

# ***AVALIAÇÃO DE RISCO A SAÚDE HUMANA EM ÁREAS CONTAMINADAS***



Base das informações contidas neste material  
**MANUAL DE ORIENTAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DE SAÚDE PÚBLICA  
DA ATSDR**  
*(Agency for Toxic Substances and Disease Registry)*



## SUMÁRIO

<b>AVALIAÇÃO DE RISCO A SAÚDE HUMANA EM ÁREAS CONTAMINADAS .....</b>	<b>7</b>
Informações sobre Antecedentes.....	7
Informações sobre condições antecedentes .....	7
Descrição do Local.....	7
Operações e História do Local.....	9
Informação sobre Uso e Ocupação do Solo e Recursos Naturais.....	11
Informações Demográficas.....	13
Preocupações de Saúde da Comunidade .....	15
Informações sobre Contaminação Ambiental .....	18
Informação sobre Rotas de Exposição.....	21
Informação Específica sobre uma Substância Química .....	22
Realização da Visita ao Local .....	23
Antes da visita ao local .....	23
Durante a visita ao local .....	24
Após a Visita ao Local .....	25
Avaliação dos dados da contaminação ambiental.....	28
Avaliação dos dados da amostragem ambiental .....	28
Histórico de Amostragens Ambientais Prévias.....	29
A Validade dos Dados de uma Amostragem Ambiental.....	31
Representatividade dos dados da amostragem ambiental.....	31
Águas Subterrâneas .....	37
Solo .....	38
Ar.....	38
Águas de superfície .....	39
Cadeia Alimentar (Biota).....	39
Sedimentos .....	40
Gás contido no solo.....	40
Avaliação de dados modelados .....	42
Valores basais de referência .....	45
Identificação e preenchimento de lacunas de dados essenciais .....	47
Resumo e apresentação dos dados ambientais .....	50
Seleção dos contaminantes de Interesse .....	53
Identificação do contaminante.....	54
Organização dos Contaminantes de Interesse .....	54
Organização dos Contaminantes de Interesse em Tabelas.....	56
Avaliação dos dados e técnicas de amostragem .....	57
Qualidade dos Dados de Campo .....	57
Qualidade dos Dados de Laboratórios .....	57
Suficiência dos Dados.....	57
Solos.....	58
Sedimentos .....	58
Água Superficial .....	59
Água Subterrânea .....	59
Complemento .....	60
Uso de concentrações basais.....	60
Tipos de Dados Basais .....	60
Comparações entre as Concentrações Basais e as Relacionadas com o Sítio .....	60
Principais poluentes.....	61
Principais Poluentes Aquáticos .....	62
Poluentes Orgânicos Biodegradáveis.....	62
Poluentes Orgânicos Recalcitrantes ou Refratários.....	63
Metais .....	65
Nutrientes .....	68
Organismos Patogênicos.....	69
Sólidos em suspensão .....	69
Calor .....	69

Radioatividade .....	70
Principais Poluentes Atmosféricos .....	70
Monóxido de Carbono (CO) .....	72
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) .....	73
Óxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> e SO <sub>3</sub> ).....	73
Óxidos de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> ) .....	73
Oxidantes fotoquímicos .....	73
Material Particulado (MP).....	73
Asbestos (amianto) .....	74
Metais .....	74
Gás Fluorídrico (HF) .....	74
Amônia (NH <sub>3</sub> ) .....	75
Gás Sulfídrico (H <sub>2</sub> S) .....	75
Hidrocarbonetos .....	76
Outros Poluentes.....	77
Pesticidas e Herbicidas.....	77
Pesticidas Organofosforado ou Organofosfato: .....	79
Pesticidas Carbamatos: .....	80
Fenóis.....	81
Bifenilas Policloradas .....	81
Metais Pesados .....	81
Solventes Industriais .....	82
Avaliação das Rotas de Exposição .....	84
Os Cinco Elementos de uma Rota de Exposição.....	85
Desenvolvimento de um Modelo Conceitual de um Cenário .....	86
Identificação das Fontes de Contaminação.....	88
Outras fontes .....	93
Identificação dos Meios Afetados .....	94
Avaliação do Destino e da Dispersão dos Contaminantes.....	96
Processos de Destino e Dispersão.....	98
Fatores Físicos ou Químicos Específicos que influenciam o Destino e a Dispersão Ambientais .....	101
Fatores Específicos de um Local que influenciam o Destino e a Dispersão Ambientais .....	109
Fatores Climáticos.....	109
Condições Geológicas e Hidrogeológicas.....	113
Identificação dos Pontos de Exposição.....	122
Possíveis Pontos de Exposição para cada meio ambiental .....	122
Águas subterrâneas .....	123
Águas de superfície .....	123
Solo .....	123
Ar.....	124
Sedimentos .....	125
Cadeia alimentar .....	125
Outros .....	126
Identificação das Vias de Exposição .....	128
Considerações Temporais e Espaciais .....	128
Considerações Temporais.....	131
Considerações Espaciais.....	132
Medidas que Poderiam Evitar as Exposições.....	133
Identificação de Populações Potencialmente Expostas.....	134
Caracterização das Populações Potencialmente Expostas.....	135
Ao caracterizar a população potencialmente exposta, é importante saber: .....	135
Identificação das populações.....	136
Populações Potencialmente Expostas .....	138
Identificação de Padrões de Uso.....	138
Outros Fatores que Potencialmente Influenciam a Exposição .....	141
Estimativa do Número de Pessoas em Populações Potencialmente Expostas .....	142
Categorização da Informação sobre Rotas de Exposição .....	143
Rotas de Exposição Completa .....	143
Rotas de Exposição Potenciais .....	144

Rotas de Exposição Eliminadas.....	145
Necessidade de Coleta Adicional de Dados de Exposição .....	145
Definições de Investigações de Exposição .....	146
Quando Deve ser Considerada a Realização de Uma Investigação da Exposição .....	147
Apresentação de Informações sobre Rotas de Exposição .....	147



**AVALIAÇÃO DE RISCO A SAÚDE HUMANA EM ÁREAS CONTAMINADAS**

**Parte 2 - Avaliação**

**1. Obtenção de informações sobre o local**

**1.1. INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS**

**1.1.1. Informações sobre Antecedentes**

**Descrição do local →**

- Localização geográfica
- Limites do local
- Localização do local dentro da comunidade

**Representações visuais da área de interesse**

- Superfície da área
- Mapas topográficos
- Fotografias aéreas (passadas e presente)
- Extensão do site dentro da área
- Extensão da contaminação superficial
- Rede de tubulações subterrâneas utilizadas no transporte de contaminantes
- Distâncias dos grupos populacionais no entorno do site
- Localização das escolas e hospitais
- Usos do solo no entorno do site

**Perigos físicos →**

- Pilhas de tambores
- Produtos químicos acessíveis
- Fossas, diques, escavações, valetas, etc.
- Estruturas pouco seguras (edifício, tanques de armazenamento, etc.)

***Informações sobre Antecedentes***

Familiarizar-se com o local, seu contexto e sua história geralmente é um dos primeiros passos do processo de avaliação de saúde pública.

Informação sobre os antecedentes local é indispensável para se compreender a natureza, a magnitude e a extensão da contaminação em potencial. Informação sobre os antecedentes também auxilia na identificação das populações potencialmente expostas. Essa informação respaldará avaliações de exposição minuciosas a serem realizadas posteriormente no processo de avaliação.

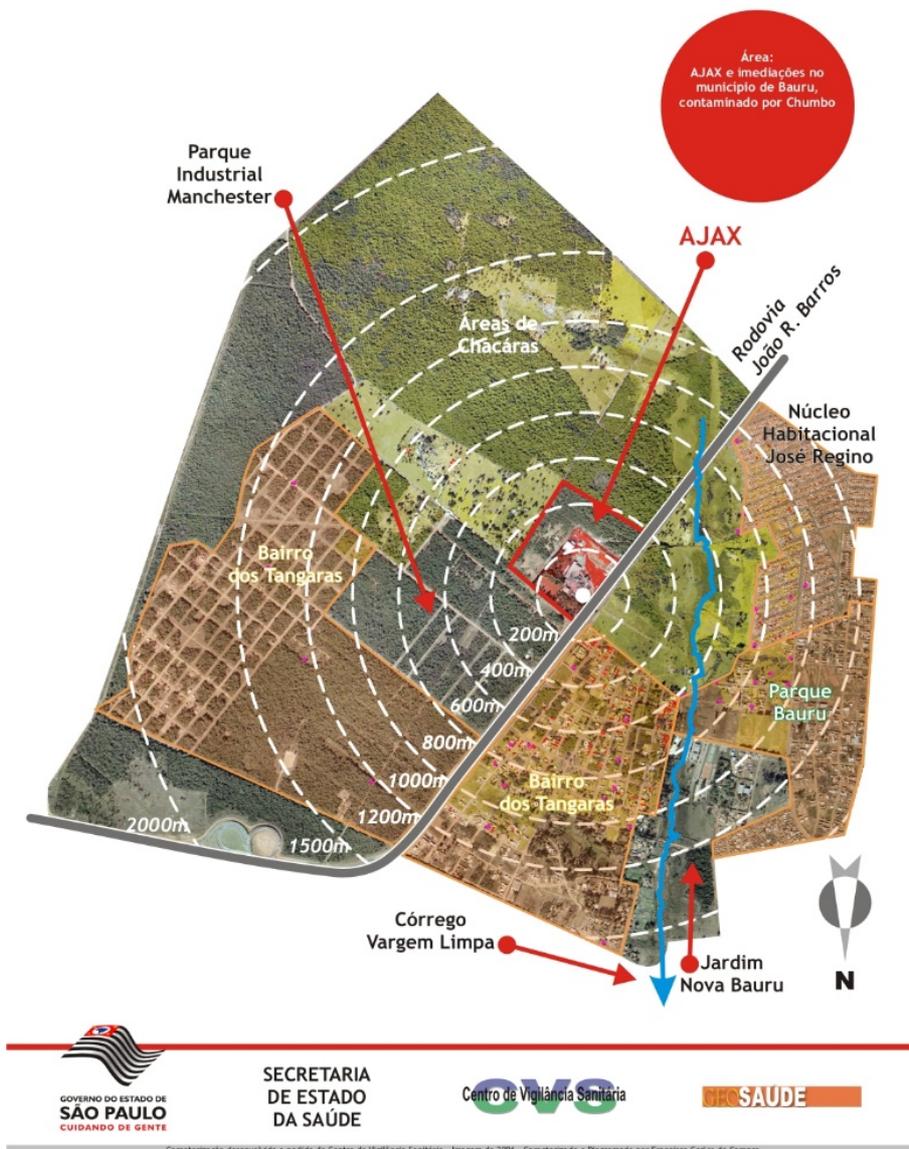
Os tipos de informação sobre os antecedentes de que o avaliador precisará incluem uma descrição do local, sua história e suas operações, o histórico e as atividades de regulação, informação sobre o uso e a ocupação do solo e de recursos naturais, bem como informação demográfica.

***Informações sobre condições antecedentes***

***Descrição do Local***

A obtenção de informações descritivas sobre as principais características geográficas e outras características físicas do local estabelece a base inicial para a compreensão das possíveis exposições associadas. Uma descrição do local poderá incluir os seguintes componentes:

Caracterização do Ambiente Urbano para Avaliação de Riscos à Saúde no Entorno de Áreas Contaminadas por Substâncias Perigosas



O nome e o endereço do local ou a localização geográfica, inclusive sua relação com entidades tais como cidades e municípios e informação sobre as condições climáticas e geológicas (áreas alagadiças ou sujeitas a inundação, localização dos principais corpos d’água de superfície, p.ex.).

- Os limites do local, inclusive quaisquer áreas cercadas. Isso permite delinear as áreas no local e fora dele.
- A localização do local dentro da comunidade, inclusive um mapa indicando a distância do local até a residência ou possível futura residência mais próxima; isso permitirá compreender sobre a população potencialmente afetada pelo local.
- Representações visuais do local, tais como plantas do local, mapas topográficos, fotografias aéreas e imagens de satélite. Esses instrumentos visuais poderão indicar o tamanho, ou seja, o alcance das operações do local, a possível extensão da contaminação de superfície, os condutos e as barreiras à possível dispersão de contaminantes, bem como o uso e ocupação do solo nas proximidades ao local, inclusive distâncias até populações, escolas e hospitais próximos do local. Se possível, coletar dados com o sistema de posicionamento global (GPS) a fim de contribuir para o futuro mapeamento do local.

- Quaisquer perigos físicos (tais como pilhas de tambores, produtos químicos acessíveis, munição não-explodida, fossas, barragens, diques e estruturas em condições não-seguras) no local, que possam constituir uma preocupação para a saúde pública.
- Informações de Contatos (tais como representantes do local e funcionários do governo municipal, estadual e federal, envolvidos nas atividades do local).

### 1.1.2. Operações e História do Local

**As atividades atuais e passadas**

**Práticas de tratamento, armazenamento e descartes**

**Data de operações específica do local**

**Uso do local**

**Eventos significativos**

#### **Operações e História do Local**

Informações sobre as operações atuais e passadas e o desenvolvimento histórico do local muitas vezes indicam o tipo de contaminantes que podem estar presentes, a possível extensão da contaminação e a possível magnitude da exposição humana. Obter informações sobre os seguintes aspectos das operações e da história do local poderá ser de grande utilidade:

#### **Exemplo de levantamento de fotos aéreas**



Foto 1- Foto aérea de 1954. Fonte: PM São Paulo

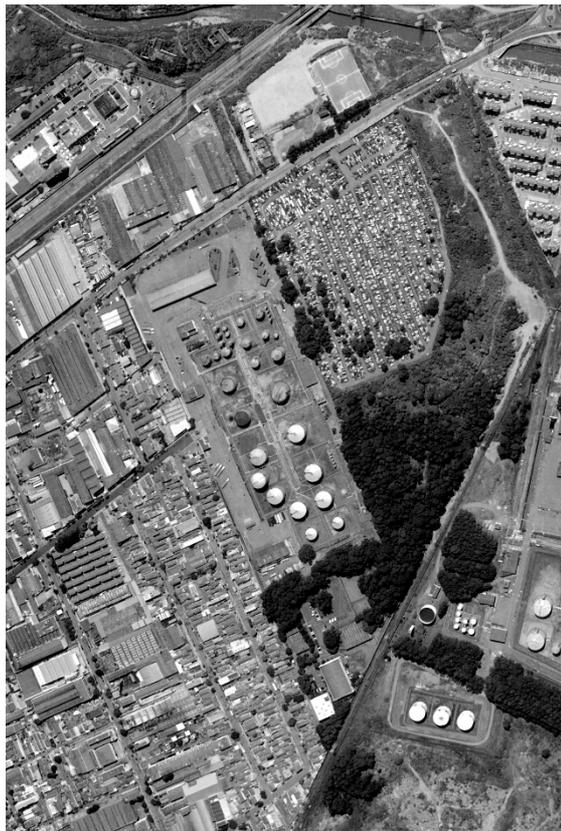


Foto 2- Foto aérea de 1994. Fonte: PM São Paulo

- As atividades atuais e passadas realizadas no local, inclusive descrições de processos e dos resíduos associados gerados. Essas atividades indicam os potenciais contaminantes que podem representar uma preocupação no local.
- Práticas de tratamento, armazenamento e descarte de resíduos perigosos atuais e passadas. Essas práticas fornecem informação sobre o potencial de liberação de contaminantes no meio ambiente.

- Datas de operações específicas do local. Essas datas indicam os períodos durante os quais a liberação de contaminantes pode ter ocorrido, potencialmente influenciando, assim, a extensão da contaminação e a migração de contaminantes.
- Usos do local, (passados, atuais e planejados para o futuro, se diferentes), inclusive todas as áreas em que o público ou trabalhadores podem ser ou ter sido expostos a contaminantes. Conhecer a utilização do local proporciona informações sobre o potencial de exposição.
- Quaisquer eventos significativos na história do local (tais como mudanças no tamanho/ limites do local, propriedade do local e desenvolvimento ou construção, ou ainda incêndios, explosões e outros eventos não-rotineiros) que podem afetar os tipos, as taxas e os períodos ou datas de liberação de contaminantes.

### 1.1.3. Uso e Ocupação do Solo e recursos naturais

#### **Acessibilidade do Local →**

- Presença e integridade de placas de advertências
- Presença e integridade dos muros de divisas e portos de acesso ao local

#### **Uso e ocupação do solo para fins residenciais, comerciais e industriais →**

- Tipos e níveis de atividades

#### **Escolas →**

- Creche
- Escolas de ensino fundamental e médio
- Instalações atléticas e recreativas para crianças

#### **Outros locais industriais próximos →**

#### **Locais de resíduos e descarte →**

- Aterros
- Corpos d'água de superfície
- Fontes de contaminação menores (depósito de lixo, postos de gasolina, etc.)

#### **Usos recreacionais do local →**

- Ciclovias de terra
- Camping
- Pesca e caça
- Parques
- Pátios de recreação
- Praias

#### **Uso futuro →**

- Planejado ou proposto para o local
- Remoção de terra proposta

#### **Localização de fontes públicas e privadas de abastecimento d'água →**

- Poços d'água subterrâneos
- Captação de água de superfície (hidráulica e a jusante do local) para consumo humano
- Captação de água de superfície para fins agrícola ou comercial

#### **Uso da água de superfície →**

- Para natação
- Para prática de remo e pesca comercial
- Para prática desportiva
- Para prática de subsistência

#### **Sistema de drenagem que possam ser condutos de contaminação →**

- Fontes
- Mananciais
- Riachos
- Valas de drenagem

**Área agropecuárias →**

- Cultivos de grande escala
- Pomares
- Pastos
- Fazendas produtoras de laticínios
- Colméias
- Cultivo caseiro e/ou doméstico
- Cultivo local
- Cultivo comercial
- Cultivo regional
- Cultivo de subsistência

**Biota →**

- Plantas e animais
- Pesca e caça
- Padrões de consumo da comunidade do entorno

**Informação sobre Uso e Ocupação do Solo e Recursos Naturais**



Um estudo do uso e ocupação do solo e dos recursos naturais do local e em suas proximidades proporciona informações de grande valia sobre os tipos e a frequência das atividades da população da área circunvizinha e sobre a probabilidade de exposição humana. O uso e ocupação do solo na área podem afetar o grau de contato com o solo, a água, o ar, materiais residuais, plantas e animais contaminados. Além disso, o avaliador precisará de informações sobre o uso e ocupação do solo no passado, presente e planejado ou proposto para o futuro a fim de avaliar como as condições do local e os cenários de exposição poderão ter mudado ou poderão vir a mudar ao longo do tempo. Fotografias (inclusive fotografias aéreas) e mapas indicando as condições do local, sua proximidade de áreas povoadas e os usos e ocupação do solo na área geralmente são ferramentas muito úteis.

