanismos de controle social e participação comunitária como estabelecido no SUS;</li> <li>- Fomentar e executar estudos e pesquisas para fundamentar as intervenções, a tomada de decisão e a gestão nos diversos campos de interesse da situação em foco;</li> <li>- Estabelecer mecanismos de gestão que permitam a reestruturação e o fortalecimento do setor saúde para atender às especificidades de atenção e a vigilância à saúde da população exposta;</li> <li>- Fortalecer parcerias intra e inter setoriais para coordenação, implementação das ações de vigilância e atenção à saúde da população exposta.</li> </ul>	
--	---	--	--

<p><b>C</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dados disponíveis insuficientes para caracterizar a exposição; e</li> <li>- Não existem dados, ou são insuficientes, que indiquem que o local teve um impacto adverso sobre a saúde humana.</li> </ul>	<p>Identificar os dados ou informações necessárias para avaliar adequadamente os riscos à saúde pública originados do local, por meio de estudos e pesquisas de saúde e ambiente para complementar as informações como proposto na metodologia (vide etapas respectivas).</p>
<p><b>D</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não existem indícios ou dados que comprovem a exposição humana atual ou passada a meios contaminados; e</li> <li>- Não é provável que ocorram exposições futuras a meios contaminados; e</li> <li>- Não existem dados de efeitos de saúde específicos da comunidade que indiquem que o local teve um impacto adverso na saúde humana.</li> </ul>	<p>Realizar ações de educação, comunicação de risco e informação em saúde para a comunidade e profissionais dos órgãos envolvidos na tomada de decisões, tendo em vista que não está ocorrendo, não ocorreu no passado nem é provável que ocorra no futuro uma exposição humana que possa ser de interesse na saúde pública.</p>

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2001a. Guidance manual for the assessment of joint toxic actions of chemical mixtures. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.pp:2.  
<http://www.atsdr.cdc.gov.interactionprofiles/ipga.html>

ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2001b. Interaction Profile for Benzene, Toluene, Ethylbenzene and Xylenes (BTEX). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.pp:ix.  
<http://www.atsdr.cdc.gov.interactionprofiles/ip05.html>

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). 1992. Public Health Assessment Guidance Manual. Lewis Publishers. Boca Raton – Ann Arbor – London – Tokyo. 220 pp.

Câmara, V.M.; Tambellini, A.T.2003. Considerações sobre o uso da epidemiologia nos estudos em Saúde Ambiental. Rev. Bras.Epidemiol., 6(1): 1 – 10

Eisenreich S.J, Looney B.B, Thornton JD. 1981. Airborne organic contaminants in the Great Lakes ecosystem. Environ Sci Technol 15(1): 30-38.

GOYER, R. A. – Toxic effects o metals. In: KLASSEN, C.D. ed. - Casarett and Doull's Toxicology: the basic science of poisons. 5 ed. New York, Mac Graw-Hill Inc., 2001, p.691-737.

Hallenbeck, W.H. Quantitative risk assessment for environmental and occupational health (2nd ed.). ISBN 0-87371-801-1. Lewis Publishers,INC. London: 1993, pp. 23

IARC – International Agency for Research on Cancer, 1999. <http://www-cie.iarc.fr/monoeval/studiesanimals.html>.

IARC – International Agency for Research on Cancer, 1999a. <http://www-cie.iarc.fr/monoeval/eval.html>.

IPCS – International Programme on Chemical Safety. General Scientific Principles of Chemical Safety. Training Module No. 4. World Health Organization, 2000: pp.32.

IPCS – International Programme on Chemical Safety. General Scientific Principles of Chemical Safety. Training Module No. 4. World Health Organization, 2000a: pp.12.

IUPAC – International Union of Pure and Applied Chemistry. Pure Appl.Chem.,1993, 65 (9), pp. 2003 – 2122.  
<http://sunsite.tus.ac.jp/pub/academic/chemistry/iupac/Download/reports/1993/6509duffus/>

LIEBER, R. R. & LIEBER, N. S. R. – O conceito de risco: janus reinventado. In: MINAYO, MA. C. S. & MIRANDA, A. C.(Org.) – Saúde e ambiente sustentável: estreitando nós. FIOCRUZ, Rio de Janeiro, 2002, p. 69-112.

OGA, S. (Org.) – Fundamentos de Toxicologia. 2o Ed. Atheneu, São Paulo, 2003, 474p.

SCHMIDT, C. W. – Risk assessment at the EPA, an agency self-exam. Environmental Health Perspectives, 2004; 112(8):A482-5.

Selevan SG, Kimmel CA & Mendola P 2000. Identifying Critical Windows of Exposure for Children`s Health. Environ Health Perspective 108 (suppl 3): 451-455.

SUE, Y. J. – Mercury. In: GOLDFRANK, L.R.; FLOMENBAUM, N.E.; LEWIN, N.A.; WEISMAN, R.S.; HOWLAND, M.A.; HOFFMAN, R. S. – Goldfrank`s Toxicologic emergencies. 6th . ed. Stamford, Connecticut, Appleton & Lange, 1996, p.1319-31



UNITED STATES, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - An examination of EPA risk assessment principles and practices. Staff Paper Prepared for the U.S. Environmental Protection Agency by members of the Risk Assessment Task Force. EPA/100/B-04/001, March 2004, 193p.

WHO Study Group 1987. Children at Work: Special Health Risks. Technical Report Series 765: 5-47.

## 10. ANEXO I

- **Indicadores de Saúde**

- Anuário Estatístico de Saúde do Brasil - 2001  
(<http://portal.saude.gov.br/saude/aplicacoes/anuario2001/index.cfm>)
- Indicadores e Dados Básicos (IDB-2003)  
(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/idb2003/matriz.htm>)
- Indicadores Municipais de Saúde - Portal da Saúde  
(<http://portal.saude.gov.br/portal/aplicacoes/tabfusion/default.cfm?estado=PR>)
- Caderno de Informações de Saúde  
(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/cadernos/cadernosmap.htm>)
- Mortalidade Infantil  
(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/mortinf/miopcao.htm>)
- Indicadores do Pacto de Atenção Básica 2004  
(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/siab/pacto2004/pacmap.htm>)

- **Assistência a Saúde**

INTERNAÇÕES HOSPITALARES:

- Internações por especialidade e local de internação – desde 1981  
(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sih/rxmap.htm>)
- Procedimentos hospitalares por local de internação - desde 1992  
(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sih/pimap.htm>)
- Procedimentos hospitalares por local de residência - desde 1995  
(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sih/prmap.htm>)

INFORMAÇÕES DE MORBIDADE

(<http://tabnet.datasus.gov.br/tabnet/tabnet.htm>)

PRODUÇÃO AMBULATORIAL - DESDE 1994

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sia/pamap.htm>)

IMUNIZAÇÕES - DESDE 1994

- Doses aplicadas  
(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/pni/dpnimap.htm>)
- Cobertura (<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/pni/cpnimap.htm>)

## ATENÇÃO BÁSICA - SAÚDE DA FAMÍLIA - DESDE 1998

- Situação de Saúde

(<http://www.datasus.gov.br/siab/siabs.htm>)

- Produção e Marcadores

(<http://www.datasus.gov.br/siab/siabp.htm>)

- Cadastramento Familiar

(<http://www.datasus.gov.br/siab/siabf.htm>)

- Situação de Saneamento

(<http://www.datasus.gov.br/siab/siabc.htm>)

- **Rede Assistencial**

- Rede hospitalar - abril de 1992 a julho de 2003

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sih/cxmap.htm>)

- Rede ambulatorial - de julho de 1998 a julho de 2003

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sia/cnmap.htm>)

- Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde

(<http://cnes.datasus.gov.br/>)

- Pesquisa Assistência Médico-Sanitária (AMS) - 1981 a 1990, 1992, 1999 e 2002

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/ams/amsopcao.htm>)

- **Morbidade e Informações Epidemiológicas**

- Morbidade hospitalar por local de internação - desde 1984

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sih/mimap.htm>)

- Morbidade hospitalar por local de residência - desde 1995

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sih/mrmap.htm>)

- Morbidade hospitalar por causas externas por local de internação - desde 1998

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sih/eimap.htm>)

- Morbidade hospitalar por causas externas por local de residência - desde 1998

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sih/ermap.htm>)

- AIDS - desde 1980

([http://www.aids.gov.br/tabnet\\_aids.htm](http://www.aids.gov.br/tabnet_aids.htm))

- Câncer de colo de útero e de mama - desde 2002

(<http://corvo.datasus.gov.br/siscam/siscam1.htm>)

- Hanseníase - desde 1997

(<http://hanseniase.datasus.gov.br/hans/hans.htm>)

- Saúde bucal - Levantamento Epidemiológico em Saúde Bucal – Cárie Dental - 1996

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sbucal/sbdescr.htm>)

- **Estatísticas Vitais - Mortalidade e Nascidos Vivos**

- Mortalidade geral - desde 1979

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sim/obtmap.htm>)

- Nascidos vivos - desde 1994

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/sinasc/nvmap.htm>)

- **Recursos Financeiros**

- Recursos do SUS

INFORMAÇÕES POR MUNICÍPIO

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/recsus/rsmap.htm>)

INFORMAÇÕES POR PRESTADOR

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/recsus/rpmap.htm>)

TRANSFERÊNCIA A MUNICÍPIOS

([http://portal.saude.gov.br/saude/area.cfm?id\\_area=347](http://portal.saude.gov.br/saude/area.cfm?id_area=347))

CRÉDITOS A PRESTADORES

([http://portal.saude.gov.br/saude/area.cfm?id\\_area=352](http://portal.saude.gov.br/saude/area.cfm?id_area=352))

ORÇAMENTOS PÚBLICOS EM SAÚDE (SIOPS)

(<http://siops.datasus.gov.br/indicadores.htm>)

BDAIH - BANCO DE DADOS DE AIH

(<http://bdaih.datasus.gov.br/scripts/menu.asp>)

GUIA DE AUTORIZAÇÃO DE PAGAMENTO (GAP) - DE 1990 A 1997

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/gap/gpmap.htm>)