As seguintes informações específicas poderão ser muito úteis:

- Acessibilidade do Local (inclusive 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 tiveram acesso ao local).

- Uso e ocupação do solo para fins residenciais, comerciais e industriais no local ou em sua proximidade e os tipos e níveis das atividades (residencial, recreacional e ocupacional) das populações potencialmente expostas (Diferentes tipos de atividades podem afetar a possibilidade de exposição das pessoas, bem como a frequência e a duração da exposição).
- Escolas (inclusive operações de creche; escolas de ensino fundamental e médio; instalações atléticas e recreativas para crianças).
- Outros locais industriais próximos, inclusive quaisquer locais que possam contribuir para a contaminação e/ou exposição.
- Locais de resíduos e descarte tais como aterros, corpos d'água de superfície e fontes de contaminação menores (por exemplo, depósitos de lixo, postos de gasolina etc.) que não necessariamente representam locais industriais, mas que contribuem para a contaminação e/ou exposição.



- Usos recreacionais do local (tais como passeio ciclístico em ciclovias de terra, camping, pesca e caça) e áreas no entorno ou próximas do local (tais como parques, pátios ou parques de recreação e praias).
- Uso futuro planejado ou proposto para o local e remoções de terra propostas.
- Localização de fontes públicas e privadas de abastecimento d'água — inclusive poços d'água subterrânea ou captações de água de superfície (principalmente hidráulicamente e a jusante do local) usadas no local ou fora do local para consumo de água potável, bem como para fins agrícolas ou comerciais — e suas respectivas distâncias do local.
- Uso da água de superfície (áreas de natação, prática de remo e pesca comercial, desportiva e de subsistência, p. ex.).
- Localização de quaisquer sistemas de drenagem (fontes, mananciais, riachos, valas de drenagem, p. ex.) que possam ser condutos de contaminação.
- Áreas agropecuárias circunvizinhas (cultivos, pomares, hortas, áreas de engorda, pastos, fazendas produtoras de laticínios, colmeias, p. ex.) e os padrões de mercado/ consumo desses alimentos (caseiro/doméstico, local, regional, comercial ou de subsistência).
- Biota (plantas e animais) potencialmente afetada pelo local (tais como pesca e caça) e padrões de consumo humano dessa biota (populações tribais que preparam e utilizam

alimentos de modos tradicionais, por exemplo, podem ter uma maior exposição à contaminação).



#### 1.1.4. Informações Demográficas

##### **Descrição das populações residenciais →**

- Que moram no entorno
- Que podem ser expostas em empresas, escolas e áreas de recreação no entorno

##### **Localização →**

- Distância do local ou de áreas contaminadas
- Tamanho da população dentro de um raio específico

##### **Informação →**

- Idade
- Distribuição de gênero, etnia e status

#### **Informações Demográficas**

As informações demográficas ajudam a identificar e definir o tamanho, as características e as localizações (distância e direção) e a possível susceptibilidade das populações conhecidas relacionadas com o local. As informações demográficas por si só não definem a exposição. Uma vez que conjuntos de dados demográficos proporcionam informação sobre as populações potencialmente expostas, eles podem fornecer informações importantes para a determinação das vias de exposição específicas do local. O avaliador deve ter presente que os dados demográficos podem ser datados. É possível que haja estimativas populacionais de certas áreas entre os anos do censo, mas é preciso considerar a fonte e a aplicabilidade de dados referentes a períodos entre e após os recenseamentos antes de usá-los.

Devem ser coletadas as seguintes informações demográficas:

- Uma descrição das populações residenciais que moram no local ou em suas proximidades, bem como das pessoas que podem ser expostas em empresas, escolas e áreas de recreação próximas.

- A localização e a distância do local ou de áreas contaminadas para residentes próximos e o tamanho da população dentro de um raio específico do local.
- Informação sobre idade, distribuição de gênero, etnia e status socioeconômico da comunidade potencialmente afetada com vistas a contribuir para a identificação de populações suscetíveis ou particularmente vulneráveis e contribuir para a interpretação de dados de saúde relevantes.
- Informação sobre a estabilidade ou a natureza transitória da população (por exemplo, duração do período de residência, mudanças do perfil etário, etc.) que possa exigir o exame de censos/ dados demográficos referentes a períodos passados.

O avaliador resumirá as informações demográficas referentes à área dentro de um raio de um quilometro ao redor dos limites do local. Também deverão ser coletadas descrições temporais e espaciais mais específicas para cenários de exposição prováveis.

**Exemplo de levantamento de dados populacionais para uma determinada área**

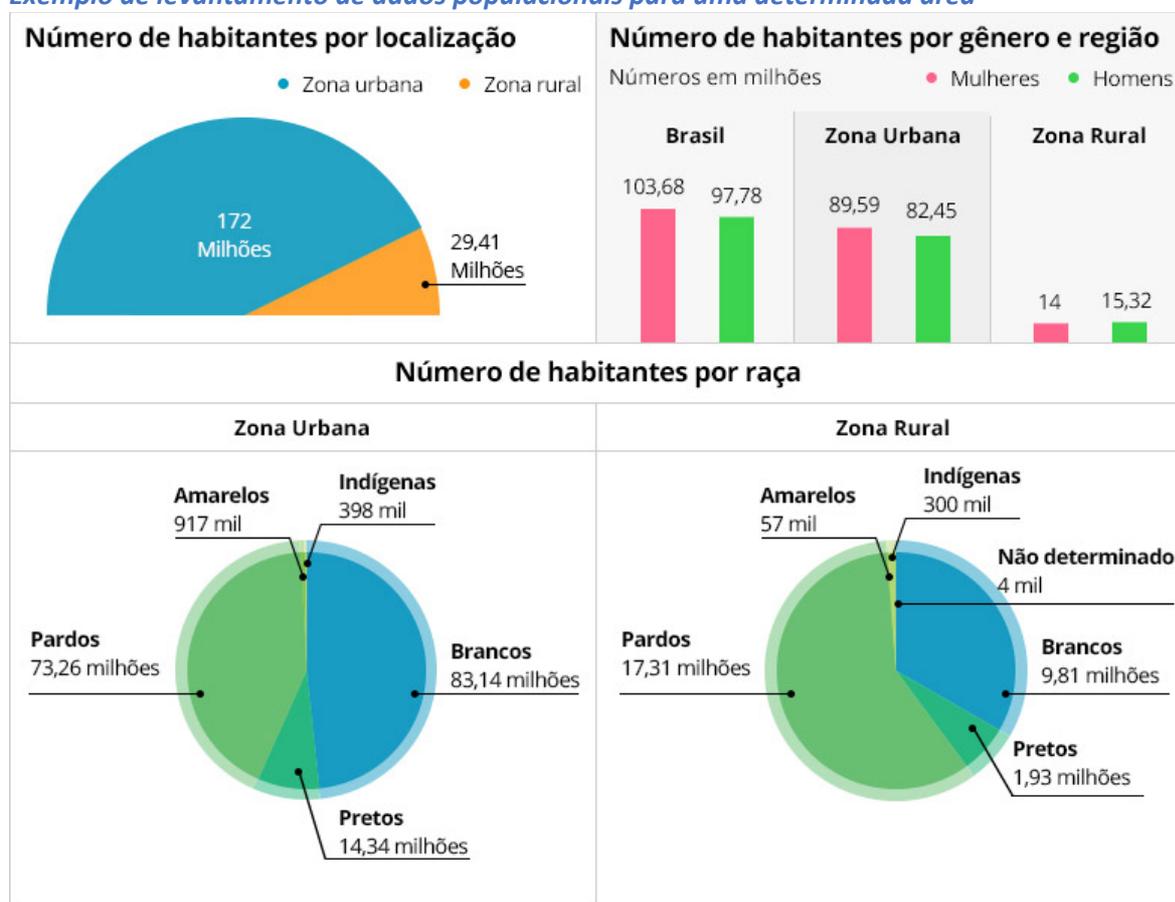


Figura 1 - Fonte: PNAD 2013. Cor ou raça

**1.2. PREOCUPAÇÕES DE SAÚDE DA COMUNIDADE**

**Reclamações ambientais e de saúde →**

- Informações relacionadas ao potencial impacto a saúde
- Informações relacionadas ao bem-estar das pessoas

**Ações adotadas →**

- Por parte dos órgãos federais, estaduais ou municipais
- Por parte dos responsáveis em respostas às preocupações da comunidade

**Estudo de saúde da comunidade →**

**Informações sobre →**

## Preocupações de Saúde da Comunidade

Compreender as preocupações de saúde da comunidade relacionadas a um local ou a uma emissão ambiental é um componente importante do processo de avaliação de saúde pública. As preocupações de saúde da comunidade, portanto, precisam ser investigadas e compreendidas ao máximo possível. É importante que essas informações sejam coletadas no início do processo.



A natureza e o grau das preocupações da comunidade variarão de local para local. Em certos locais, por exemplo, os moradores poderão expressar uma grande preocupação a respeito da incidência excessiva de câncer em seu bairro; em outros locais, os moradores poderão simplesmente procurar garantias de que a contaminação relacionada ao local não os está afetando.

Entre os tipos de informação a serem coletados incluem-se:

- Registros de reclamações ambientais e de saúde feitas pelo público, inclusive documentação de quando essas preocupações foram manifestadas. O avaliador deve se concentrar em obter informações relacionadas aos potenciais impactos específicos do local sobre a saúde ou o bem-estar das pessoas.
- Informação sobre ações adotadas pelos órgãos federais, estaduais ou municipais (tais como secretarias de saúde) e partes responsáveis em resposta às preocupações, queixas ou questões de saúde da comunidade.
- Informações de saúde e outras informações obtidas mediante reuniões individuais e comunitárias ou por estudos de saúde da comunidade.
- Informações obtidas sobre justiça ambiental, grupos de interesse tribais ou comunitários e questões que possam refletir preocupações culturais singulares.

- História da atuação do governo e resposta da comunidade à atuação do governo no passado.

Uma vez identificada uma preocupação de saúde da comunidade, cabe ao avaliador procurar determinar como as pessoas compartilham da preocupação (determinando a frequência e o número de reclamações recebidas por uma secretaria de saúde local e ou municipal ou por um grupo comunitário, por exemplo).

Além das preocupações de saúde pública, os membros da comunidade geralmente são boas fontes de informação sobre as atividades humanas no local ou em suas proximidades, tais como áreas de recreação para crianças, localização de pontos ao longo de cursos d'água frequentados por crianças e pescadores, localização de pontos de natação, etc. Os membros da comunidade muitas vezes podem fornecer informações históricas sobre os locais que não são obtidas em relatórios governamentais, tais como a frequência de enchentes durante as quais podem ter ocorrido liberações de contaminantes não-planejadas ou a frequência de incêndios ou queimadas no local.

### **1.3. INFORMAÇÕES SOBRE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL**

**Substâncias específicas do local →**

- Dados de amostragem do local e fora do local

**Concentrações das substâncias →**

- Condições atuais
- Condições antecedentes
- Ocorrência natural

**Localização e profundidade da amostra →**

- Localização tridimensional
- Localização em mapas

**Datas da coleta e da amostra →**

**Métodos de coleta de amostra e de análise →**

- Modelo empregado
- Limites de detecção

**Medições de campo →**

- Condutividade
- pH

**Dados de Garantia de Qualidade e controle de Qualidade →**

**Informações sobre contaminação necessárias por meio ambiental**

<b>Ambiente</b>	<b>Tipo de informação a coletar</b>
Água	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Localizações e descrições de quaisquer fontes de contaminação de água subterrânea conhecida ou suspeita.</li> <li>• Localização, profundidade e uso de poços sabida e potencialmente contaminada.</li> <li>• Substâncias químicas e concentrações detectadas em poços de monitoramento do local, poços de abastecimento de água e fontes de água de torneira, se disponível.</li> <li>• Extensão vertical e lateral da pluma do contaminante (se conhecida) e de qualquer lixiviado (se presente e conhecido).</li> <li>• Localização de revestimentos ou paredes de contenção de lama (para aterros, p. ex.), se houver.</li> <li>• Condições naturais de fundo.</li> </ul>
Subterrânea	

Água de superfície/ sedimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Substâncias químicas e concentrações identificadas.</li> <li>• Água de superfície: resultado de amostras de água de superfície no local e a montante e a jusante do local.</li> <li>• Localização de efluentes do local no âmbito do Sistema Nacional de Eliminação de Descarga de Poluentes (<i>National Pollutant Discharge Elimination System</i> - NPDES).</li> <li>• Localização de quaisquer diques existentes.</li> <li>• Sedimento: resultados de amostragem de sedimentos de canal, corpos d'água, valas de drenagem, cursos d'água e/ou sedimentos dragados (se presentes).</li> <li>• Condições naturais de fundo.</li> </ul>
Solo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Substâncias químicas e concentrações identificadas.</li> <li>• Concentrações de contaminantes antes e após qualquer remoção ou ações de remediação.</li> <li>• Resultados de amostras separadas de solos superficiais (entorno de 8cm) e solos subsuperficiais.</li> <li>• Profundidade das amostras.</li> <li>• Tipo(s) de amostra (fortuitas ou simples vs. composta, p. ex.).</li> <li>• Condições naturais de fundo.</li> </ul>
Ar (ambiente, coluna, gás presente no solo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Substâncias químicas e concentrações identificadas a partir de resultados de amostras de liberações atmosféricas no local (processos produtivos, emissões em coluna, estações de monitoramento e gás presente no solo, inclusive linhas de transmissão elétrica subterrâneas) e monitoramento indireto (se houver).</li> <li>• Resultados de modelagem do ar (se realizada) de liberações atmosféricas no local para potenciais pontos de exposição atmosférica e áreas de deposição fora do local, bem como de emissões em coluna e/ou emissões fugitivas no local.</li> <li>• Medições de quaisquer gases inflamáveis e explosivos.</li> <li>• Medições de pressão de gás.</li> <li>• Resultados (se houver) de testes de coluna ou de queima experimental.</li> <li>• Todas as permissões existentes.</li> <li>• Condições naturais de fundo e condições meteorológicas locais e (se possível) específicas do local.</li> </ul>
Ar (ar de ambiente interno e poeira)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Substâncias químicas e concentrações identificadas a partir dos resultados de amostragem de ar e/ou poeira.</li> <li>• Descrições dos materiais e das características de construção civil (viga de concreto, abaixo de nível especificado, p. ex.) com vistas à avaliação de sua permeabilidade.</li> <li>• Descrições de outros contaminantes em potencial encontrados no ambiente interno (substâncias químicas ou solventes armazenados, produtos de limpeza, tinta com teor de chumbo, fumaça de cigarro, p. ex.).</li> </ul>
Cadeia Alimentar (biota)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Substâncias químicas e concentrações identificadas a partir dos resultados de amostras de partes comestíveis de plantas e/ou animais no local e/ou fora do local.</li> <li>• Informação de alertas de pesca local, tais como proibição de consumo de certos peixes devido a concentrações conhecidas dos contaminantes.</li> </ul>

Perigos físicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informação sobre a existência ou ausência de barreiras de acesso ao local, tais como cercas, portões ou placas de advertência.</li> <li>• Descrições de quaisquer espaços confinados, equipamentos industriais, perigos elétricos, valas abertas, buracos de escoamento, materiais armazenados, munição não-detonada ou outros perigos de explosivos e/ou fios/ cordas /correntes.</li> <li>• Presença sabida ou suspeita de metano ou outros gases inflamáveis no local.</li> </ul>
Parâmetros Radiológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radionuclídeos identificados e suas concentrações (a partir de medições de campo e de laboratório).</li> <li>• Dados de radiação gama, de esfregaços, amostras de ar, solo, água e resultados de amostras de radônio (se houver).</li> </ul>

### Informações sobre Contaminação Ambiental

Os dados de contaminação ambiental permitem avaliar a natureza e a extensão da contaminação ambiental e a magnitude das exposições em potencial. Essa informação será utilizada juntamente com dados de exposição e dados toxicológicos a fim de avaliar as possíveis implicações para a saúde decorrentes das exposições. Os esforços devem se concentrar na obtenção de um conjunto de dados tão amplo quanto possível sobre os meios para os quais existem exposições passadas, atuais ou possíveis exposições futuras.

#### Exemplo de levantamento de dados populacionais para uma determinada área

Índice de Monitoramento	Alumínio *Cetesb 0,2 mg/L	Chumbo *Cetesb 0,01 mg/L	Cromo *Cetesb 0,05 mg/L	Ferro *Cetesb 0,3 mg/L	Manganês *Cetesb 0,4 mg/L	Níquel *Cetesb 0,02 mg/L
M-01 (Julho/2006)	2,378			2,052		
M-01 (Janeiro/2007)	0,239			0,107		
M-02 (Julho/2006)	8,420			25,090		
M-02 (Janeiro/2007)	ND			0,037		
M-03 (Julho/2006)	13,650	ND		3,112	0,709	
M-03 (Janeiro/2007)	6,363	0,013		5,427	0,440	
M-04 (Julho/2006)	112,000	0,340	0,745	675,200	1,562	0,103
M-04 (Janeiro/2007)	0,040	ND	ND	0,056	ND	ND
M-05 (Janeiro/2007)	0,609			0,375		
M-06 (Janeiro/2007)	0,793			6,894		
M-07 (Janeiro/2007)	11,294	0,011		6,370		
M-08 (Janeiro/2007)	5,769			2,933		
M-09 (Janeiro/2007)	0,270			0,478	0,483	
M-10 (Janeiro/2007)	11,110			4,506		
M-11 (Janeiro/2007)	1,167			0,477		
M-12 (Janeiro/2007)	1,456			9,650		
M-13 (Janeiro/2007)						
M-14 (Janeiro/2007)	0,384			0,604		

\* Valor de Intervenção (Cetesb, 2005); ND: Não Detectado; Acima do Limite de Detecção

Deverão ser obtidas informações para cada meio contaminado como água subterrânea, solo, água de superfície, sedimento, ar e cadeia alimentar (biota):

- As substâncias específicas identificadas no local e em suas proximidades (dados de amostragem do local e de fora do local).
- As concentrações das substâncias encontradas, inclusive condições antecedentes de ocorrência natural (metais presentes no solo, p. ex.).
- A localização e a profundidade da amostra (localização tridimensional) onde foram encontradas as substâncias (inclusive mapas, se possível).
- As datas em que foram coletadas as amostras.

- Os métodos de coleta de amostras e de análise empregados, inclusive limites de detecção.
- Medições de campo, tais como condutividade e pH de campo (em oposição a pH de laboratório; as medições do pH de campo de poços de monitoramento e poços de abastecimento d'água muitas vezes geram informações importantes sobre quão representativa e útil pode ser a amostra d'água específica em uma determinada localização).
- Dados de Garantia de Qualidade/ Controle de Qualidade, a fim de assegurar que os dados resultantes sejam adequados para a avaliação de possíveis exposições humanas (i.e., garantir que os dados são de qualidade suficiente e são representativos da contaminação da área).

Em alguns casos, dados ambientais estimados ou calculados obtidos a partir de modelos poderão ser a única informação disponível (concentrações atmosféricas estimadas a partir de modelos de dispersão atmosférica, p. ex.).

Embora as medições ambientais (dados de amostragem) sempre sejam preferíveis a números estimados e calculados (dados modelados), os dados de modelagem deveriam ser examinados se proporcionarem um maior discernimento sobre as condições relacionadas ao local. Em tais casos, caberá ao avaliador obter informações sobre os pressupostos usados no modelo e as incertezas que ele embute, bem como obter informação sobre a qualidade de quaisquer modelos computacionais usados.

Os dados ambientais poderão estar disponíveis em muitos formatos distintos (relatórios de laboratório, tabelas-síntese, cd-rom, microficha ou bancos de dados, p. ex.). A obtenção de dados de amostragem ambiental em formato eletrônico pode poupar muito tempo ao avaliador porque muitas vezes lhe será possível analisar os dados eletrônicos em planilhas, importá-los para formatos do sistema de informação geográfica (SIG) e assim por diante, sem que seja necessário digitar os dados manualmente.

**Exemplo de modelo matemático de pluma de contaminação (CETESB -2014)**



**1.4. INFORMAÇÕES SOBRE ROTAS DE EXPOSIÇÃO**

**Topografia →**

- Inclinação relativa de encosta
- Elevação do local
- Taxa de escoamento superficial da água
- Taxa de erosão do solo
- Potencial de enchente e/ou inundação

**Tipos e localização dos solo →**

- Composição das diversas camadas do solo (argiloso, arenoso, orgânico, etc.)

**Cobertura vegetal e da vegetação →**

- Área de cobertura e tipos de vegetação (rasteira, fechada, etc.)

**Condições climáticas local →**

- Precipitação pluviométrica anual

**Fatores meteorológicos →**

- Velocidade do vento

**Hidrologia da água subterrânea →**

- Profundidade
- Direção
- Tipo de fluxo
- Composição geológica

**Corpos d'água de superfície →**

- Localização
- Uso planejado e não planejado

**Informações que podem ser necessárias para avaliar o destino e a dispersão de contaminantes**

<b>Ambiente</b>	<b>Tipo de informação a coletar</b>
Água Subterrânea	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrogeologia (tipos de aquíferos e solos/sedimentos/leito rochoso, condutividade hidráulica, p.ex.),</li> <li>• Geoquímica,</li> <li>• Taxas de precipitação e infiltração,</li> <li>• Fontes de recarga, áreas de descarga, curso d'água influente e de descarga,</li> <li>• Direção do fluxo da água subterrânea, profundidade até o aquífero, espessura do aquífero,</li> <li>• Localização do poço,</li> <li>• Usos da água subterrânea.</li> </ul>
Água de superfície/ sedimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitação, temperatura,</li> <li>• Cursos d'água influente e de descarga,</li> <li>• Áreas de descarga pontual e não pontual,</li> <li>• Localização de sistemas de drenagem de água pluvial</li> <li>• Usos das águas superficiais,</li> <li>• Tipos, permeabilidade, granularidade/tamanho das partículas do solo e do sedimento,</li> <li>• Áreas sujeitas a inundações.</li> </ul>
Solo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propriedades físico-químicas do solo (tipo de solo, permeabilidade, pH, p.ex),</li> <li>• Topografia (na medida em que afeta a erosão do solo/escoamento superficial, p.ex., encosta),</li> <li>• Cobertura vegetal,</li> <li>• Precipitação,</li> <li>• Atividades do local.</li> </ul>
Ar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Topografia (vales, montes),</li> <li>• Direção e velocidade predominantes do vento,</li> <li>• Precipitação, temperatura,</li> <li>• Condições de poluição atmosférica.</li> </ul>
Cadeia Alimentar/	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espécies vegetais e animais consumidos,</li> <li>• Tipo de solo (na medida em que afeta a absorção vegetal, p.ex.),</li> <li>• Padrões de migração dos animais silvestres,</li> </ul>

Biota (plantas, animais)  
Materiais residuais (resíduos expostos, líquidos, tambores, refugos de mineração, p.ex.)

- Hábitos alimentares dos animais silvestres/animais de criação
- Tipo de resíduo,
- Tempo aproximado durante o qual os materiais residuais estão no local,
- Clima (pode afetar a degradação dos resíduos).

### Informação sobre Rotas de Exposição

Uma vez que podem ocorrer impactos adversos sobre a saúde se as pessoas forem expostas a contaminantes, boa parte da informação que o avaliador procura deveria, em última análise, abordar algum aspecto de uma avaliação de exposição, tais como fontes de contaminação, destino e dispersão de contaminantes, meios ambientais afetados (água, solo, ar, cadeia alimentar [biota], p. ex.), pontos de exposição, rotas de exposição e populações potencialmente expostas. Todos esses são elementos de uma rota de exposição completa. Boa parte dessas informações pode ser coletada mediante o exame de informações sobre os antecedentes e as condições naturais de fundo do local discutidas acima.

Esta parte concentra-se em informações locais, tais como condições geológicas, topográficas e climáticas que podem ser necessárias a uma avaliação das rotas de exposição (*o destino e a dispersão de contaminantes no ambiente, p. ex.*).

As informações relacionadas ao destino e à dispersão até certo ponto variam de um meio para outro e podem incluir:



- **Topografia**, a inclinação relativa de encostas e a elevação do local podem afetar a direção e a taxa de escoamento superficial da água, a taxa de erosão do solo e o potencial de enchente ou inundação.
- **Tipos e localização dos solos** (arenoso, orgânico, p.ex.) influenciam a percolação, recarga da água subterrânea, liberação de contaminantes e taxas de dispersão.

- **Cobertura vegetal/ vegetação** do local em grande medida influencia as taxas de infiltração e evaporação da água pluvial e a erosão do solo, bem como a acessibilidade de contaminantes às pessoas.
- **Condições climáticas locais**, tais como precipitação pluviométrica anual, afetam a quantidade de umidade contida no solo e o volume de percolação, bem como as taxas de escoamento superficial e recarga da água subterrânea. As condições de temperatura afetam as taxas de volatilização dos contaminantes e a frequência da atividade humana em ambiente externo.
- Fatores **meteorológicos**, tais como velocidade do vento, podem influenciar a dispersão e volatilização de contaminantes transmitidos pelo ar e as taxas de erosão do solo.
- **Hidrologia da água subterrânea** (profundidade, direção e tipo de fluxo, p. ex.) e composição geológica afetam a direção e o alcance da dispersão de contaminantes na água subterrânea.
- **Localização de corpos d'água de superfície** e o uso planejado e não planejado desses cursos d'água podem afetar significativamente a migração de contaminantes para fora do local e para outros meios.

### 1.5. INFORMAÇÃO ESPECÍFICA SOBRE SUBSTÂNCIA QUÍMICA

#### Especificações da substância química →

- Informação geral sobre as propriedades químicas e físicas de contaminantes ambientais nos meios que representam preocupação.
- Dados toxicológicos e epidemiológicos específicos da substância química.
- Dados biológicos e fisiológicos gerais da substância química.

#### *Informação Específica sobre uma Substância Química*

A necessidade de informação sobre substâncias químicas específicas pode ser identificada à medida que se avança no processo de avaliação de saúde pública. Uma vez examinada a informação específica do local e adquirido um entendimento sobre quais substâncias perigosas estão presentes e representam potencial de preocupação, o avaliador poderá procurar informação sobre as propriedades específicas de uma substância química a fim de informar sua análise das rotas de exposição e suas avaliações dos efeitos sobre a saúde.

Especificamente, o avaliador de saúde poderá precisar de:

- Informação geral sobre as propriedades químicas e físicas de contaminantes ambientais nos meios que representam preocupação.
- Dados toxicológicos e epidemiológicos específicos da substância química.
- Dados biológicos e fisiológicos gerais da substância química.

Com o apoio de toxicólogos, epidemiologistas, hidrólogos e outros especialistas, essas informações ajudarão a avaliar mais plenamente a natureza e a extensão da contaminação e a probabilidade de efeitos adversos à saúde.

### 1.6. INFORMAÇÃO DA VISITA AO LOCAL

#### Realização da visita ao local →

- Ver o local de modo a determinar as atividades e possíveis pontos de exposição.
- Identificar as atuais condições do local.
- Coletar ampla informação sobre o local.
- Reunir-se com representantes do local, funcionários estaduais e municipais/locais, tribos, membros da comunidade e outras fontes de informação (médicos locais ou líderes comunitários, p.ex.).
- Estabelecer contatos a fim de facilitar futuras solicitações de informação.

- Confirmar informações previamente coletadas sobre o local.

### *Realização da Visita ao Local*

Uma **visita ao local** é parte inestimável do processo de avaliação de saúde pública. A visita ao local proporciona ao avaliador uma oportunidade de:

- Ver o local de modo a determinar as atividades e possíveis pontos de exposição.
- Identificar as atuais condições do local.
- Coletar ampla informação sobre o local.
- Reunir-se com representantes do local, funcionários estaduais e municipais/ locais, tribos, membros da comunidade e outras fontes de informação (médicos locais ou líderes comunitários, p.ex.).
- Estabelecer contatos a fim de facilitar futuras solicitações de informação.
- Confirmar informações previamente coletadas sobre o local.

As visitas aos locais e os relatórios de regulação com frequência proporcionam boa parte das informações necessárias sobre os antecedentes do local. As reuniões com membros da comunidade e outros contatos durante a visita ao local são um importante meio de obtenção de documentos relevantes e coleta de informações suplementares.

#### *Antes da visita ao local*



A fim de se preparar adequadamente para a visita, o avaliador deve examinar quaisquer informações específicas sobre o local que tenham sido coletadas inicialmente: informações sobre as condições

naturais antecedentes do local (inclusive mapas), preocupações de saúde da comunidade, dados ambientais, dados de saúde relevantes e dados demográficos, observando quais informações sobre o local já foram colocadas à disposição, relatórios sobre o local etc. O avaliador também deverá considerar as informações que ainda se fazem necessárias e elaborar uma lista de necessidades de informação e perguntas a serem abordadas durante sua visita ao local.

As visitas ao local geralmente devem ser realizadas por equipes pequenas. No entanto, as composições das equipes poderão variar, dependendo das questões suscitadas pelo local. Uma boa articulação é importante para que as visitas sejam bem-sucedidas. Antes da visita, é importante se reunir com os integrantes da equipe para providências no sentido de:

- Informar todos os contatos com os quais a equipe se reunirá individualmente a respeito do propósito da visita.
- Enviar confirmação por escrito aos contatos acerca das datas, horários e locais das reuniões da visita ao local.
- Definir o tipo de reunião mais adequado à comunidade (reunião pública, sessões e ou reuniões individuais).
- Convidar representantes de órgãos relevantes (secretarias estaduais e municipais de saúde e do meio ambiente) para as reuniões ou visitas apropriadas.
- Desenvolver material de informação (tais como comunicados à imprensa e fichas factuais descritivas).

O líder da equipe designada para o local deve determinar se é necessário, ou não, ter acesso a quaisquer áreas restritas (focos de contaminação, p. ex.). Em caso afirmativo, todos os participantes da visita ao local devem certificar-se de sua segurança.

#### ***Durante a visita ao local***



Uma visita completa do local e seu entorno é uma parte indispensável de todas as visitas. O avaliador deve ter presente que a visita ao local é um componente crucial de suas atividades de coleta de dados. Ao visitar o local, o avaliador deve identificar, tanto quanto possível qualquer área-fonte de contaminação, as localizações, proximidade de poços particulares, perigos físicos, placas de advertência ou cercas, pontos de exposição em potencial e distâncias aproximadas de lugares onde as

peçoas moram e trabalham. O avaliador também deve fazer as perguntas que elaborou antes da visita e coletar quaisquer documentos e conjuntos de dados relevantes.

Recomenda-se que o avaliador tire fotografias durante a visita ao local (com permissão) e use um mapa para registrar a localização e direção de características físicas do local. Embora os perigos físicos e quaisquer liberações visíveis devam ser fotografados e observados, o avaliador sempre deve usar seu bom senso profissional para manter-se fora de perigo. Todos os integrantes da equipe designada para o local que participam da visita são responsáveis por aderir aos requisitos de saúde e segurança e outros requisitos aplicáveis.

Durante a visita ao local, o avaliador também deve se reunir com membros da comunidade, funcionários locais e estaduais, conforme programado antes da visita. Uma vez mais, o avaliador deve comparecer a essas reuniões preparado com perguntas e solicitações de informações que faltam, trabalhando em estreita cooperação com o especialista em comunicação em saúde de sua equipe.

Recomenda-se que o avaliador documente os achados de sua visita ao local em observações pormenorizadas redigidas durante a visita. As observações de campo devem ser separadas das informações transmitidas durante reuniões. Registre as preocupações e as questões de modo preciso e objetivo, sem interpretação. Relacione as possíveis fontes de dados adicionais necessários.

### ***Após a Visita ao Local***

Após realizar a visita ao local, o avaliador precisa examinar e compilar as informações coletadas. Cabe considerar a possibilidade de se realizar uma reunião com a equipe para avaliar, em retrospectiva, as informações coletadas durante a visita ao local, definir as lições aprendidas e começar a elaborar um plano de prioridades e de ações de saúde pública para o local.

Da mesma forma que em outras etapas do processo de coleta de informações, o avaliador poderá identificar necessidades de dados adicionais e poderá precisar fazer novos contatos e, possivelmente, realizar novos exames de arquivos e/ou dossiês.

## 2. Avaliação da Exposição: Contaminação Ambiental

### 2.1. AVALIAÇÃO DOS DADOS DA AMOSTRAGEM AMBIENTAL

#### 2.1.1. Representatividade

##### Dados da amostragem ambiental →

- Foram coletados dados suficientes para que se possa perceber a extensão espacial da potencial exposição?
- Qual é o padrão de dispersão dos contaminantes? Existem “focos de contaminação” (hot spots)?
- A coleta das amostras foi realizada nas áreas com maior probabilidade de terem sido afetadas pela contaminação?
- A coleta de amostras foi levada a cabo no decorrer de um período de tempo determinado, permitindo assim melhor compreensão da extensão temporal da contaminação?
- A amostragem de dados é composta de amostras simples, pontuais, ou faz parte de um projeto sistemático de coleta de amostras em longo prazo?
- A periodicidade da amostragem é suficiente para caracterizar uma ameaça à saúde pública?
- Quais são os níveis de concentração no ponto de contato?
- De que maneira foi coletada e analisada as amostras de contaminantes?
- Com base em seu conhecimento, o avaliador considera que o padrão de contaminação é coerente?

##### Água subterrânea →

- As amostras de águas subterrâneas foram coletadas no meio aquífero de interesse para a investigação?
- As amostragens foram realizadas a jusante e a montante da área contaminada, bem como a jusante e a montante da pluma de contaminação das águas subterrâneas?
- Foi determinada a extensão temporal e espacial das plumas de contaminação?
- Qual o cronograma para a coleta de amostras? À época da amostragem, a pluma de contaminação alcançara ou ultrapassara a área onde está situado o poço?
- As amostras dos metais eram filtradas (dissolvidas) ou não-filtradas (inteiras)? Amostras não-filtradas são preferíveis para fins de uma avaliação de saúde pública.
- Foram fornecidas informações pormenorizadas a respeito de como as amostras de águas subterrâneas foram coletadas (p.ex., água coletada durante a construção do poço, amostra filtrada, amostra lavada)?
- O pH de campo foi assinalado? Uma anomalia no pH de campo pode indicar problemas na construção do poço de monitoramento.
- Fluxos sazonais ou índices pluviométricos estão afetando as concentrações de contaminantes?

##### Solo →

- Os resultados da amostragem determinaram a existência de contaminação do solo em áreas com diferentes usos (p.ex., áreas de acesso restrito, margens de estrada, jardins, fazendas, jardins residenciais, parques, playground)?
- A que profundidade foram coletadas as amostras de solo? O solo até uma profundidade de 8,0cm é considerado solo superficial e a uma profundidade superior a 8,0cm é denominado de solo de subsuperfície. Amostras de solo referentes a outras profundidades (p.ex., zero a 30,0cm) poderão ser usadas, mas a profundidade deverá ser registrada.
- Os tipos de solo estão descritos nos dados? Caso contrário, deve-se presumir que o solo inclui todo e qualquer material natural ou aterro não-consolidado acima da rocha firme e exclui materiais produzidos pelo homem, tais como lajes, pavimentos, asfalto, concreto, tijolos, rochas, cinzas ou cascalho.
- As amostras foram coletadas a sotavento e a barlavento das fontes de poluição atmosférica —tanto no local quanto fora dele— e em focos de contaminação (hot spots)? As amostras foram coletadas de forma a possibilitar a identificação de focos de contaminação?
- Houve algum movimento de terra no local (p.ex., escavações) que possa ter alterado os níveis de contaminação?
- As amostras de solo são simples ou compostas?

##### Gás contido no solo →

- Onde foi amostrado o gás em relação às áreas residenciais?
- Foram coletadas amostras de gás com o objetivo de determinar o potencial de risco de exposição ou de explosão?

- Quais os gases monitorados? O monitoramento inclui aqueles gases com maior probabilidade de serem encontrados em grandes quantidades ou de serem os mais tóxicos?
- A que profundidade se dá o monitoramento do gás? Ele é contínuo ou periódico?

**Ar →**

- Durante que intervalo de tempo às amostras foram coletadas? (p.ex., em média 1 hora, 24 horas, ou mais)? Com que frequência às amostras foram coletadas?
- O material particulado foi amostrado como TPS (total de partículas suspensas) PM10 (matéria particulada menor que 10 microns) ou PM2.5 (matéria particulada menor que 2.5 microns)?
- As amostras foram coletadas a sota-vento e barlavento da fonte?
- A fonte de interesse estava operando a plena capacidade quando as amostras foram coletadas?
- Os dispositivos de amostragem de ar ambiente estão colocados demasiadamente próximos da fonte, podendo provocar um viés nos resultados?
- Os monitores fixos estão situados em áreas representativas com relação às rotas de exposição?
- Os dados foram gerados com base em uma única campanha de amostragem ou em um programa de monitoramento de longo-prazo?