- **Informações demográficas e socioeconômicas**

POPULAÇÃO RESIDENTE

- População residente - de 1980 a 2004 (Censos 1980, 1991 e 2000, Contagem 1996 e projeções intercensitárias), segundo faixa etária, sexo e situação de domicílio

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/ibge/popmap.htm>)

- População residente - estimativas de 1992 a 2004 utilizadas pelo TCU para determinação das cotas do FPM

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/ibge/poptmap.htm>)

#### EDUCAÇÃO

- Alfabetização - 1991, 2000

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/ibge/alfmap.htm>)

- Escolaridade - 1996

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/ibge/estmap.htm>)

#### SANEAMENTO

- Abastecimento de água - 1991, 2000

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/ibge/aagmap.htm>)

- Instalações sanitárias - 1991, 2000

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/ibge/sanmap.htm>)

- Coleta de lixo - 1991, 2000

(<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/ibge/lixmap.htm>)

- Informações específicas por município

( <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>)

- **Informações ambientais**

- Ministério do Meio Ambiente

(<http://www.mma.gov.br>)

- Agência Nacional das águas

(<http://www.ana.gov.br>)

## 11. ANEXO II

### ESTIMATIVA DA DOSE DE EXPOSIÇÃO

A seguinte equação é a base para se estimar a dose de exposição que resulte do contato com um meio contaminado:

$$DE = \frac{C \times TI \times FE}{PC}$$

Onde:

DE = Dose de Exposição

C = Concentração do contaminante no meio

TI = Taxa de ingresso (ingestão, inalação, etc)

FE = Fator de Exposição

PC = Peso Corporal

Alguns valores padronizados que podem ser úteis na estimativa da exposição são apresentados no Quadro II.1.

#### Quadro II.1. Valores Padronizados pela ATSDR

<b>Peso Corporal</b>	<b>Duração da exposição</b>
70 Kg - média para adultos	70 anos – por toda vida, por convenção
16 Kg - uma média para 50% das crianças entre 1 a 6 anos de idade	30 anos – percentil de 90% dos que vivem em uma só residência (limite máximo)
10 Kg - média para bebês	9 anos – percentil de 50% dos que vivem em uma só residência (valor médio)

A equação acima permite o cálculo da dose de contaminante que é ingerida pelo trato gastrointestinal ou que é inalada pelo trato respiratório. Entretanto, esta dose de exposição poderia não ser igual que a dose absorvida, que é a dose que atravessa os epitélios gastrointestinal ou respiratório. Para os propósitos de avaliação de risco, a dose de exposição é mais útil que a dose absorvida, já que esta última raramente é conhecida para

humanos ou para animais para se fazer a comparação. A dose de exposição em humanos é comparável à dose administrada usada nos estudos com cobaias animais desenhados para a obtenção da relação dose-resposta.

Em alguns casos a exposição é irregular ou intermitente. Para estes casos, inclui-se um fator de exposição que relaciona a dose no intervalo que dure a exposição. O fator de exposição se calcula ao multiplicar a frequência de exposição pela duração da mesma e dividindo pelo período no qual a dose se relaciona. Por exemplo, se um menino entra em contato com solo contaminado duas vezes na semana, por um período de 5 anos, o fator de exposição seria (o fator não tem unidade):

$$FE = \frac{(2 \text{ dias/semana}) \times (52 \text{ semanas}) \times (5 \text{ anos})}{(5 \text{ anos}) (365 \text{ dias/ano})} \rightarrow FE = 0,28$$

Portanto, neste exemplo, a dose de uma única exposição se multiplicaria por 0,28 para se obter a média da dose diária para o período de 5 anos.

O uso de um fator de exposição permite o cálculo da dose média no período de exposição. Entretanto, o avaliador deve reconhecer que alguns efeitos na saúde podem não depender da dose média, e sim da dose máxima ou de alguma medida da dose.

A seguinte discussão oferece uma visão geral da avaliação quantitativa da exposição humana através das seguintes vias: inalação, ingestão (água), ingestão (solo), ingestão (alimento) e exposição dérmica à água ou ao solo.

## **II.1. Inalação**

A inalação é uma via importante para a exposição humana a contaminantes que existem como gases ou que estão adsorvidos em partículas suspensas ou fibras. A exposição por inalação de contaminantes em locais contaminados com resíduos perigosos pode ocorrer pela emissão direta de gases e partículas de alguma instalação, pela volatilização de compostos que contaminam o solo ou corpos de água, pela suspensão de pó e de partículas da superfície do solo.

Para estimar a dose de exposição por inalação deve se determinar a frequência de ventilação. Esta é expressa como o volume por minuto, ou seja, o volume de ar que é

inalado em um minuto (litros/minuto). Os volumes/ minuto variam pouco entre os diferentes sexos antes dos 12 anos de idade. Entretanto, os adolescentes do sexo masculino têm um volume/minuto 50% superior que as do sexo feminino. Da mesma forma, entre os adultos, os homens sob grande esforço, têm um volume/minuto de 35 a 40% maior que as mulheres (2).