**Águas de superfície →**

- Os dados referentes às águas de superfície incluem os resultados de amostras coletadas tanto a jusante quanto a montante da principal fonte de contaminação?
- Existem informações sobre o número de amostras de água de superfície coletado em cada uma das estações de amostragem, bem como sobre a periodicidade, duração e datas dessa amostragem?
- Como o período da amostragem das águas de superfície se compara ao período das emissões da área investigada?
- As amostras foram filtradas?
- As amostras foram coletadas em locais de livre acesso à população (praias, p.ex.)?

**Sedimentos →**

- Foi especificada a que profundidade foi coletada a amostra?
- As amostras foram coletadas em intervalos regulares somente nas áreas de deposição, ou foi empregado algum outro esquema?
- Os sedimentos foram amostrados tanto a jusante quanto a montante da área investigada?
- Ocorreu alguma atividade de remoção de sedimentos (p.ex: dragagens, escavações) que possa ter alterado os níveis de contaminação?

**Cadeia alimentar (Biota) →**

- A amostragem da biota levou em consideração as espécies que a população da área geralmente consome?
- O plano de amostragem contempla as espécies que têm maior probabilidade de acumular contaminantes? (Obs.: Plantas vasculares apresentam maior probabilidade de absorver contaminantes do solo do que plantas não-vasculares; é sabido que peixes com níveis tróficos mais elevados possuem maior carga corporal de contaminantes persistentes capazes de biomagnificar do que peixes com níveis tróficos mais baixos; e assim por diante).
- Que idade e tamanho tinham as espécies amostradas? Esses dados correspondem à idade e ao tamanho da biota que a população colhe ou caça para se alimentar?
- No que se refere às espécies coletadas, os níveis de contaminação foram medidos nas partes do corpo que a população geralmente consome? (Obs.: Nos estudos de amostragem de peixes, os investigadores frequentemente medem os níveis de contaminação existentes apenas no filé; algumas pessoas comem todas as partes do peixe).
- As concentrações são registradas com base no peso úmido ou no peso seco? (Obs: As com base no peso fresco caracterizam melhor as concentrações de pontos de exposição na maior parte dos tipos de biota).

## Avaliação dos dados da contaminação ambiental

A avaliação da contaminação ambiental se dá mediante amostragem de dados ambientais disponíveis e, em alguns casos, por meio de estudos de modelagem<sup>1</sup>, e constitui um importante componente do processo de avaliação da exposição<sup>2</sup>. É preciso conhecer o conceito de contaminação ambiental<sup>3</sup> para poder realizar análises de rotas de exposição<sup>4</sup> e determinar adequadas concentrações dos pontos de exposição para avaliação dos efeitos sobre a saúde. No momento da avaliação da contaminação ambiental, dois pontos são de fundamental importância:

- Se a qualidade dos dados disponíveis sobre o local — tenha sido ela medida ou modelada — é suficiente para assegurar a avaliação das rotas de exposição.
- Se caso sejam identificadas lacunas críticas nas informações disponíveis, a forma de como devem ser preenchidas.



Iporanga



Shell Paulínia



Estuário Santos

Os pontos acima permitirão que o avaliador determine se os dados provenientes de uma área específica espelham exata e adequadamente as condições de exposição. Desse modo, é possível evitar que importantes decisões do setor de saúde pública sejam tomadas com base em informações pouco confiáveis, ou que sejam solicitados dados adicionais que não desfaçam as dúvidas existentes.

## Avaliação dos dados da amostragem ambiental

Os dados de amostragem ambiental indicam o nível dos contaminantes existentes na água, no solo, no ar e na cadeia alimentar (biota). A ATSDR prefere fundamentar as conclusões de saúde pública, sobretudo em dados decorrentes de amostragens ambientais, visto serem eles, na maioria das vezes, resultados de mensurações diretas de concentrações de pontos de exposição. Devido ao papel essencial que esses dados desempenham no processo, é imprescindível que o avaliador saiba como avaliá-los de maneira apropriada. Infelizmente, não existe uma fórmula soberana ou um enfoque específico para tanto, e o nível e a extensão da análise dos dados irão variar conforme a área investigada. Contudo, alguns conceitos básicos podem ser aplicados à maioria dos exercícios de avaliação.

### DADOS SOBRE CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL:

*De que maneira as avaliações de dados se inserem no contexto do processo de avaliação de saúde pública?*

*Os dados ambientais ajudam a caracterizar a ocorrência de possíveis exposições e constituem, portanto, um dos quatro principais insumos de caráter informativo do processo de avaliação de saúde pública, juntamente com os dados sobre exposição, impacto na saúde e preocupação da comunidade. Os avaliadores devem estimar a qualidade e a utilidade prática dos dados ambientais, quer sejam eles medidos ou modelados, antes de utilizá-los no processo de avaliação de saúde pública. O*

1 Um estudo de modelagem é uma representação ou interpretação simplificada da realidade, ou uma interpretação de um fragmento de um sistema segundo uma estrutura de conceitos. Um modelo apresenta "apenas" uma visão ou cenário de um fragmento do todo. Normalmente, para estudar um determinado fenômeno complexo, criam-se vários modelos.

2 O objetivo precípuo da avaliação da exposição é compreender como as pessoas podem vir a ser expostas a contaminantes do local; identificar; caracterizar o tamanho e a suscetibilidade das populações potencialmente expostas.

3 Contaminação ambiental é a introdução no meio ambiente de organismos patogênicos, substâncias tóxicas ou outros elementos, em concentrações que possam afetar a saúde humana. É um caso particular de poluição. Poluição é definida através da Lei Federal nº 6938/81: Art. 3º — III — "Degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; c) afetem desfavoravelmente a biota; d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos".

4 Rota de Exposição é a forma em que uma pessoa pode estar em contato com substâncias químicas.

presente trabalho fornece orientações quanto à melhor maneira de avaliar a contaminação do meio ambiente. Deve-se recordar, porém, que essas avaliações constituem elementos de apoio para outros componentes do processo de avaliação de saúde pública, quais sejam:

**Análise das rotas de exposição:** Uma das principais tarefas do processo de avaliação de saúde pública é determinar se as pessoas estão expostas à contaminação, visto que os perigos para a saúde pública (com exceção do perigo físico) não existirão se a exposição não ocorrer. Os dados ambientais indicam quando e onde a contaminação foi detectada — informações úteis para a avaliação das rotas de exposição.

**Avaliação dos efeitos sobre a saúde:** Vários fatores irão determinar o surgimento ou não de riscos para a saúde pública após uma exposição. É essencial formular as seguintes perguntas: a que contaminantes as pessoas foram expostas? Em que níveis? E por quanto tempo? Os dados referentes a uma contaminação ambiental fornecem as respostas a essas interrogações.

Embora as próximas seções apresentem considerações relevantes para a avaliação das informações geradas por uma amostragem ambiental, convém ter em mente que o principal objetivo desse procedimento é determinar quais os dados que deverão ser ou não utilizados na avaliação de saúde pública. É imprescindível considerar este fato no decorrer de todas as fases do processo.

### **Histórico de Amostragens Ambientais Prévias**

Antes de analisar a validade e a representatividade dos dados em questão, é preciso que o avaliador se familiarize com o alcance e as metas dos diversos projetos de amostragem ambiental de uma área específica. Tendo em vista o fato de que diferentes grupos coletam amostras ambientais por diferentes razões, a qualidade dos dados ambientais de um determinado local pode apresentar grande variação de um projeto para outro. Assim sendo, dispor de antecedentes sobre os tipos de amostragem efetuados anteriormente deverá se tornar uma prioridade.

Os estudos de amostragens usados para dar suporte às avaliações de saúde pública podem variar substancialmente em termos de alcance e propósito. Consequentemente, diferem igualmente os Objetivos de Qualidade de Dados (OQD). Em muitos casos, será utilizado todo e qualquer dado disponível, inclusive aqueles coletados para outros programas que não de saúde pública. Independentemente do escopo de cada um dos projetos de amostragem, deve-se observar que, geralmente, as técnicas a serem aplicadas são fatos que se reveste de especial importância no momento da interpretação. A classificação das áreas contaminadas pela CETESB determinada pela Lei 13577/2009 e aprovada pelo Decreto 59.263 de 05/06/2013, estabelece o seguinte:

**Área Contaminada sob Investigação (ACI):** Área onde foram constatadas por meio de investigação confirmatória concentrações de contaminantes que colocam, ou podem colocar, em risco os bens a proteger;

**Área Contaminada com Risco Confirmado (ACRi):** Área onde foi constatada, por meio de investigação detalhada e avaliação de risco, contaminação no solo ou em águas subterrâneas, a existência de risco à saúde ou à vida humana, ecológico, ou onde foram ultrapassados os padrões legais aplicáveis;

**Área Contaminada Crítica (ACC):** São áreas contaminadas que, em função dos danos ou riscos, geram risco iminente à vida ou saúde humana, inquietação na população ou conflitos entre os atores envolvidos, exigindo imediata intervenção pelo responsável ou pelo poder público, com necessária execução diferenciada quanto à intervenção, comunicação de risco e gestão da informação;

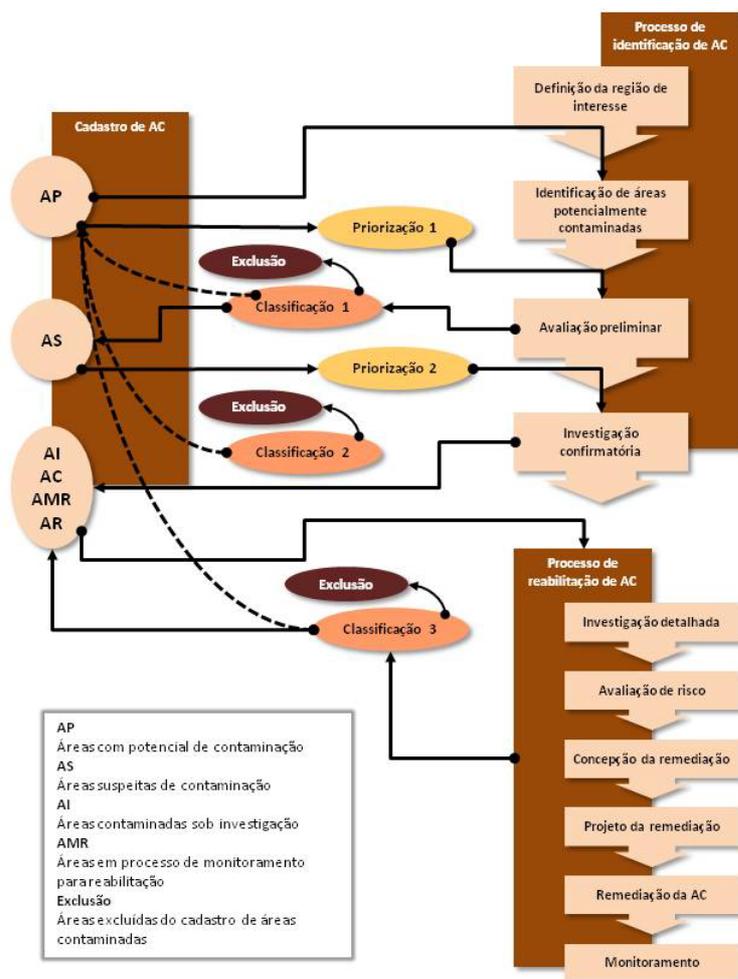


Figura 2- Etapas do gerenciamento para qualificação das AC pela CETESB.

Fonte: CETESB

**Área Contaminada em Processo de Remediação (ACRe):** Área onde estão sendo aplicadas medidas de remediação visando a eliminação da massa de contaminantes ou, na impossibilidade técnica ou econômica, sua redução ou a execução de medidas contenção e/ou isolamento;

**Área Contaminada em Processo de Reutilização (ACRu):** Área contaminada onde se pretende estabelecer um uso do solo diferente daquele que originou a contaminação, com a eliminação, ou a redução a níveis aceitáveis, dos riscos aos bens a proteger, decorrentes da contaminação;

**Área Reabilitada para o Uso Declarado (AR):** Área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria anteriormente contaminada que, depois de submetida às medidas de intervenção, ainda que não tenha sido totalmente eliminada a massa de contaminação, tem restabelecido o nível de risco

aceitável à saúde humana, ao meio ambiente e a outros bens a proteger;

**Área em Processo de Monitoramento para Encerramento (AME):** Área na qual não foi constatado risco ou as metas de remediação foram atingidas após implantadas as medidas de remediação, encontrando-se em processo de monitoramento para verificação da manutenção das concentrações em níveis aceitáveis;

**LIMITES DE DETECÇÃO:**

Quais são eles? Por que são importantes?

Por definição, limite de detecção é aquele nível mais baixo de contaminação passível de ser captado por um equipamento analítico a partir do “ruído” inerente às medições científicas. Quando um laboratório emite um laudo indicando que um determinado contaminante não foi encontrado em uma amostra, isso não significa que ele esteja ausente. Quer dizer, apenas, que os métodos analíticos disponíveis não foram capazes de realizar uma medição confiável com base nos níveis existentes. A única conclusão possível, portanto, será a de que a concentração real está situada entre zero e o limite de detecção determinado. Para efeitos estatísticos de amostragens ambientais, portanto, é comum substituir observações não-detectadas por valores de concentração correspondentes à metade do limite de detecção. Os responsáveis pelas avaliações de saúde precisam estar atentos quanto à relação entre limites de detecção e valores de comparação adequados em matéria de saúde. Se um método analítico possui limites de detecção para um determinado contaminante superiores aos valores correspondentes de comparação, isso significa que o método não é suficientemente sensível para medir níveis de concentração potencialmente inquietantes. Nesses casos, um resultado “não-detectado” não indicará se as concentrações estão acima ou abaixo de um valor de comparação determinado, e novas amostragens com métodos mais sensíveis serão necessários para estimar os níveis de contaminação na faixa em questão.

**A Validade dos Dados de uma Amostragem Ambiental**

A amostragem ambiental não é uma ciência exata nem perfeita, e muitos fatores afetam a imparcialidade dos resultados obtidos. Por exemplo, amostras de águas de superfície podem apresentar um resultado “falso positivo” se os recipientes de coleta não estiverem totalmente limpos no momento da investigação, e amostras de ar podem produzir um resultado “falso negativo” se ocorrer um vazamento no recipiente durante o transporte entre o local da coleta e o laboratório, ou se for empregado um método analítico inapropriado. Tendo em vista não só estes problemas como também uma variada gama de outras dificuldades, não se deve partir do princípio de que todas as amostragens ambientais são exatas. O avaliador deve se perguntar: *Qual a certeza que eu tenho de que as concentrações registradas refletem fielmente os índices de contaminação presentes no ambiente?* Ou, de forma ainda mais simples: *Os dados da amostragem são válidos?*

Responder a essas perguntas não é tão fácil quanto parece. Quando lidamos com campanhas de amostragem de grande porte, uma validação exaustiva dos dados pode levar semanas. Contudo, não devemos levar a cabo avaliações tão abrangentes, a não ser nos casos em que existem suspeitas quanto à validade dos dados obtidos.

A realização de uma revisão minuciosa das práticas de amostragem e da qualidade dos dados (denominada de validação de dados) requer formação especializada e uma profunda compreensão da importância de se contar com dados adequados. Normalmente, não se espera que avaliadores do setor de saúde realizem validações de dados demasiado pormenorizadas. Não obstante, convém estar familiarizado com os termos e métodos mais comuns empregados no processo de validação, bem como consultar outros membros da equipe (p.ex., um químico analítico) e investigadores, ou o laboratório que gerou os dados, a fim de dirimir dúvidas sobre os métodos utilizados ou sobre a documentação relativa à validação.

**Representatividade dos dados da amostragem ambiental**

Um avaliador jamais investigará uma área que disponha de dados de amostragem que caracterizem todas as exposições possíveis. Normalmente, as informações disponíveis dizem respeito a níveis de contaminação em áreas e períodos de tempo específicos. Estabelecer o grau de representatividade desses níveis de contaminação em relação a outras áreas ou épocas é um dos desafios que os avaliadores devem enfrentar. Geralmente, em situações como essa, eles deverão valer-se de seu senso crítico profissional, e esta seção poderá ajudá-los nessa tarefa. Em certos casos, entretanto, são empregados modelos que buscam aferir níveis de contaminação em locais onde não foram realizadas amostragens.

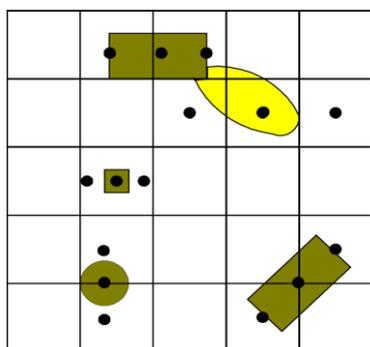


Figura 3- Esquema de distribuição direcionada dos pontos de amostragem. Fonte: CETESB

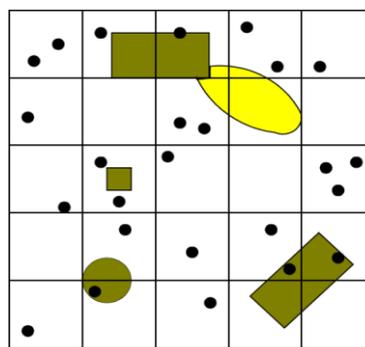


Figura 4- Esquema de distribuição aleatória dos pontos de amostragem. Fonte: CETESB

A avaliação da representatividade dos dados é, certamente, uma tarefa subjetiva baseada na experiência e conhecimentos técnicos dos avaliadores sobre o destino e a dispersão dos contaminantes ambientais.

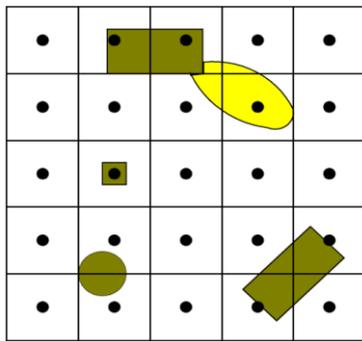


Figura 5- Esquema com distribuição sistemática dos pontos de amostragem utilizando-se uma malha quadrada. As áreas demarcadas são aquelas consideradas suspeitas de serem contaminadas. Fonte: CETESB

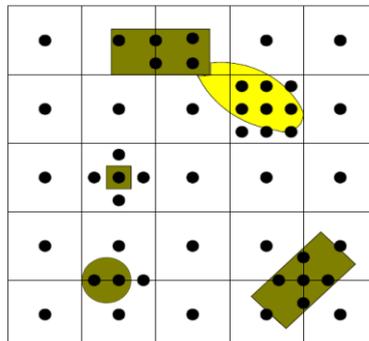


Figura 6- Esquema com distribuição sistemática dos pontos de amostragem e adensamentos nos pontos previamente identificados como áreas suspeitas de contaminação (áreas sombreadas). Fonte: CETESB

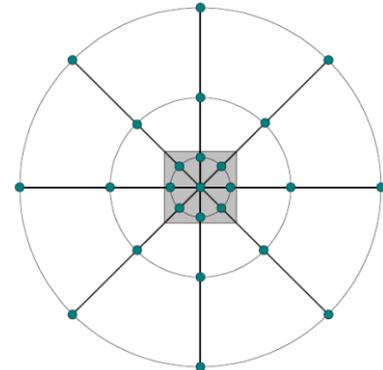


Figura 7- Esquema de amostragem com malha de amostragem circular (a área sombreada refere-se à fonte suspeita de contaminação). Fonte: CETESB

As perguntas formuladas a seguir, juntamente com alguns exemplos correlatos, deverão auxiliar o avaliador a decidir se os dados de uma amostragem ambiental poderão ser considerados representativos de concentrações de pontos de exposição. Essas perguntas não representam um guia completo de avaliação de representatividade, mas sim exemplos do tipo de critério a ser utilizado no momento de interpretar os dados:

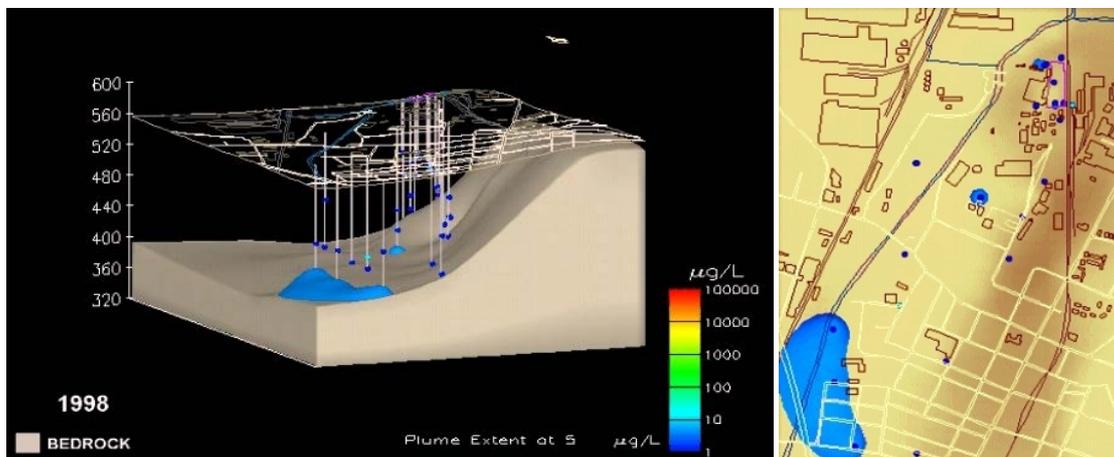


Figura 8- Poços de Monitoramento. Fonte: Fotografia da CRA – Conestoga – Rover & Associados

**Foram coletados dados suficientes para que se possa perceber a extensão espacial da potencial exposição?**

Exemplo: Em locais onde há contaminação de águas subterrâneas, deve-se averiguar se o número de poços de monitoramento, e sua localização são suficientes para caracterizar os limites da extensão espacial de contaminação à qual as pessoas estariam expostas, e se os sistemas de abastecimento de água residencial e municipal foram analisados.

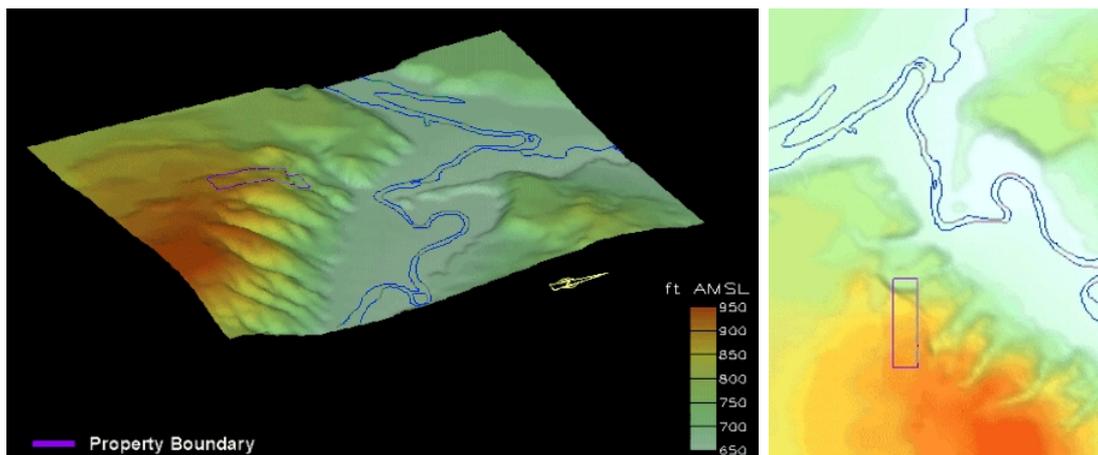


Figura 9- Dispersão dos contaminantes. Fonte: Fotograma da CRA – Conestoga – Rover & Associados

**Qual é o padrão de dispersão dos contaminantes? Existem “focos de contaminação” (hot spots<sup>5</sup>)?**

Exemplo: Quando despejados em rios, os contaminantes hidrofóbicos (p.ex., PCBs) tendem a se acumular, principalmente, em áreas de deposição, criando assim “focos de contaminação”. Nestes casos, deve-se indagar se os locais de amostragem foram selecionados especificamente para identificar essas áreas de elevado grau de contaminação.



Foto 3- Aterro Mantovani. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/eprete

**A coleta das amostras foi realizada nas áreas com maior probabilidade de terem sido afetadas pela contaminação?**

Exemplo: A estação de monitoramento de ar ambiente mais próxima de um grande aterro sanitário municipal fica a cerca de 1 quilometro a sota-vento<sup>6</sup>. Cabe indagar se essa proximidade é suficiente para que a faixa mais acima da superfície do solo (a zona de respiração) capte os efeitos provenientes das emissões do aterro sanitário. Saber que as emissões passivas escoadas do próprio aterro tendem a causar maior impacto nas proximidades de sua fonte será de grande utilidade para avaliações como esta.

<sup>5</sup> “Hot spot” Foco de contaminação. São os pontos, em uma AC, onde são detectadas as maiores concentrações do(s) contaminante(s), na maioria das vezes relacionada à fonte de contaminação. Fonte: Glossário – Definições CETESB

<sup>6</sup> Barlavento é o lado de onde sopra o vento. **Sotavento** é o lado oposto ao lado do qual sopra o vento. Fonte: Wikipédia



Foto 4- Região do estuário de Santos. Fonte: PRAM – Instituto Brasileiro de Proteção Ambiental

**A coleta de amostras foi levada a cabo no decorrer de um período de tempo determinado, permitindo assim melhor compreensão da extensão temporal da contaminação?**

Exemplo: Durante 20 anos, uma unidade fabril despejou águas residuárias em um rio. Como estão disponíveis apenas os dados referentes ao monitoramento das águas de superfície dos últimos 5 anos, convém indagar se essas informações recentes são representativas dos níveis anteriores de poluição. Seria recomendável ter presente quaisquer mudanças nos níveis de produção da empresa ou nas práticas de tratamento das águas residuárias<sup>7</sup>.



Foto 5- A instalação de extração de areias de petróleo da Syncrude é vista perto da cidade de Fort McMurray, na Califórnia, nesta foto de 2009 arquivos. Fonte: MARK RALSTON / AFP / GETTY IMAGENS / ARQUIVOS

- A amostragem de dados é composta de amostras simples, pontuais, ou faz parte de um projeto sistemático de coleta de amostras em longo prazo?

Exemplo: Em alguns locais, os dados ambientais disponíveis podem ter sido originados por uma única amostragem, ou seja, uma amostra de ar coletada a sota-vento de uma metalúrgica. Deve-se avaliar se, em longo prazo, se essa amostra será representativa para a qualidade do ar. É importante ter presente que coletas isoladas de amostras simples fornecem apenas uma

imagem limitada das tendências da contaminação ambiental.

**A periodicidade da amostragem é suficiente para caracterizar uma ameaça à saúde pública?**

Exemplo: Em aterros em atividade, o metano é geralmente medido em poços de monitoramento de gás, in loco, semanalmente. Entretanto, os níveis de concentração de gás podem aumentar e diminuir em apenas algumas horas devido a mudanças climáticas. Se houver uma área residencial nas

<sup>7</sup> As águas residuais transportam uma quantidade apreciável de materiais poluentes que se não forem retirados podem prejudicar a qualidade das águas dos rios, comprometendo não só toda a fauna e flora destes meios, mas também, todas as utilizações que são dadas a estes meios, como, a pesca, a balneabilidade, a navegação, a geração de energia, etc. Fonte: CETESB

proximidades, uma amostragem semanal talvez não seja suficiente para caracterizar o risco potencial de exposição ou a ameaça à integridade física dos habitantes devido à possibilidade de explosões.



*Foto 6- O Lixão é uma opção inadequada de disposição final de resíduos a céu aberto, sem qualquer planejamento ou medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. No local não há nenhum controle ou monitoramento dos resíduos depositados, onde nesse caso, resíduos domiciliares e comerciais de baixa periculosidade podem ser depositados juntamente com os industriais e hospitalares, de alto poder poluidor, atraindo vetores, além de riscos de incêndios causados pelos gases gerados pela decomposição do lixo. Fonte: Terra Ambiental*

**Quais são os níveis de concentração no ponto de contato?**



*Foto 7- Residencial Barão de Mauá. Fonte: PM/VS de Mauá*

Exemplo: Uma amostra coletada de um único reservatório municipal de abastecimento de água mostra níveis elevados de solventes clorados, mas as águas desse e de outros reservatórios municipais deságuam em um complexo sistema de distribuição antes de chegar às residências. Em um cenário como este, deve-se buscar saber quanto do volume dessa água estará diluído antes de chegar às torneiras das casas. Se houver algum tipo de suspeita quanto à qualidade dessa água, recomenda-se seja feita uma amostragem no local.

**De que maneira foram coletadas e analisadas as amostras de contaminantes?**

Exemplo: Em um local onde é realizado grande número de galvanoplastias, o proprietário da área em questão propõe coletar amostras de ar e analisá-las em busca de cromo. Convém assegurar-se de que a análise das amostras se concentrará nos tipos de cromo de interesse para a investigação. Neste caso, devem ser aplicados técnicas analíticas capazes de distinguir entre o cromo hexavalente e o cromo trivalente. Cabe pesquisar, igualmente, o processo de galvanoplastia a fim de determinar se um composto metálico específico (ao invés dos elementos propriamente ditos) deveria ser identificado.



Foto 8- Passivo ambiental da Cia. de Galvanoplastia Ingá - Ilha da Madeira, Itaguaí, Rio de Janeiro. Fonte: Scielo

**Com base em seu conhecimento, o avaliador considera que o padrão de contaminação é coerente?**

Exemplo: Em um local onde ocorrem emissões de tetracloretileno (PCE) na atmosfera, originária de um trabalho de escavação no solo, é de se esperar que o nível mais elevado de concentração de PCE ocorra nas imediações da área escavada e que diminua à medida que aumente a distância a sota-vento. Entretanto, se a concentração se tornar maior à medida que aumentar a distância a sota-vento, será preciso realizar investigações adicionais para descobrir o porquê. Neste caso, saber se existem tinturarias ou outras fontes de PCE nas redondezas ajudará na avaliação.



Foto 9- Trânsito em SP na Avenida 23 de Maio, por volta das 17h. Crédito: JF DIÁRIO/Estadão.

**ATSDR** Agency for Toxic Substances & Disease Registry

A-Z Index A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z #

**Publications**

**ATSDR**

- About ATSDR
- ATSDR en Español
- A-Z Index
- Publications

**Environmental Data Needed for Public Health Assessments - A Guidance Manual**

**Historical Document**  
 This document is provided by the Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) ONLY as an historical reference for the public health community. It is no longer being maintained and the data it contains may no longer be current and/or accurate.

**U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES**  
**Public Health Service**  
**Agency for Toxic Substances and Disease Registry**  
**Division of Health Assessment and Consultation**  
**Atlanta, Georgia 30333**

June 1994

**Text size:** S M L XL

- Email page link
- Print page
- Bookmark and share

**Contact Us:**

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry  
 4770 Buford Hwy NE  
 Atlanta, GA 30341-3717 USA
- 800-CDC-INFO  
 (800-232-4636)  
 TTY: (888) 232-6348  
 Email CDC-INFO
- New Hours of Operation  
 8am-8pm ET/Monday-Friday  
 Closed Holidays

Disclaimer

Site 1- <https://www.atsdr.cdc.gov/ednpha.html>

O guia da ATSDR denominado "Dados Ambientais Necessários à Avaliação de Saúde Pública" (*Environmental Data Needed for Public Health Assessments - ATSDR 1994*) identifica certas questões específicas de cada meio que devem ser levadas em conta no momento de se avaliar a representatividade dos dados. Convém indagar se as áreas de amostragem representam adequadamente as condições existentes em pontos suspeitos de exposição ou sabidamente contaminados. As principais questões são descritas a seguir.

### Águas Subterrâneas



Foto 10- Plantio de hortaliças irrigada por água subterrânea.  
 Fonte: <http://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/confira-alguns-exemplos-e-entenda-o-que-e-agua-virtual/>

- As amostras de águas subterrâneas foram coletadas no meio aquífero de interesse para a investigação?
- As amostragens foram realizadas a jusante e a montante da área contaminada, bem como a jusante e a montante<sup>8</sup> da pluma de contaminação<sup>9</sup> das águas subterrâneas?
- Foi determinada a extensão temporal e espacial das plumas de contaminação?
- Qual o cronograma para a coleta de amostras? À época da amostragem, a pluma de contaminação alcançara ou ultrapassara a área onde está situado o poço?
- As amostras dos metais eram filtradas

(dissolvidas) ou não-filtradas (inteiras)? Amostras não-filtradas são preferíveis para fins de uma avaliação de saúde pública.

<sup>8</sup> **Jusante e montante** são lugares referenciais de um rio pela visão de um observador. Jusante é o fluxo normal da água, de um ponto mais alto para um ponto mais baixo. Montante é a direção de um ponto mais baixo para o mais alto. Fonte: <https://www.significados.com.br/>

<sup>9</sup> **Pluma de contaminação** é a delimitação da extensão da contaminação de um meio (água, ar e solo). Fonte: CETESB

- Foram fornecidas informações pormenorizadas a respeito de como as amostras de águas subterrâneas foram coletadas (p.ex., água coletada durante a construção do poço, amostra filtrada, amostra lavada)?
- O pH de campo foi assinalado? Uma anomalia no pH de campo pode indicar problemas na construção do poço de monitoramento.
- Fluxos sazonais ou índices pluviométricos estão afetando as concentrações de contaminantes?

### Solo



Foto 11- Condomínio Primavera (Mansões Santo Antônio) em Campinas. Fonte: SAMA/CVS/GTSolo/eprete

- Os resultados da amostragem determinaram a existência de contaminação do solo em áreas com diferentes usos (p.ex., áreas de acesso restrito, margens de estrada, jardins, fazendas, jardins residenciais, parques, playground)?
- A que profundidade foi coletada as amostras de solo? O solo até uma profundidade de 8,0cm é considerado solo superficial e a uma profundidade superior é denominado de solo de subsuperfície. Amostras de solo referentes a outras profundidades (p.ex: 0 a 15,0cm) poderão ser usadas, mas a profundidade deverá ser registrada.

- Os tipos de solo estão descritos nos dados?

Caso contrário deve-se presumir que o solo inclui todo e qualquer material natural ou aterro não-consolidado acima da rocha firme e excluem materiais produzidos pelo homem, tais como lajes, pavimentos, asfalto, concreto, tijolos, rochas, cinzas ou cascalho.

- As amostras foram coletadas a sota-vento e a barlavento das fontes de poluição atmosférica (tanto no local quanto fora dele) e em focos de contaminação (hot spots)? As amostras foram coletadas de forma a possibilitar a identificação de focos de contaminação?
- Houve algum movimento de terra no local (p.ex., escavações) que possa ter alterado os níveis de contaminação?
- As amostras de solo são simples ou compostas?

### Ar



Foto 12- Ações da natureza. Fonte: <https://alpha.wallhaven.cc/wallpaper/229515>

- Durante que intervalo de tempo às amostras foram coletadas (p. ex: em média 1 hora, 24 horas, ou mais)? Com que frequências às amostras foram coletadas?
- O material particulado foi amostrado como TPS (total de partículas suspensas) MP10 (material particulado menor que 10 microns - 10µm) ou MP2,5.
- As amostras foram coletadas a sota-vento e barlavento da fonte?
- A fonte de interesse estava operando a plena capacidade quando as amostras foram coletadas?

- Os dispositivos de amostragem de ar ambiente estão colocados demasiadamente próximos da fonte, podendo provocar um viés nos resultados?

- Os monitores fixos estão situados em áreas representativas com relação às rotas de exposição?
- Os dados foram gerados com base em uma única campanha de amostragem ou em um programa de monitoramento de longo-prazo?

### Águas de superfície



Foto 13- Pesca em águas contaminadas. Fonte: Arquivo digital

- Os dados referentes às águas de superfície incluem os resultados de amostras coletadas tanto a jusante quanto a montante da principal fonte de contaminação?
- Existem informações sobre o número de amostras de água de superfície coletado em cada uma das estações de amostragem, bem como sobre a periodicidade, duração e datas dessa amostragem?
- Como o período da amostragem das águas de superfície se compara ao período das emissões da área investigada?
- As amostras foram filtradas?

- As amostras foram coletadas em locais de livre acesso à população (praias, p.ex.)?

### Cadeia Alimentar (Biota)



Foto 14- Milhares de peixes aparecem mortos no Rio Piracicaba, que Segundo a CETESB, a mortandade pode estar relacionada ao baixo nível, em razão da falta de chuva. Fonte: Jornal Correio Popular

- A amostragem da biota levou em consideração as espécies que a população da área geralmente consome?
- O plano de amostragem contempla as espécies que têm maior probabilidade de acumular contaminantes? (Obs.: Plantas vasculares<sup>10</sup> apresentam maior probabilidade de absorver contaminantes do solo do que plantas não-vasculares; é sabido que peixes com níveis tróficos mais elevados possuem maior carga corporal de contaminantes persistentes capazes de biomagnificar do que peixes com níveis tróficos<sup>11</sup> mais baixos; e assim por diante).