Os fatores que mais afetam o volume/minuto são o nível e a frequência de atividade física de uma pessoa. Existem fatores médios de referência segundo os níveis de atividade durante oito horas por dia. As atividades analisadas são: trabalho, descanso e atividade ligeira a moderada (quadro II.2.)

### Quadro II.2. Estimativa da Dose de Exposição por Inalação

A dose de exposição por inalação (IDai) pode ser estimada da seguinte maneira:					
$IDai = \frac{C \times TI \times FE}{PC}$					
IDai = Dose de exposição por inalação de ar (mg/Kg/dia);					
C = Concentração do contaminante (mg/m <sup>3</sup> );					
TI = Taxa de inalação de ar (m <sup>3</sup> /dia);					
FE = Fator de exposição (sem unidade);					
PC = Peso Corporal (Kg)					
<b>Valores Padronizados de Inalação</b>					
<b>Volume/minuto</b>	<b>Homem</b>	<b>Mulher</b>	<b>Criança (10 anos)</b>	<b>Bebês (1 ano)</b>	<b>Recém-nascido</b>
Descanso (L/min)	7,5	6,0	4,8	1,5	0,5
Atividade ligeira	20,0	19,0	13,0	4,2	1,5
<b><u>Litros/dia</u></b>					
8 h de trabalho	9.600	9.100	6.240	2.500(10h)	90 (1h)
8 h não trabalho	9.600	9.100	6.240	-----	-----
8 h de descanso	<u>3.600</u>	<u>2.900</u>	<u>2.300</u>	<u>1.300(14h)</u>	<u>690(23h)</u>
24 hs Total (x10+4)	2,3	2,1	1,5	0,38	0,08
<b>Inalação diária(m<sup>3</sup>)</b>	<b>23</b>	<b>21</b>	<b>15</b>	<b>3,8</b>	<b>0,80</b>



Ainda que estes valores possam ser aplicados à população em geral, alguns indivíduos podem apresentar grandes variações de acordo com seu nível de atividade física. Outros fatores que afetam o volume/minuto são fatores de índole geral (temperatura, altitude, condições que afetam a qualidade do ar, etc) e fatores pessoais (peso, altura, condições de saúde, tabagismo, doenças pulmonares, etc) (2).

O Quadro II.2. ilustra como se pode estimar a dose de exposição por inalação e apresenta uma tabela de volumes/minuto por inalação.

## II.2. Ingestão de água

A ingestão de água contaminada representa com frequência a via de exposição mais importante nas zonas de estudo. É importante considerar que é melhor analisar a água da torneira caseira para se estimar a dose de exposição a um contaminante por ingestão de água potável. Na ausência de dados sobre poços de água potável, o pesquisador pode considerar a possibilidade de utilizar a informação de poços de monitoramento para estimar os limites superiores da exposição a contaminantes. Caso contrário, pode-se empregar os dados de poços que sirvam como fonte de água potável e, por último, caso não se disponha de outros tipos de dados, pode-se empregar a informação de poços de monitoramento ou de poços que sirvam para outros usos.

A dose de ingestão diária oral ideal é calculada utilizando os dados da área das populações em risco (que dizer, peso corporal e taxas de consumo). O quadro II.3. ilustra como pode se estimar a dose de exposição por consumo de água potável.

### Quadro II.3. Estimativa da Dose de Exposição por ingestão de água

A dose de exposição por ingestão de água (IDag) pode ser estimada da seguinte maneira: $IDag = \frac{C \times TI \times FE}{PC}$ IDag = Dose de exposição por ingestão de água (mg/Kg/dia); C = Concentração do contaminante (mg/L); TI = Taxa de ingestão de água (L/dia); FE = Fator de exposição (sem unidade); PC = Peso Corporal (Kg)
--

### Valores Padronizados de Ingestão de Água Potável

<u>Parâmetro</u>	<u>Valor</u>	<u>Fonte</u>
Média diária de ingestão de água por adultos	2 L/dia	(1)
Média diária de ingestão de água por crianças	1 L/dia	(8)

#### Exemplo

Considere a exposição humana a uma fonte primária de abastecimento que está contaminada com 350 mg/L de cloreto de metila. Para calcular a dose de exposição em adultos, assumamos um peso corporal de 70 Kg e uma taxa de ingestão de água de 2 L/dia.

$$\text{IDag} = \frac{C \times \text{TI} \times \text{FE}}{\text{PC}} = \frac{350 \text{ mg/L} \times 2 \text{ L/dia} \times 1}{70 \text{ Kg}} = 10 \text{ mg/kg/dia}$$

Para crianças assumamos um peso corporal de 10 Kg e um índice de ingestão de água de 1 L/dia.

$$\text{IDag} = \frac{C \times \text{TI} \times \text{FE}}{\text{PC}} = \frac{350 \text{ mg/L} \times 1 \text{ L/dia} \times 1}{10 \text{ kg}} = 35 \text{ mg/kg/dia}$$

### II.3. Ingestão de solo

A ingestão de solo pode ocorrer por seu consumo despercebido através das mãos ou da comida, por se levar à boca objetos sujos, ou pela ingestão de material não comestível, incluindo solo (Pica – transtorno de alimentação). Todas as crianças em menor ou maior grau ingerem solo. Por exemplo, esse transtorno de alimentação se apresenta em todos os setores da sociedade porém sua frequência está correlacionada com o estado nutricional e a qualidade da assistência ao bebê. As crianças que mais comumente afetadas são bebês de 1 a 3 anos de idade, crianças de famílias de baixo nível sócio-econômico, e crianças com deficiências neurológicas (ex.: dano cerebral, epilepsia, retardamento mental, etc). (1).