- Que idade e tamanho tinham as espécies amostradas? Esses dados correspondem à idade e ao tamanho da biota que a população colhe ou caça para se alimentar?
- No que se referem às espécies coletadas, os níveis de contaminação foram medidos nas partes do corpo que a população geralmente consome? (Obs.: Nos estudos de amostragem de peixes, os investigadores frequentemente medem os níveis de contaminação existentes apenas no filé; algumas pessoas comem todas as partes do peixe).

<sup>10</sup> **Plantas vasculares** possui um sistema de transporte, ou seja, dois tecidos especializados, organizados em feixes em todos os órgãos da planta (raiz, caule e folhas) e que lhes permite a troca de substâncias entre o meio e a planta, e dentro desta, a comunicação entre células. Estes dois tecidos são o XILEMA (transporta água e sais minerais de baixo para cima-sentido ascendente) e o FLOEMA (transporta os produtos da fotossíntese desde as folhas, onde tiveram origem a todos os restantes órgãos da planta). Fonte: <http://www.colegiovascodagama.pt/ciencias3c/decimo/unidade20.html>

<sup>11</sup> Os **níveis tróficos** são as etapas, ou níveis, da cadeia alimentar. A cadeia alimentar (uma pequena porção da chamada "rede alimentar"), é sempre composta por diferentes níveis que são caracterizados de acordo com o tipo de alimentos que os organismos consomem. Fonte: <http://www.infoescola.com/biologia/niveis-trofos/>

- As concentrações são registradas com base no peso úmido ou no peso seco? (Obs.: As com base no peso fresco caracterizam melhor as concentrações de pontos de exposição na maior parte dos tipos de biota).

Sedimentos



Foto 15- Sedimentos de grãos finos ao longo do baixo curso do Rio Amazonas.. Fonte: <http://pt.aguasamazonicas.org/aguas-2/fluxos-e-inundacoes/sedimentos/>

- Foi especificada a que profundidade foi coletada a amostra?
- As amostras foram coletadas em intervalos regulares somente nas áreas de deposição, ou foi empregado algum outro esquema?
- Os sedimentos foram amostrados tanto a jusante quanto a montante da área investigada?
- Ocorreu alguma atividade de remoção de sedimentos (p.ex: dragagens, escavações) que possa ter alterado os níveis de contaminação?

Gás contido no solo

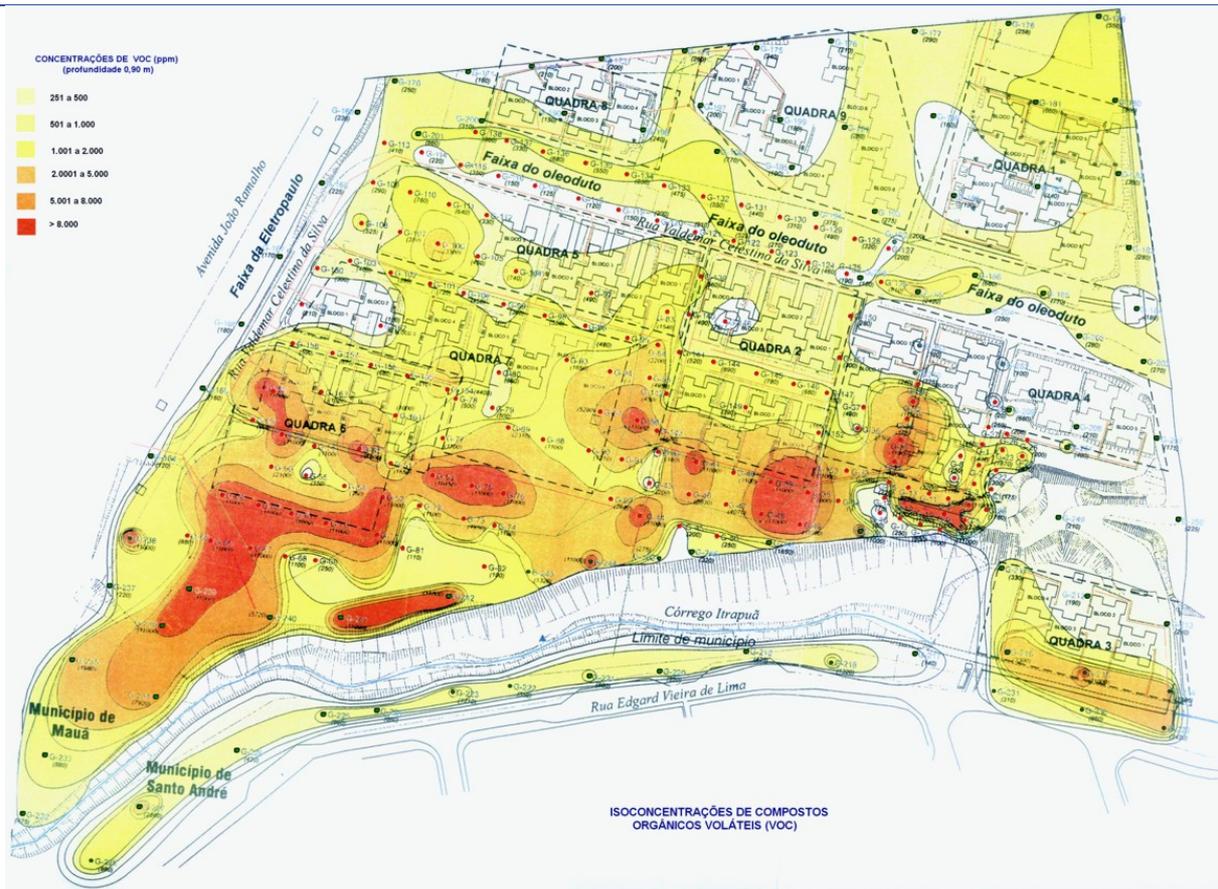


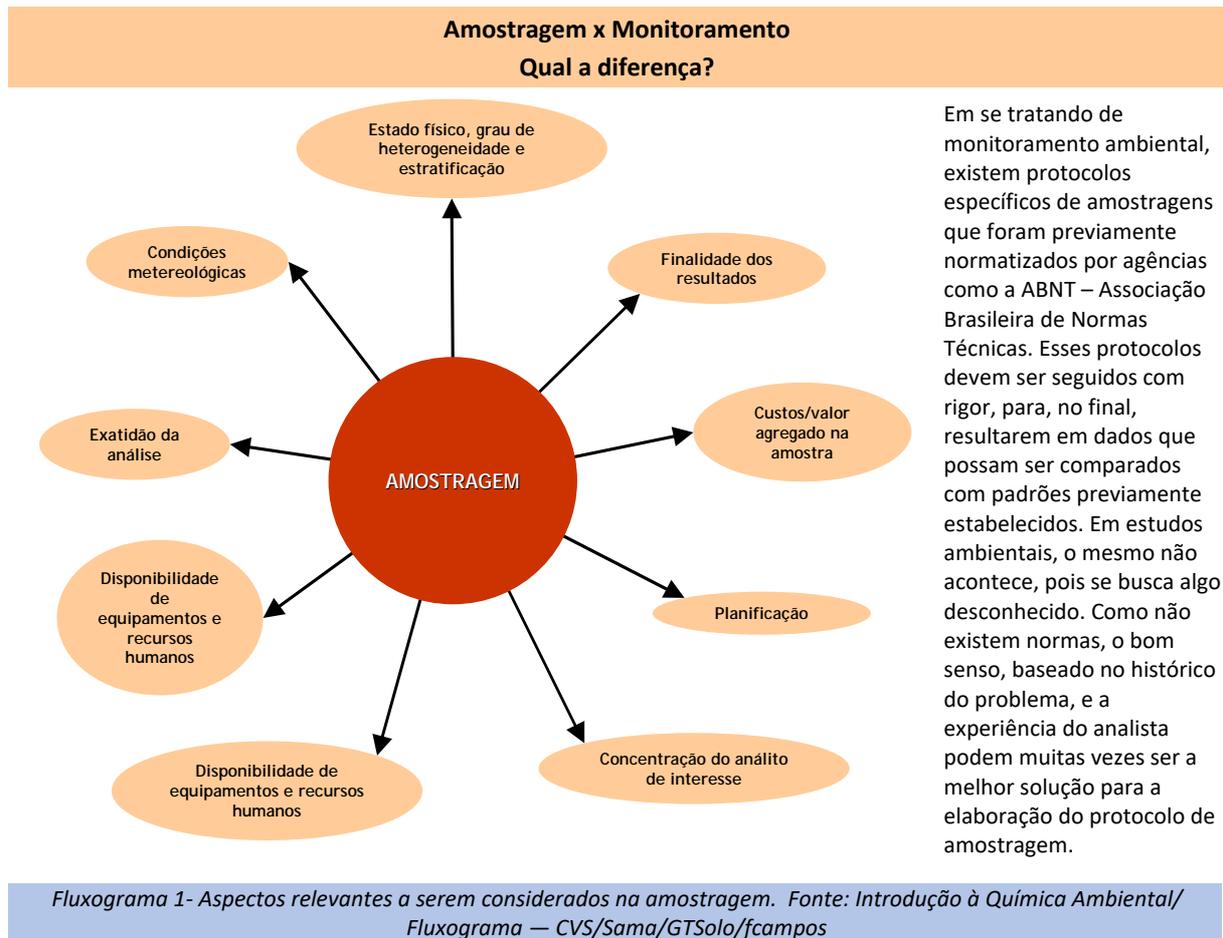
Figura 7- Mapa de isoconcentrações de VOCs nos solos em Barão de Mauá, SP. Fonte: Geoclok 2001

- Onde foi amostrado o gás em relação às áreas residenciais?
- Foram coletadas amostras de gás com o objetivo de determinar o potencial de risco de exposição ou de explosão?

- Quais os gases monitorados? O monitoramento inclui aqueles gases com maior probabilidade de serem encontrados em grandes quantidades ou de serem os mais tóxicos?
- A que profundidade se dá o monitoramento do gás? Ele é contínuo ou periódico?

Embora a lista de perguntas acima exponha uma série de considerações sobre a melhor maneira de avaliar a representatividade das amostragens relativas às concentrações de pontos de exposição na área em questão, ela de modo algum pretende ser exaustiva. Utilizando-se as perguntas como orientações gerais, deve-se sempre questionar até que ponto os dados ambientais disponíveis retratam fielmente o alcance das possíveis concentrações de pontos de exposição.

A amostragem ambiental com vistas à caracterização da área e ao monitoramento ambiental tem propósitos diferentes. Por exemplo, a CETESB poderá coletar uma amostra de ar em um local que acaba de sofrer uma importante alteração negativa. Já o monitoramento se refere, geralmente, a uma amostragem que implique algum tipo de periodicidade. Por exemplo, pode-se requerer a uma empresa que programe um programa de monitoramento de águas subterrâneas, no qual as amostras devem ser coletadas trimestralmente. Não obstante as definições de amostragem e monitoramento serem claramente distintas, cientistas ambientais frequentemente usam os termos de maneira aleatória. É recomendável a utilização correta dos termos na avaliação de saúde pública.



## 2.2. AVALIAÇÃO DOS DADOS MODELADOS

### 2.2.1. Dados modelados

#### Resposta da modelagem →

- Com base nas condições atuais, até onde se estenderá a contaminação das águas subterrâneas em um espaço de dez anos?
- Quais eram os níveis de concentração de metais no ar ambiente há 20 anos, antes que esta unidade fabril instalasse um equipamento de controle de poluição?
- Qual será o padrão de dispersão destes contaminantes quando esta barragem for retirada?
- Quando os peixes estarão aptos novamente para consumo?
- Quanto desta área foi afetado por um vazamento ou emissão?
- Aonde deveria ser realizada uma amostragem adicional com vistas a avaliar o destino e a dispersão do contaminante?

#### Avaliação da modelagem →

- Quão minuciosa é a documentação referente à modelagem? Um outro modelador poderia gerar os mesmos resultados partindo dessa mesma documentação?
- Esse modelo está projetado para gerar previsões extremamente conservadoras, com indicação de valores máximos? Ou para produzir previsões com valores reais? Qual a probabilidade de que o modelo sobrestime ou subestime os resultados?
- Quais são as limitações e pressuposições do modelo? Ele está sendo aplicado ao cenário para o qual foi projetado?
- O desempenho do modelo foi documentado? As previsões do modelo foram comparadas a valores observados na área em questão, ou em áreas semelhantes?
- O modelo foi calibrado? Foram realizados estudos de avaliação de desempenho do modelo?
- Quais os parâmetros de insumos empregados e como foram eles determinados? São eles realistas? No que se refere aos resultados do modelo, são eles extremamente sensíveis a valores de insumos específicos?
- Quão consistentes são os dados modelados e os resultados da amostragem?
- Quão vinculadas estão as ambigüidades aos resultados mais importantes do modelo?
- O avaliador está certo de que os resultados do modelo são significativos? Ele já analisou o uso adequado do modelo? Ou acredita que sua aplicação é um "abuso" do modelo?

### Avaliação de dados modelados

Os dados de uma amostragem ambiental são insumos essenciais para um processo de avaliação de saúde pública. Tanto é assim, que a ATSDR recomenda vivamente o uso de dados validados de amostragens como base para a tomada de decisões no setor da saúde pública. Infelizmente, mesmo dados validados muitas vezes são insuficientes — quer espacial ou temporalmente — para determinar todos os possíveis cenários de exposição de uma área específica. Nesses casos, modelos ou ferramentas estatísticas podem ser empregados para estimar a natureza e a extensão da contaminação, particularmente em áreas ou períodos de tempo sobre os quais não existem dados relevantes disponíveis. Em suma, pode vir a ser necessário fundamentar conclusões em matéria de saúde pública em dados originados por modelagens no caso de ausência de amostragens ambientais. Caso os resultados de modelagens seja a única fundamentação das conclusões, convém recomendar a realização, se possível, de uma amostragem. Obviamente, as recomendações de amostragens ambientais são apropriadas para os casos de exposições presentes e futuras, e não para exposições passadas.

Uma vasta gama de modelos e ferramentas estatísticas está disponível com vistas à estimação de níveis de contaminação ambiental. Existem, por exemplo, ferramentas estatísticas que predizem a distribuição espacial da contaminação mediante a interpolação com valores observados; modelos matemáticos que analisam acontecimentos passados ou preveem o futuro destino e dispersão de contaminantes em vários meios (ex: ar, águas subterrâneas, água de superfície e solo) a partir de

parâmetros de insumos selecionados; e ferramentas gráficas que ajudam a ilustrar a tendência da contaminação com base na análise estatística dos dados. Algumas das perguntas que a modelagem pode ajudar a responder são descritas a seguir:

- Com base nas condições atuais, até onde se estenderá a contaminação das águas subterrâneas em um espaço de dez anos?
- Quais eram os níveis de concentração de metais no ar ambiente há 20 anos, antes que esta unidade fabril instalasse um equipamento de controle de poluição?
- Qual será o padrão de dispersão destes contaminantes quando esta barragem for retirada?
- Quando os peixes estarão aptos novamente para consumo?
- Quanto desta área foi afetado por um vazamento ou emissão?
- Aonde deveria ser realizada uma amostragem adicional com vistas a avaliar o destino e a dispersão do contaminante?



Foto 10- Área de investigação Novo Horizonte Cromo Duro. Fonte: CETESB

Os modelos disponíveis para responder a essas perguntas variam segundo o grau de complexidade, e vão de modelos simples de *screening*<sup>12</sup> a aprimorados programas de prognósticos. Os modelos simples

<sup>12</sup> Os métodos de *screening* (rastreamento, reconhecimento, varredura) são levantamentos expeditos que têm como função confirmar ou não a suspeita de contaminação numa determinada área de interesse, através de técnicas que economizem tempo e investimentos.

Portanto, uma das metas do “*screening*” é a obtenção de dados analíticos para definição a posteriori de uma caracterização detalhada do local afetado e também orientar futuros planos de monitoramento e recuperação. Como se pode perceber, é na fase de “*screening*” que é definida a continuidade do processo, direcionando-se novas tomadas de amostras e posterior investigação detalhada.

de *screening* frequentemente incorporam certas premissas conservadoras fazendo com que os resultados sejam estimativas máximas dos níveis de contaminação supostamente medidos no ambiente. Os modelos aprimorados, por sua vez, tendem a ser mais rigoroso e fornecem representações mais pormenorizadas dos processos físico, químico e biológico. Idealmente, o modelo a ser examinado ou aplicado terá sido calibrado mediante a utilização de dados provenientes da área investigada, e seu desempenho estará documentado na literatura científica.

O Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB, no capítulo 6100, descreve o Método de *Screening* como Instrumento para Investigação Confirmatória do Local, e a sua aplicabilidade na Avaliação de Áreas Contaminadas.

Em última análise, ao rever os estudos de modelagem deve-se determinar com que grau de precisão as previsões do modelo representarão as condições reais da área em questão. Trata-se, essencialmente, de uma avaliação das ambiguidades do modelo, algo extremamente difícil de ser quantificado. É importante observar, entretanto, que ambiguidades existem em qualquer modelo, até mesmo naqueles aclamados como geradores das mais realistas representações do ambiente. Embora creditamos nas informações dos especialistas da CETESB a realização das avaliações dos modelos, algumas questões básicas devem ser consideradas com vistas à identificação de certas limitações e dúvidas existentes:

- Quão minuciosa é a documentação referente à modelagem? Um outro modelador poderia gerar os mesmos resultados partindo dessa mesma documentação?
- Esse modelo está projetado para gerar previsões extremamente conservadoras, com indicação de valores máximos? Ou para produzir previsões com valores reais? Qual a probabilidade de que o modelo sobre-estime ou subestime os resultados?
- Quais são as limitações e pressuposições do modelo? Ele está sendo aplicado ao cenário para o qual foi projetado?
- O desempenho do modelo foi documentado? As previsões do modelo foram comparadas a valores observados na área em questão, ou em áreas semelhantes?
- O modelo foi calibrado? Foram realizados estudos de avaliação de desempenho do modelo?
- Quais os parâmetros de insumos empregados e como foram eles determinados? São eles realistas? No que se refere aos resultados do modelo, são eles extremamente sensíveis a valores de insumos específicos?
- Quão consistentes são os dados modelados e os resultados da amostragem?
- Quão vinculadas estão as imprecisões aos resultados mais importantes do modelo?
- O avaliador está certo de que os resultados do modelo são significativos? Ele já analisou o uso adequado do modelo? Ou acredita que sua aplicação é um "abuso" do modelo?

— Convém lembrar a todo o momento que um modelo representa uma simplificação do que poderia vir a ocorrer no ambiente, com base nos conhecimentos existentes sobre os mecanismos subjacentes de destino e dispersão. Todo modelo parte de pressuposições e contém ambiguidades, e pode não corresponder às reais condições ambientais.

Se o avaliador decidir que dados modelados devem ser incluídos em um processo de avaliação de saúde pública (i.e., quando dados medidos e confiáveis não estiverem disponíveis e o estudo por modelagem for julgado aceitável), convém distinguir claramente os dados baseados em modelagens

Para ilustrar o direcionamento da investigação a ser executada, cita-se como exemplo que os contaminantes mais prováveis de serem detectados num posto de gasolina são hidrocarbonetos e, num depósito de transformadores antigos, óleos contendo PCB.

daqueles gerados por uma amostragem ambiental. **A avaliação de saúde pública deveria descrever o modelo aplicado, especialmente assinalando suas ambiguidades, limitações e pressuposições.** Nos casos em que importantes decisões de saúde pública tenham que ser tomadas exclusivamente com base em dados modelados recomenda-se a realização de amostragens ambientais adicionais. Essa decisão também pode ver-se afetada pela natureza e intensidade da preocupação da comunidade envolvida — **algumas pessoas podem sentir-se insatisfeitas ao saber que sua saúde depende de resultados de uma análise de modelagem.**

### 2.3. VALORES BASAIS DE REFERÊNCIA

#### 2.3.1. Níveis de valores

##### Valores basais →

- Níveis de substâncias naturalmente presentes no ambiente sem influência do ser humano (metais encontrados no solo, p.ex.).
- Níveis antropogênicos de substâncias encontradas no ambiente devido a fontes geradas pelo homem e não-relacionadas com a área (p.ex., chumbo presente no solo ao longo de uma rodovia, benzeno no ar ambiente em decorrência do tráfego de veículos automotores na cidade, sedimentos resultantes de precipitações radioativas provocadas por uso ou teste de armas nucleares).
- Quando os níveis de contaminação forem superiores aos valores basais, pode-se claramente concluir que uma fonte - quer a própria área em avaliação, quer alguma outra fonte - contaminou o meio em questão.
- Quando dados válidos e representativos mostrarem coerência com as concentrações basais, deve-se concluir que as fontes locais não causaram um substancial impacto no meio investigado.
- Finalmente, quando os dados amostrados indicarem que os níveis da contaminação são inferiores aos dos valores basais, pode haver um problema. Por definição, esses valores deveriam estar presentes no ambiente quer em níveis naturais de contaminação quer em decorrência de fontes antropogênicas. Se as amostras ambientais coletadas exibirem regularmente concentrações inferiores, é possível que elas estejam comprometidas com um viés para baixo, ou que os níveis naturais escolhidos apresentem um viés para cima.

#### Valores basais de referência

Uma amostragem pode indicar a existência de contaminação ambiental, mas não necessariamente sua origem. Em última análise, é preciso avaliar quais serão as implicações dessa exposição para a saúde pública e, para tanto, devem ser usados os níveis de contaminação medidos ou previstos pela amostragem, independentemente do fato de as substâncias químicas estarem presentes na área em questão quer naturalmente, quer devido a atividades antropogênicas<sup>13</sup>. Assim sendo, compreender a contribuição dos valores basais de referência (*background*<sup>14</sup>) constitui um passo importante no momento da avaliação de uma área específica. Em alguns casos, os contaminantes não podem ser atribuídos exclusivamente a um local particular ("parte do arsênio presente no solo residencial, a sota-vento da metalúrgica, é de origem natural", p.ex.); em outros, os contaminantes são decorrentes, basicamente, de uma determinada fonte (p.ex., "os PCB<sup>15</sup> não existem naturalmente no meio

<sup>13</sup> Ações antropogênicas ou fatores antropogênicos são aqueles causados pela ação do homem, do ser humano, contrapondo-se às ações naturais no planeta, sem interferência humana. Fonte: Dicionário Informal

<sup>14</sup> Termo utilizado em geoquímica e geofísica para relacionar um valor, teor ou porcentagem mineral, ou ainda uma propriedade física (radiométrica, magnetométrica etc.) a um padrão regional para efeito de comparação. Os valores podem ser apresentados sob a forma de ppm, ppb, cps etc.. Nível ambiental para um meio considerado limpo. Fonte: Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná-ITCG

<sup>15</sup> Os bifenilos policlorados são misturas de até 209 compostos clorados individuais (conhecidos por congêneres). Não existem fontes naturais conhecidas de PCB. Os PCB são líquidos ou sólidos oleosos, que são incolores a amarelo claro. Alguns PCB podem existir sob a forma de vapor no ar. Os PCB não têm cheiro ou sabor conhecido. Muitas misturas comerciais de PCB são conhecidas nos EUA pelo nome comercial Ascarel. Os PCB foram utilizados como líquido de refrigeração e lubrificantes em transformadores, condensadores e outros equipamentos eletrônicos porque não queimam com facilidade e são bons isoladores. Fonte: ATSDR. Em 1981, a Legislação brasileira proibiu a fabricação de equipamentos que utilizassem essa substância, ainda que, pela mesma lei, seja permitida a utilização dos equipamentos já existentes até o final de sua vida útil – período médio de 40 anos. Fonte: Ambiente Brasil.

ambiente, e acredita-se que os níveis observados nos peixes sejam produto, em grande medida, de descargas do condensador da fábrica"). É importante que as avaliações de saúde pública possam contar com esse tipo de perspectiva.

O valor basal de referência (background) é um conceito amplamente utilizado, e possui diversas definições. Na realidade, duas delas são as mais utilizadas:

- Níveis de substâncias naturalmente presentes no ambiente sem influência do ser humano (metais encontrados no solo, p.ex.).
- Níveis antropogênicos de substâncias encontradas no ambiente devido a fontes geradas pelo homem e não-relacionadas com a área (p.ex., chumbo presente no solo ao longo de uma rodovia, benzeno no ar ambiente em decorrência do tráfego de veículos automotores na cidade, sedimentos resultantes de precipitações radioativas provocadas por uso ou teste de armas nucleares).

Quando for mencionada uma contaminação natural (ou um valor basal de referência [*background*]), o avaliador deverá saber exatamente qual o significado desse conceito no contexto de sua área de investigação.

Existem regras gerais que se referem à interpretação dos dados gerados por uma amostragem ambiental à luz das concentrações basais de referência.

- Quando os níveis de contaminação forem superiores aos valores basais, pode-se claramente concluir que uma fonte - quer a própria área em avaliação, quer alguma outra fonte - contaminou o meio em questão.
- Quando dados válidos e representativos mostrarem coerência com as concentrações basais, deve-se concluir que as fontes locais não causaram um substancial impacto no meio investigado.
- Finalmente, quando os dados amostrados indicarem que os níveis da contaminação são inferiores aos dos valores basais, pode haver um problema. Por definição, esses valores deveriam estar presentes no ambiente quer em níveis naturais de contaminação quer em decorrência de fontes antropogênicas. Se as amostras ambientais coletadas exibirem regularmente concentrações inferiores, é possível que elas estejam comprometidas com um viés para baixo, ou que os níveis naturais escolhidos apresentem um viés para cima.

Este último cenário ressalta a necessidade de se contar com valores naturais confiáveis e representativos. Geralmente, quando das avaliações de saúde pública, é recomendável o uso de níveis naturais de referência específicos para área em questão. Caso não estejam disponíveis, podem ser aplicadas as concentrações basais da região, do estado ou do país.

A fim de identificar os valores adequados, convém selecionar dados de alta qualidade, representativos da área de interesse. Ao buscar concentrações basais que correspondam à existência de metais no solo, por exemplo, o avaliador procurará amostras que possuam características físicas e geológicas semelhantes às do terreno investigado, tais como solos arenosos ou argilosos. Dentre as fontes que documentam os valores basais de referência incluem-se relatórios sobre a área investigada, dados provenientes de locais vizinhos, agências ambientais estaduais ou municipais e organizações de outros estados ou municípios. O quadro a seguir oferece sugestões quanto a possíveis fontes de concentrações naturais para diferentes tipos de meio.

**Concentrações naturais:  
Onde encontrar valores basais representativos?**

Não existe uma referência única que abrigue todas as informações sobre todas as concentrações basais de referência para todos os contaminantes em todos os meios. Contudo, os documentos próximos incluem estimativas razoáveis de valores basais em áreas de interesse:

- **Perfis Toxicológicos da ATSDR:** Nesta página encontra-se uma ficha informativa pertencente a uma série de resumos sobre substâncias perigosas e os seus efeitos na saúde. Os efeitos da exposição a qualquer substância perigosa dependem da dose, duração, forma da exposição, características e hábitos pessoais, e se estão presentes outros químicos. Ao acessar essas informações, observem que os capítulos, com frequência, citam tanto os níveis de contaminações ambientais medidos próximos à fonte quanto os níveis do que se acredita serem as concentrações naturais.

Caminho → <https://www.atsdr.cdc.gov/> → <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/index.asp>

- **Para solo, águas de superfície e subterrâneas e ar,** a CETESB dispõe em seu site valores ambientais de referências e publicações de estudos ambientais. (Tabela anexa)

Caminho → **Solo e água** → <https://goo.gl/8KE6Qc>  
**Ar** → <https://goo.gl/5jErg>

**Identificação e preenchimento de lacunas de dados essenciais**

Após a revisão dos dados modelados ou gerados pela amostragem, ainda poderá ser preciso compilar informações adicionais para determinar os tipos de substâncias e os níveis de concentrações que a população pode estar exposta. Cabe decidir se esses dados que estão faltando são indispensáveis e, portanto, representam uma lacuna na amostragem, ou se eles não seriam essenciais para as conclusões no âmbito da saúde pública. Essa distinção é relevante, e pode ser mais bem compreendida através da experiência. Mas alguns exemplos ajudam a ilustrar a diferença:



Foto 11- Local de despejo de resíduos industriais em Campinas.  
 Fonte: PMCampinas -VS

- **Lacunas de dados essenciais.** Em alguns casos, a documentação sobre a área de interesse é realmente insuficiente para se chegar a uma conclusão a respeito de determinada questão no âmbito da saúde pública. Talvez o solo superficial de uma área de livre acesso ao público, no local de uma emissão não planejada, jamais tenha sido amostrado, ou um poço de água potável, a jusante de um vazamento em um depósito subterrâneo tampouco tenha sido investigada, ou, ainda, que a coleta tenha sido feita, mas não à procura da substância suspeita. Esses casos são exemplos de lacunas de dados que devem ser preenchidas ou complementadas caso se queira chegar a uma conclusão legalmente permissível. Mesmo havendo disponibilidade de dados, o avaliador poderá decidir que a abrangência espacial e temporal da amostragem - ou a qualidade das amostras – não conforma uma base adequada para a tomada de decisões no âmbito da saúde. Essas lacunas de dados considerados indispensáveis podem ser complementadas com novas campanhas de

amostragem; ou podem-se recomendar coletas adicionais de amostras para confirmar resultados de modelagens de níveis atuais e futuros de contaminação. Se as lacunas se referirem às exposições anteriores, que obviamente, não poderá ser evidenciada por meio de novas amostragens cabe solicitar a realização de modelagens ou de investigações de exposição.

- Lacunas de dados que não necessariamente precisam ser preenchidas. Há ocasiões, entretanto, em que o avaliador pode reconhecer a existência de lacunas nos dados amostrados, mas que não impedirão que se chegue a uma conclusão de saúde pública legalmente permissível. Um perfeito exemplo são os locais onde foram eliminadas as rotas de exposição. Se uma área sofreu uma emissão não planejada no solo, mas ninguém teve acesso ao local onde ocorreu o vazamento, não será necessária uma amostragem para responder a questões de saúde pública. Um exemplo adicional: é possível estimar níveis de contaminação em um meio com base em outras informações disponíveis sobre o local de interesse. Assim, uma área com sedimentos contaminados por PCB pode dispor de dados referentes a tecidos de espécies de peixes com altos níveis tróficos<sup>16</sup> (i.e., no topo da "cadeia alimentar<sup>17</sup>"), mas não relativos a espécies com níveis tróficos mais baixos. Sabendo-se que os PCBs biomagnificam na cadeia alimentar, é possível avaliar as exposições admitindo-se que as concentrações de PCBs nos peixes com níveis tróficos mais baixos não ultrapassarão aquelas encontradas nos peixes com níveis tróficos mais elevados. Um enfoque desta natureza não só é cientificamente permissível como primeira aproximação, mas também garante que os recursos disponíveis não sejam gastos na compilação de informações que em nada modificarão as conclusões.



Foto 12- Palafitas no estuário de Santos. Fonte: PRAM – Instituto Brasileiro de Proteção Ambiental

<sup>16</sup> Estágio na teia alimentar ocupada por organismos que se alimentam do mesmo tipo de alimento usado na diagramação do fluxo de energia num ecossistema. Carnívoros, herbívoros e plantas constituem níveis tróficos diferentes. Fonte: Dicionário de Ecologia e Ciências Ambientais.

<sup>17</sup> Sistema de nível de alimentação (trófico) encontrado em todas as comunidades bióticas. Membros de um nível alimentam os membros do nível abaixo, sendo, por sua vez, consumidos por organismos do nível acima mais próximo. O nível trófico mais baixo em toda corrente alimentar contém finalmente as plantas que fixam compostos inorgânicos nos tecidos das plantas que podem ser digeridos pelos animais. Fonte: Dicionário de Ecologia e Ciências Ambientais.

Geralmente, quando o avaliador decidir que as lacunas precisam ser preenchidas, é recomendável que a CETESB realize ou solicite ao proprietário da área, campanhas de amostragem. Independentemente de quem executar as coletas, o avaliador deverá estar familiarizado com os componentes do projeto e da implementação da amostragem, pois muitas vezes ele será convocado a rever tais projetos ou a ajudar no seu desenvolvimento. Compreender as metas do programa de amostragem é essencial para que seu planejamento e implementação atendam às necessidades das avaliações de saúde pública. Indagar o porquê da amostragem é fundamental. Por exemplo, em uma área com presença de contaminação no solo e projetos de remediação pendentes, devem-se coletar amostras para confirmar a conclusão dos trabalhos de escavação? Ou serão necessárias maiores informações sobre a concentração de substâncias nos pontos de exposição? No primeiro caso, talvez seja preciso apenas um rápido e eficiente *screening* para atingir o objetivo. No segundo, pode ser necessário um minucioso programa de amostragem de campo, por meio de métodos mais rigorosos e requisitos de QA/QC. Dentre outras possíveis considerações visando ao estabelecimento de metas para os programas de amostragem incluem-se as seguintes:



Figura 16- Poço de Monitoramento (PM). Fonte: CETESB

Que tipo de valor agregado essas amostragens trarão para a saúde pública?



Figura 17- Fonte: Arquivo Digital

Como a amostragem caracterizará a extensão temporal da contaminação?



Figura 18- Área sob investigação. Fonte: PM/VS de Campinas

Como a amostragem caracterizará a extensão espacial da contaminação?

Após o estabelecimento das metas da amostragem, são desenvolvidos os planos de coleta e análise de amostras a fim de garantir que a campanha atingirá seus objetivos. Como parte da fase preparatória, são compiladas informações sobre os valores basais de referência da área de interesse para melhor determinar as condições locais que poderão vir a afetar a implementação do programa. Tais condições incluem a presença de outras fontes de contaminantes, restrições de acesso, perigos físicos e localização de estações de amostragem pré-existentes. Esses fatores influenciarão tanto a seleção dos lugares onde as amostras serão coletadas quanto às considerações logísticas relativas à implementação do programa. O plano de coleta e análise de amostras deve constituir uma espécie de guia de orientação para a Vigilância Sanitária. Dentre seus componentes, incluem-se os seguintes pontos:

- O ambiente a ser amostrado.
- As análises a serem realizadas nos diferentes ambientes.
- Os métodos de amostragem e de análise.
- Os locais sugeridos de amostragem.
- A frequência, duração e cronograma da amostragem.

- Os objetivos de qualidade dos dados, que levam em consideração precisão, exatidão, integralidade e representatividade.
- As medidas de QA/QC (p.ex: uso de amostras duplicatas e análises replicatas a fim de determinar a precisão das medições; uso de amostras auditadas para avaliar a exatidão das mensurações; análise dos "brancos" com vistas a determinar se os equipamentos de amostragem estão contaminados; especificação dos procedimentos de manejo das amostras, tais como tempo de armazenagem e responsabilidade pela guarda; tipo de calibragem dos equipamentos).
- Os aspectos relacionados à saúde e segurança das equipes de campo. Outras agências, especialmente a EPA, possuem orientações sobre o assunto. Algumas referências sobre a realização de campanhas de amostragem foram incluídas ao final deste trabalho.



Foto 13- Instalação de Poço de Monitoramento pela CETESB (PM). Fonte: CETESB

### **Resumo e apresentação dos dados ambientais**

Após avaliar os dados gerados por uma amostragem ambiental, cabe avaliar o significado dos níveis medidos ou estimados de contaminação para a saúde pública. À medida que a avaliação vai seguindo seu curso, será preciso resumir e registrar os dados no documento da avaliação de saúde pública. Embora pareça ser bastante fácil e direta, esta tarefa pode representar um grande desafio, especialmente em áreas que disponham de grande volume de dados. Tendo em vista que a quantidade e o tipo dos dados de uma amostragem variam muito de uma área para outra, não existe um protocolo único a ser seguido no momento da elaboração do resumo e da apresentação dos dados.

Antes de tudo, o resumo dos dados de uma amostragem ambiental deve destacar os aspectos mais importantes da área ou do elemento investigado. Por exemplo, uma área pode ter dados referentes a

anos de monitoramentos trimestrais de águas subterrâneas contaminadas. Contudo, se nenhum morador tiver sido exposto a essas águas subterrâneas, certamente a avaliação de saúde pública não precisará de páginas e mais páginas de resumos estatísticos sobre os dados dessa amostragem. Resumos pormenorizados são realmente apropriados quando se referem à rota de exposição potencial ou real e as concentrações dos pontos de exposição.

***Apresentação de Dados Ambientais – ADA (Abandoned Site Project – ASP):  
Os avaliadores devem resumir cada amostragem? O que pode ser deixado de fora?***

As avaliações de saúde pública devem fornecer resumos significativos dos dados de contaminação ambiental. Listar cada item para cada contaminante para cada meio é absolutamente desnecessário. O processo de avaliação deve transmitir as informações de maior interesse para os leitores, sem sobrecarregá-los com detalhes sem importância.

Geralmente, os avaliadores só sabem quais são os dados essenciais que precisam ser comunicados após terem concluído as avaliações dos efeitos sobre a saúde. Assim sendo, embora sugestões quanto à elaboração dos resumos e à sua apresentação sejam mencionadas aqui, a decisão final sobre a importância ou não dos dados só será tomada muito mais tarde, no decorrer do processo.