Para crianças normais (sem esse transtorno de alimentação), calcula-se uma taxa de ingestão de solo de 50 a 200 mg diários, a partir de estudos recentes baseados em marcadores metálicos presentes no solo (4,5). Em adultos, a ingestão de solo não foi bem

estudada, porém evidências limitadas sugerem um valor tentativo de 50 mg/dia (6). Para bebês com transtorno de alimentação (Pica), é factível alcançar uma ingestão de 5 a 10 g de solo por dia (1).

Quando se avalia as rotas de exposição que incluem o solo, deve-se considerar o uso e o acesso a locais contaminados com resíduos perigosos e seus arredores. Os locais com edifícios abandonados, com ajuntamento de água ou com riachos, são atrativos para as crianças e a exposição pode se dá, então, em pontos que estão próximos às áreas recreativas ou aos jardins escolares, mesmo que o local conte com sistemas físicos de restrição (como as cercas e muros).

Os trabalhadores em áreas industriais ou comerciais também podem ingerir solo, se bem que isto dependa mais do tipo de trabalho que realizem.

Nas áreas recreativas e residenciais também pode existir a possibilidade de exposição. Por exemplo, o solo contaminado pode entrar nas residências através dos sapatos de algum membro da família, ou das patas e pelos de algum animal de estimação. Da mesma forma, as partículas de pó suspensas no ar de exteriores também podem penetrar nas casas através do intercâmbio entre o ar interno e externo. Uma criança pequena terá o risco máximo de exposição por via da ingestão de solo ou mediante o contato dérmico com o pó acumulado no chão. O Quadro II. 4. ilustra como se pode estimar a dose de exposição por ingestão de solo e apresenta algumas taxas de ingestão para diferentes grupos etários.

#### **Quadro II.4. Estimativa da dose de exposição por ingestão de solo**

<p>A dose de exposição por ingestão de solo (IDs) pode ser estimada da seguinte maneira:</p> $IDs = \frac{C \times TI \times FE}{PC} 10^{-6}$ <p>IDs = Dose de exposição por ingestão de solo (mg/Kg/dia); C = Concentração do contaminante (mg/Kg); TI = Taxa de ingestão de solo (mg/dia); FE = Fator de exposição (sem unidade); PC = Peso Corporal (Kg)</p> <p>Um fator de conversão de <math>10^{-6}</math> é necessário para converter a concentração do contaminante do solo (C) de mg/Kg para mg/mg</p>
---

**Exemplo**

Considere o cenário de exposição a um solo com uma concentração de 100 mg/Kg de algum químico. A taxa de ingestão em adultos é de 50 mg/dia. Assuma que os indivíduos encontram-se expostos 5 dias na semana, 50 semanas ao ano por durante 30 anos.

Primeiro calcule o fator de exposição:

$$FE = \frac{(\text{frequência de exposição}) (\text{duração da exposição})}{(\text{tempo de exposição})}$$

$$FE = \frac{(5 \text{ dias/semana}) (50 \text{ semanas/ano}) (30 \text{ anos})}{(70 \text{ anos}) (365 \text{ dias/ano})} = 0,29$$

$$IDs = \frac{C \times TI \times FE}{PC} \times 10^{-6} = \frac{100 \text{ mg/Kg} \times 50 \text{ mg/dia} \times 0,29 \times 10^{-6}}{70 \text{ Kg}} = 2 \times 10^{-5} \text{ mg/Kg/dia}$$

**II.4. Ingestão de alimento**

A avaliação de risco para a saúde pela ingestão de alimento contaminado requer, antes de tudo, o conhecimento da quantidade de alimento ingerido e seu nível de contaminação. O método mais confiável para avaliar o grau de exposição humana aos contaminantes em alimentos, é a quantificação direta das concentrações nos alimentos. Tais medições devem ser realizadas naqueles alimentos preparados para consumo, ou em porções de animais e plantas contaminadas que sejam representativas das que se utilizam na comida.

Caso existam dados que levem a supor que a cadeia alimentar seja uma rota de exposição e que não existem valores sobre os níveis de contaminantes nos alimentos, a avaliação de saúde deverá deixar claramente estabelecido este vazio de informação e, além disso, recomendar a realização de amostragem que levem a obter a informação necessária.

A estimativa da dose de exposição através da cadeia alimentar requer o conhecimento da taxa de consumo de produtos alimentícios específicos na dieta humana.

Os hábitos alimentares variam de região a região. Por exemplo, em algumas zonas comem-se mais peixes que em outras e, além disso, alguns setores da população pode comer mais peixe que outras (ex.: o consumo de peixes aumenta com a idade ou as pessoas que se dedicam a pesca esportiva ingerem mais este tipo de alimento). Para realizar a avaliação é necessário ter um valor aproximado e real do índice de ingestão alimentícia, sobretudo do tipo de alimento que poderia estar contaminado. Por isso, deve-se buscar todos os esforços para conhecer este índice, podendo-se utilizar algumas estatísticas locais ou talvez fosse necessário realizar uma pesquisa entre um setor representativo da população exposta.

Nos caso que existisse solo contaminado nas áreas habitacionais, será necessário conhecer o índice de consumo de alimentos locais (incluindo os provenientes de hortas domésticas ou as plantas silvestres da localidade). No apêndice E se assinalam as taxas de consumo dos alimentos cultivados em casa de acordo com os levantamentos do Departamento de Agricultura dos EUA (11). Estes dados são organizados em quatro grupos: urbanos, plantações não rurais, plantações rurais e de todo tipo de casas.

Para estimar a ingestão diária TOTAL de um contaminante em particular, deve ser considerada a ingestão diária de TODOS os alimentos contaminados na análise. O Quadro II.5. ilustra como pode se estimar a dose de exposição pela ingestão de alimento.

#### **Quadro II.5. Estimativa da dose de exposição pela ingestão de alimento**

A dose de exposição pela ingestão de alimento (IDal) a um contaminante pode ser estimada da seguinte maneira:

$$IDal = S \sum_{i=1}^n \frac{CLi \times ICi \times FE}{PC}$$

Onde:

IDal = Dose de exposição por ingestão de alimento (mg/Kg/dia);

CLi = Concentração do contaminante no grupo de alimentos i (mg/g);

TCi = Taxa de consumo de alimentos do grupo i (g/dia);

FE = Fator de exposição (sem unidade);

PC = Peso Corporal (Kg)

S = Somatória

O cálculo para a dose de exposição de um contaminante pela ingestão de alimentos obtidos em hortas familiares é semelhante, porém considera a porcentagem do alimento contaminado que cresce neste tipo de horta.

$$IDal = S_{i=1}^{n} \frac{C_{li} \times IC_i \times FE \times PH_i}{PC}$$

Onde: PH<sub>i</sub> = porcentagem de alimentos do grupo contaminado proveniente de hortas familiares

### Exemplo

O seguinte exemplo ilustra o cálculo da dose de exposição ao cádmio pela ingestão de alimento, ao comer produtos contaminados de uma horta familiar. Os símbolos que são empregados foram definidos acima. As taxas de consumo (TC<sub>i</sub>) e a porcentagem de ingestão de produtos das hortas familiares (PH), foram levantados de dados estatísticos dos EUA.

Alimento	CL	IC	PH	FE	PC	IDal (mg/Kg/dia)
Batata	0,02	88	9,30	1	70	0,002
Vegetais verdes	0,01	15	21,20	1	70	0,005
Vegetais amarelos	0,51	15	21,20	1	70	0,020
Tomates	0,24	38	21,20	1	70	0,030
Outros Vegetais	0,01	136	21,20	1	70	<u>0,004</u>
<b>Total de vegetais/frutas</b>						<b>0,05</b>

Desta forma, a ingestão diária humana de cádmio por alimento contaminado é estimada em 0,05 mg/Kg/dia. Caso necessário, a estimativa deve ser confirmada por um inquérito alimentar local.

## **II.5. Exposição dérmica**

A absorção dérmica de contaminantes presentes no solo ou na água é uma rota potencial de exposição humana a contaminantes. A absorção dérmica depende de múltiplos fatores, entre outros: a área da pele exposta ao contaminante, o lugar do corpo que foi exposto, duração do contato, concentração do contaminante no ponto de contato com a pele, permeabilidade ao composto, meio que serviu como veículo do contaminante e condições e integridade da pele. A área da pele que potencialmente poderia estar exposta ao contaminante dependerá, por sua vez, do tipo de atividade do indivíduo, sua idade e a época do ano. A EPA (1,12) fornece informação sobre a superfície da pele para as diferentes partes do corpo de um adulto e de uma criança.

### **Água**

A absorção dérmica dos contaminantes presentes na água ocorre durante o banho (banheira ou ducha) ou ao nadar, e pode chegar a representar uma importante via de exposição. A exposição de um trabalhador por esta via dependerá do tipo de trabalho, tipo de roupa de proteção utilizada, a magnitude da exposição à água e o tempo de contato com ela. A permeabilidade da pele a um químico depende das propriedades físico-químicas da substância, incluindo seu peso molecular (forma e tamanho), carga eletrostática, hidrofobicidade e solubilidade em meio aquoso ou meio lipídico. Em geral, os químicos que demonstram alta permeabilidade na pele são de baixo peso molecular, não são iônicos e são solúveis em lipídeos. A constante de permeabilidade dos compostos devem ser utilizadas para estimar a absorção dérmica de um contaminante na água. Os valores da constante de permeabilidade dérmica variam até cinco ordens de magnitude (13) e somente foram calculados para algumas substâncias (Ver a referência 3 para alguns valores reportados até agora). Antes de usar a constante de permeabilidade dérmica, deve-se revisar a fonte de informação original do modelo experimental empregado. Em alguns estudos, as constantes são determinadas empregando líquidos puros ou concentrações muito altas. A exposição cutânea a solventes orgânicos pode causar perda da camada superficial de gordura da pele que altera a permeabilidade. Outra diferença a considerar é que algumas espécies animais têm um tipo de pele diferente da dos humanos.

Por outro lado, algumas enfermidades da pele, como a psoríase ou o eczema podem facilitar a absorção dérmica de alguns produtos químicos (14).

Quando se conhece a constante de permeabilidade para um composto, a absorção dérmica de contaminantes presentes na água pode ser calculada empregando o método ilustrado no quadro II.6.

**Quadro II.6. Estimativa da dose de absorção dérmica por contato com água contaminada**

<p>A dose de absorção dérmica por contato com água contaminada (DDag) pode ser estimada da seguinte maneira:</p> $DDag = \frac{C \times P \times AS \times TE \times 1 \text{ litro}}{PC \times 1000 \text{ cm}^3}$ <p>Onde:</p> <p>DDag = Dose de absorção dérmica por contato com água (mg/Kg/dia)</p> <p>C = Concentração do contaminante na água (mg/L)</p> <p>P = Constante de permeabilidade (cm/hr)</p> <p>AS = Área da superfície corporal exposta (cm<sup>2</sup>)</p> <p>TE = Tempo de exposição (h/dia)</p> <p>PC = Peso corporal</p> <p>O termo 1 litro/1000 cm<sup>3</sup> é uma constante de conversão volumétrica.</p>																							
<p><b>Valores padrão de exposição dérmica</b></p> <p>Percentil 50% de área da superfície corporal total (cm<sup>2</sup>)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><b>Idade (anos)</b></th> <th><b>Homem</b></th> <th><b>Mulher</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3 &lt; 6</td> <td>7.280</td> <td>7.110</td> </tr> <tr> <td>6 &lt; 9</td> <td>9.310</td> <td>9.190</td> </tr> <tr> <td>9 &lt; 12</td> <td>11.600</td> <td>11.600</td> </tr> <tr> <td>12 &lt; 15</td> <td>14.900</td> <td>14.800</td> </tr> <tr> <td>15 &lt; 18</td> <td>17.500</td> <td>16.000</td> </tr> <tr> <td>18 - 70</td> <td>19.400</td> <td>16.900</td> </tr> </tbody> </table>			<b>Idade (anos)</b>	<b>Homem</b>	<b>Mulher</b>	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
<b>Idade (anos)</b>	<b>Homem</b>	<b>Mulher</b>																					
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																					



Percentil 50% de área da superfície corporal em áreas específicas para homens (cm <sup>2</sup> )			
<b>Idade (anos)</b>	<b>Braços</b>	<b>Mãos</b>	<b>Pernas</b>
3 < 4	960	400	1.800
6 < 7	1.100	410	2.400
9 < 10	1.300	570	3.100
18 - 70	2.300	820	5.500

### **Solo**

A absorção dérmica dos contaminantes do solo ou do pó depende de: a área do contato; a duração do contato; a interação química e física entre o contaminante e o resto dos componentes do solo ou do pó; e a capacidade do contaminante para penetrar a pele. Fatores químicos próprios do contaminante, tais como a lipofilicidade, a polaridade, a volatilidade, o peso molecular e a solubilidade afetam também a absorção dérmica.

Muitos agentes químicos orgânicos se unem à matéria orgânica do solo, diminuindo sua capacidade de absorção dérmica. Além disso, somente a fração do contaminante que está em contato direto com a pele poderá ser absorvida, isto é, a absorção dependerá também da capacidade do contaminante de se difundir através da matriz do solo. Alguns estudos experimentais têm demonstrado que a absorção dérmica de um contaminante pode ser reduzida quando aplicada junto com o solo, e comparada com a aplicação direta sobre a pele (15).

Um fator que afeta a absorção dérmica e que é específico do solo, é a aderência do solo na pele, isto é, a quantidade de solo sobre a pele (medida em mg/cm<sup>2</sup>). Hawley (16) relatou valores de aderência de solo de 0,5 mg/cm<sup>2</sup> para crianças e de 3,5 mg/cm<sup>2</sup> para adultos. A EPA (1,3) tem relatado valores de aderência de 1,45 mg/cm<sup>2</sup> para solo comercial (do tipo empregado em vasos) e de 2,77 mg/cm<sup>2</sup> para argila branca. Os dados sobre a aderência do pó à pele são ainda mais limitados. Entretanto, o relato de Hawley (16) dá um valor de aderência para pó de 1,8 mg/cm<sup>2</sup> para adultos. Com base em toda esta informação, propõe-se um valor de aderência para solo de 2 mg/cm<sup>2</sup>. O quadro II.7. ilustra como se pode estimar a dose de absorção dérmica para um lapso de vida médio a diferentes intervalos.

**Quadro II.7. Estimativa da Dose de Absorção Dérmica por contato com Solo contaminado**

A Dose de Absorção Dérmica por contato com Solo contaminado (DDS) pode ser estimada da seguinte maneira:

$$DDS = \frac{C \times A \times FB \times FE}{PC} 10^{-6}$$

Onde:

DDS = Dose de absorção dérmica por contato com solo (mg/Kg/dia);

C = Concentração do contaminante no solo (mg/Kg);

A = Quantidade total de solo aderido à pele (mg);

FB = Fator de biodisponibilidade (sem unidade);

FE = Fator de exposição (sem unidade);

PC = Peso corporal (Kg)

Um fator de conversão de  $10^{-6}$  Kg/mg é necessário para converter a concentração do contaminante do solo (C) de mg/Kg para mg/mg.

A quantidade total de solo aderido à pele é estimada como produto da área dérmica exposta e a concentração de aderência do solo.

**Valores padrão de exposição dérmica ao solo (12)**

<b>Idade (anos)</b>	<b>Peso corporal (Kg)</b>	<b>Área total da superfície (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>% da área exposta</b>	<b>Área exposta (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Total do solo aderido (mg)</b>
0 - 1	10	3.500	30	1.050	2.100
1 - 11	30	8.750	30	2.625	5.250
12 - 17	50	15.235	28	4.300	8.600
18 - 70	70	19.400	24	4.700	9.400

**Exemplo**

Estime a média da dose de absorção dérmica para uma criança que foi exposta a solo com um nível de contaminação de 100 mg/Kg por dia desde seu nascimento até os 11 anos de

idade. Assuma que a média da área da superfície dérmica exposta durante esse tempo é de 30% e que o fator de biodisponibilidade para o contaminante é de 0,1.

$$\begin{aligned}
 \text{DDs} &= \frac{C \times A \times \text{FB} \times \text{FE}}{\text{PC}} \times 10^{-6} + \text{DDs} = \frac{C \times A \times \text{FB} \times \text{FE}}{\text{PC}} \times 10^{-6} \\
 & \text{(exposição de 0 a 1 ano)} \quad + \quad \text{(exposição de 1 a 11 anos)} \\
 &= \frac{100 \text{ mg/Kg} \times 2.100 \text{ mg} \times 0,1 \times (1/11) \times 10^{-6}}{10 \text{ Kg}} + \\
 &= \frac{100 \text{ mg/Kg} \times 5.250 \text{ mg} \times 0,1 \times (10/11) \times 10^{-6}}{30 \text{ Kg}} = 0,002 \text{ mg/Kg/dia}
 \end{aligned}$$

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. EPA Office of health and Environmental Assessment. *Exposure factors handbook*. Washington, DC: Environmental Protection Agency. March 1990: EPA/600/8-89/043.
2. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). *Radiological assessment: predicting the transport, bioaccumulation, and uptake by man of radionuclids released to the environment*. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements, 1984. NCRP report N° 76.
3. EPA Office Emergency and Remedial Response, Office of solid Waste and Emergency Response. *Superfund exposure assessment manual*. Washington DC: Environmental Protection Agency, 1988; 540/1-88/001.
4. Calabrese EJ, et al. How much soil do young children ingest: an epidemiologic study. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 1989; 10: 123-37;
5. Davis S et. Al. Quantitative estimative of soil ingestion in normal children between the ages of 2 and 7 years. *Archives of Environmental Health* 1990; 45: 112-22.
6. Calabrese EJ, et al. Preliminary adult soil ingestión estimates: results of a pilot study. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 1990; 12:88-95.
7. International Commission on Radiological Protection (ICRP). *Report of the task group on reference man*. New York: Pergamon Press, 1975.
8. National academy of Sciences (NAS). *Drinking water and health*. Washington, DC: NRC Press, 1977.

9. Rupp EM, Miller FL, Baes CF III. Some results of recent surveys of fish and shellfish consumption by age and region of U.U. Residents. *Health Physics* 1980; 39 (2): 165-75.
10. Office of Toxic substances Exposure Division. *Methods for assessing exposure to chemical substances. Vol 8, Methods for assessing environmental pathways of food contamination. Washington, DC: Environmental Protection Agency, September 1986; EPA 560/5-85-008 and PB87-107850.*
11. U.S Environmental Protection Agency. *Dietary Consumption distributions of selected food groups for the U.S. population. Washington, DC: Environmental Protection Agency, February 1980, EPA 560/11-80-012 and PB81-147035.*
12. EPA Office of Health and Environmental Assessment. *Development of statistical distributions or ranges of standard factors used in exposure assessments. Washington, DC: Environmental Protection Agency, March 1985; OHEA-E-161.*
13. Duggard PH. Absorption through the skin: theory, in vitro techniques, and their applications. *Food Chemistry and Toxicology.* 1986; 24: 749-53.
14. Hensby CN, Schaefer H, Schalla W. The bioavailability and toxicity of topical drugs related to diseased skin. In: Chambers PL, Gehring P, and Sakai F, eds. *New concepts and developments in toxicology.* New York, NY: Elsevier Science Publishers, 1986.
15. Yang JJ, et al. In vitro and in vivo percutaneous absorption of benzeno (a) pyrene from petroleum crude-fortified soil in the rat. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 1989: 43: 207-14.
16. Hawley JK. Assessment of health risk from exposure to contaminated soil. *Risk Analysis*, 1985; 5(4): 289-302.