Como regra geral, os resumos de dados devem ser minuciosos quando se tratar dos contaminantes com maior potencial de risco e menos minuciosos para os contaminantes de menor risco as vias de exposição.

O texto da ADA deve oferecer um breve relato sobre os dados disponíveis na amostragem ambiental. O texto pode incluir debates sobre as possíveis tendências dos dados, bem como descrições sobre distribuição espacial, focos de contaminação, mudanças nos níveis de concentração em um período determinado de tempo e diferenças substanciais entre os meios. Podem descrever, igualmente, informações sobre limitações, qualidade e utilidade dos dados. O avaliador deverá usar seu senso crítico para decidir como resumir e apresentar os dados. A seguir, são listadas perguntas relacionadas à apresentação dos dados bem como certas orientações sobre os enfoques mais utilizados:

- **Que formato deve ser empregado para exibir a informação?** Existem várias opções. Os dados e informações podem ser descritos em textos, tabelas, gráficos, mapas ou outros formatos. A opção mais adequada depende dos dados disponíveis e dos conceitos a serem transmitidos. Mapas, por exemplo, são extremamente úteis para ilustrar a extensão espacial da pluma de contaminação; um gráfico é uma excelente ferramenta para demonstrar como variou a cada ano o número de dias com concentrações de ozônio particularmente insalubres, durante os últimos 25 anos; e uma tabela tem o formato ideal para apresentar resumos estatísticos sobre as concentrações de substâncias químicas diferentes medidas por estações de monitoramento de águas subterrâneas. Independentemente da alternativa selecionada, o texto deverá descrever o conteúdo do resumo. Além disso, todos os tipos de representação visual devem ser autônomos. Tal como demonstrado nos exemplos, devem-se sempre incluir a fonte dos dados exibidos, as definições das siglas, bem como as observações específicas que possam ser necessárias à interpretação dos dados expostos.
- **Quão extenso deve ser o resumo dos dados?** Mais uma vez, a resposta a esta pergunta depende do tipo e da quantidade dos dados disponíveis para um local particular. No caso, por exemplo, de uma área onde os únicos dados disponíveis seja uma dúzia de amostras simples de água da torneira, coletadas por um morador preocupado, bastará apresentar os resultados de cada uma das amostras. Entretanto, em se tratando de uma área mais extensa, com níveis de contaminação presentes em vários meios, listar os resultados de cada amostra tornaria a avaliação de saúde pública incrivelmente longa. Nesses casos, o ideal é condensar grandes volumes de dados em tabelas resumidas. Em outras ocasiões, pode ser possível resumir um volume muito grande de dados de amostragem em apenas uma frase. Por exemplo, "durante

20 anos, o município coletou amostras de ar em busca de dióxido de enxofre, jamais detectando concentrações superiores aos padrões da EPA referente à qualidade do ar".

Ao decidir sobre o tamanho dos resumos, convém considerar também a quantidade de informações que o público-alvo vai receber. Em áreas onde a contaminação se alastrou, os moradores desejarão conhecer o padrão de disseminação dos níveis de um bairro para outro, ou até mesmo de uma casa para outra. Na medida do possível, a apresentação deverá levar em conta essas expectativas.

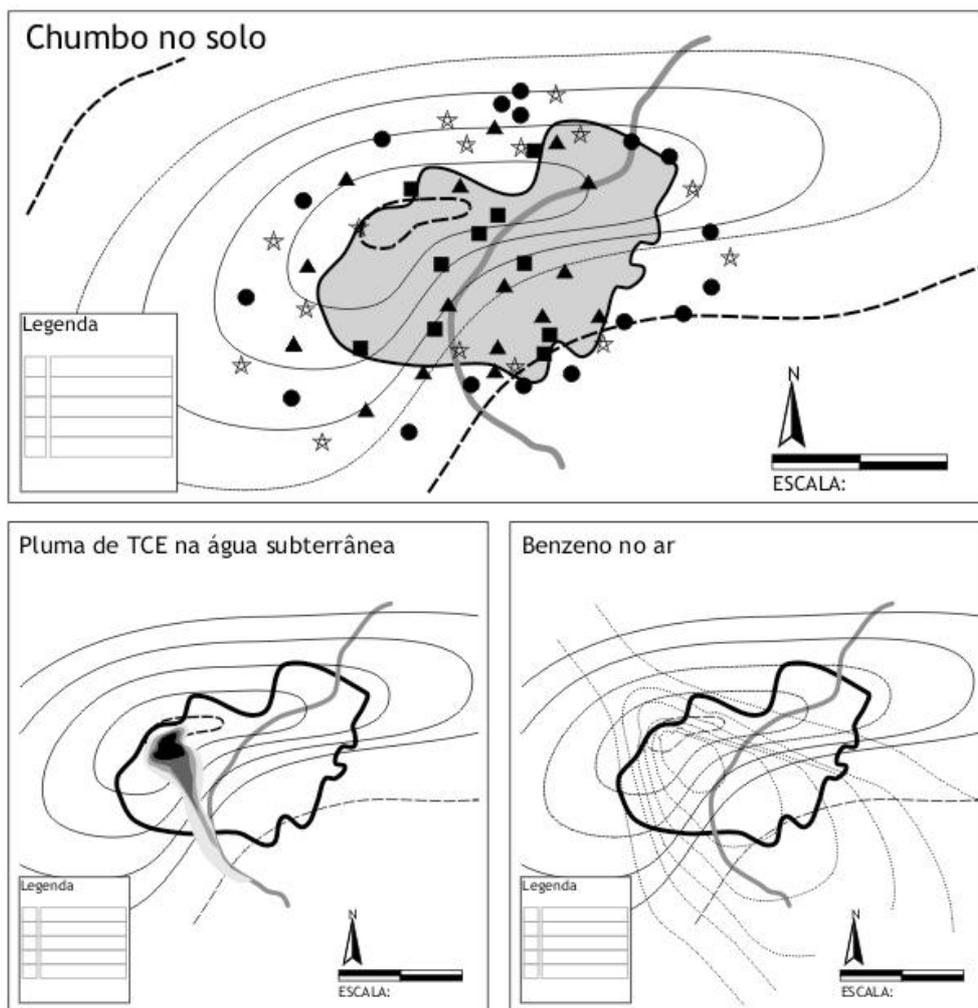


Figura 19- Exemplos de mapas usados para exibir dados ambientais @Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/fcampos

**Que tipo de informação deve fazer parte do resumo de dados?**

A apresentação de dados sobre concentrações químicas é útil quando apenas algumas poucas substâncias forem detectadas, mas pode se tornar extremamente maçante quando se tratar de um grande número delas. Independentemente da quantidade de informação presente no texto, recomenda-se a inclusão de tabelas que forneçam maiores detalhes sobre as substâncias encontradas na área de interesse.

**Quando possível, as tabelas devem incluir:**

- Os contaminantes detectados.
- As faixas de variação de concentração.
- A localização e a data da maior concentração.
- A frequência de detecção (total).
- Os valores adequados de comparação com base em índices de saúde ou valores de *screening*.
- A frequência da detecção (acima dos valores de comparação).

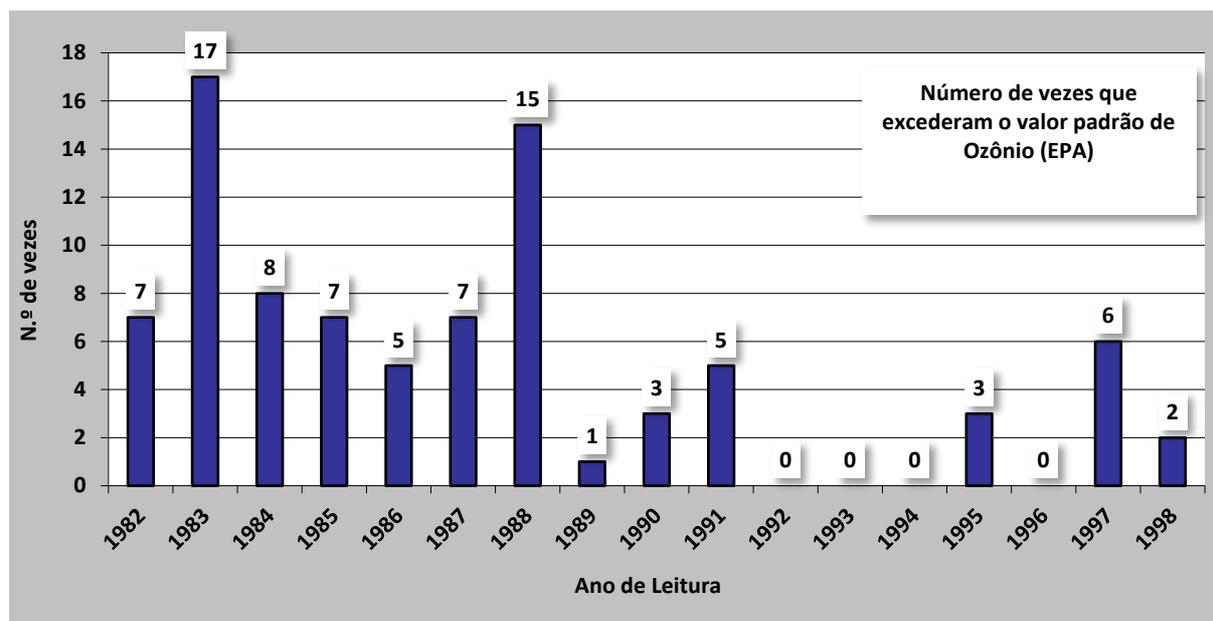


Gráfico 1- Exemplo de uso de um gráfico para exibir dados - número de casos que excederam o padrão de ozônio com base nas orientações da EPA no Local X, desde 1982. Fonte: EPA

Tabela 1- Exemplo de uso de uma tabela para exibir dados de amostragem de águas de superfície para detectar metais selecionados, ao longo do Rio XXX. Fonte: EPA

Contaminante	N.º de amostra	N.º de detecção	Margem das concentrações medidas em níveis acima dos VCs (ppb)	Valores de comparação sanitários (VC) (ppb)	Tipo de VC	N.º de detecção acima do VC
Alumínio	100	99	21200 - 123000	20000	Emeg	6
Bário	100	99	839 - 3280	700	Rmeg	7
Berílio	106	28	9,1	4	MCL	1
Cromo	102	83	34,7 - 151	30	Rmeg	4
Cobre	100	99	2810	1300	MCL	1
Manganês	99	99	576 - 84900	500	Rmeg	98
Merúrio	100	97	2,2 - 43,9	2	MCL	53
Níquel	102	65	219	100	LTHA	1
Prata	105	80	50,2 - 308	50	Rmeg	6
Tálio	103	17	0,51 - 54	0,5	LTHA	9
Vanádio	103	58	31,4 - 172	30	Emeg	10

### Seleção dos contaminantes de Interesse

Esta parte exemplifica como executar a seleção dos contaminantes de interesse. Estes contaminantes são os compostos químicos específicos do sítio que se deve selecionar para uma avaliação posterior sobre os efeitos potenciais à saúde. Identificar os contaminantes de interesse é um processo iterativo que baseia no exame das concentrações dos contaminantes no sítio, na qualidade dos dados da amostra ambiental e no risco potencial de exposição aos seres humanos.

Devemos buscar as informações da identificação dos contaminantes de interesse observando os seguintes tópicos:

<b>a. Contaminantes dentro e fora do sítio</b>	Todos os contaminantes devem ser considerados como de interesse potencial, e devemos selecioná-los comparando com os valores de referências, como a Portaria 2914/2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e, Decisão de Diretoria 256/2016/E, que dispõe sobre a aprovação dos “Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas, nas exposições pelos diversos meios, nos efeitos recíprocos e das preocupações da população do entorno.
<b>b. Concentrações dos contaminantes nos meios ambientais</b>	Devemos utilizar os dados amostrados — análise temporal e espacial, quando possível — para identificar os contaminantes de interesse no passado, presente e futuro, e a probabilidade de transferência entre os meios.
<b>c. Níveis de concentrações basais</b>	Um levantamento dos níveis basais dos meios ambientais locais ajuda na identificação da fonte de contaminação (p.ex. o solo natural é rico em metais; o solo é formado principalmente de solo orgânico).
<b>d. Qualidade dos dados das amostras ambientais</b>	Os dados da amostra devem ser avaliados cuidadosamente para certificar sua validade e representatividade.
<b>e. Inventário de emissões de compostos tóxicos</b>	Deve ser avaliado como forma de determinar as necessidades de amostras adicionais na fonte de contaminação, bem como datas, quantidades e nomes dos contaminantes que tenham sido liberados na instalação do sítio ou em suas proximidades (seu entorno).
<b>f. Perfis toxicológicos</b>	Buscar por documentos que proporcionem informes de saúde pública, informes sobre efeitos a saúde, propriedades físicas e químicas, dados sobre exposição, métodos analíticos, etc.

### Identificação do contaminante

Os informes e documentos que dispomos dos contaminantes que se encontram nos meios ambientais dentro e fora do sítio, nos proporcionam apêndices que mostram os meios envolvidos, o número de amostras, o período amostrado, os limites de detecção e as concentrações encontradas. Uma lista de contaminantes pode ser bastante extensa, envolvendo muitos compostos, e independentemente do volume de informação, devemos considerar todos os contaminantes detectados como contaminantes de interesse potencial.

#### Organização dos Contaminantes de Interesse

Deve-se identificar, organizar e discutir os contaminantes de interesse para cada meio. Enquanto que a redação do documento deve-se resumir a informação dos dados de tabela, cujas concentrações não devem ser repetidas. Os subtítulos dos meios, tais como solo superficial, subsolo, sedimento, lençol freático, água subterrânea (com subcategoria de poços privados, poços públicos e poços de monitoramento), ar, biota, resíduos diversos, gás de solo e lixiviado<sup>18</sup>, devem ser enquadrados de forma apropriada nas subseções de contaminação no sítio e contaminantes fora do sítio.

***Todos os contaminantes identificados dentro do sítio devem ser incluídos na lista dos contaminantes fora do sítio.***

Devemos identificar os contaminantes no sítio que não foram detectados ou informados fora do mesmo. Todos os meios ambientais que foram amostrados, tanto dentro como externo ao sítio, devem ser mencionados de forma clara para a avaliação de saúde.

<sup>18</sup> **Lixiviação:** Arraste vertical, pela infiltração da água, de partículas da superfície do solo para camadas mais profundas. Fonte: CETESB

Os dados sobre solo superficial e subsolo devem ser separados, assim como os respectivos para águas do lençol freático, de poços privados, de poços públicos e dos poços de monitoramento.



Área residencial que fazia uso de água subterrânea no entorno de um sítio contaminado

Local em que ocorreu liberação de substâncias químicas pelo solo e água subterrânea.

Foto 14- Área contaminada por solventes. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/eprete

Outro ponto importante é marcar as tendências ao se discutir os dados, sem incluir a forma de migração. Devemos considerar também, de forma específica, a distribuição espacial, os pontos críticos, as alterações das concentrações ao longo do tempo, e as diferenças da contaminação entre os meios.

Ao avaliar os dados de água superficial, devemos diferenciar claramente entre poços, lagos, rios e ou outros tipos de corpos de águas superficiais. Não se deve incluir nesta relação às represas ou lagoas destinadas à contenção de resíduos industriais ou de descarte.



Foto 15- Áreas de estuários são as zonas transitivas entre terra e mar. Foto: Jornal da Orla

**Organização dos Contaminantes de Interesse em Tabelas**



Foto 16- Piezômetro de câmara dupla com saída lateral para leituras de gases. Fonte: UNWELT Consultorias

Quando uma substância é identificada como um contaminante de interesse em um meio ambiental, devemos ajustar sua concentração para todos os meios amostrados em forma de tabela ou de forma descritiva. Se a tabela for demasiadamente ampla, deve incorporá-la em forma de redação para cada meio ambiental. Isto deve ser feito tanto para a contaminação fora e dentro do sítio com os devidos valores de comparação nas tabelas.

As taxas das concentrações dos contaminantes detectados devem estar em tabelas, bem como, informar os valores médios, se for possível, porém a média deve estar acompanhada dos valores das concentrações do maior e do menor valor, como forma de assegurar que todos os valores encontrados potencialmente significativos foram avaliados.

Para distinguir os dados históricos dos atuais, devem-se identificar em uma tabela as concentrações de um contaminante que documente a possibilidade de exposições passadas. Será necessário determinar se remoções passadas ou atividades de remediação puderam causar alterações em um meio.

Devemos descartar a contaminação passada, presente e o seu transporte, até que ocorra o seguinte:

- Se for determinado que o padrão das amostras fosse satisfatório quanto à cobertura, a representatividade, o método de coleta, a frequência de coleta, o armazenamento e o transporte das amostras, os métodos analíticos.
- Se houver informações que mostre explicitamente que não ocorreram atividades de remoção ou de remediação no meio amostrado.

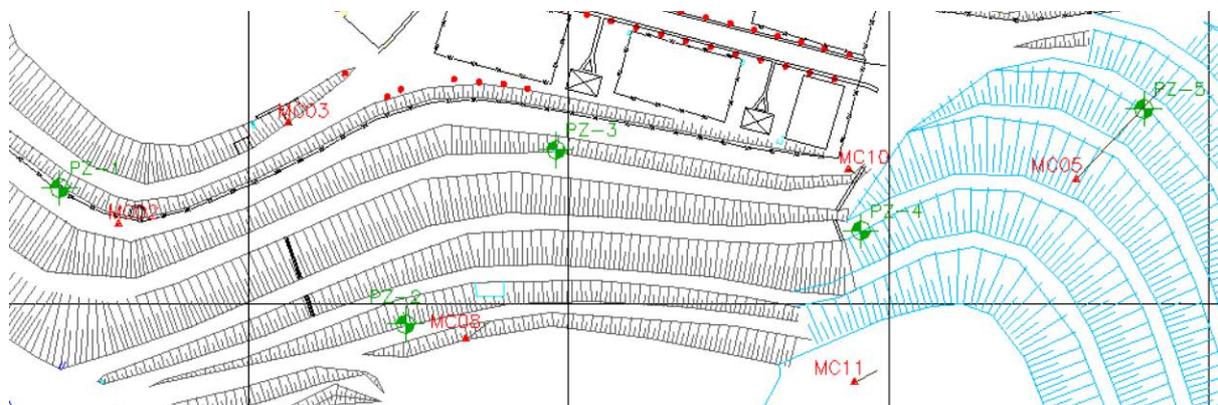


Figura 20- Localização de pontos de leituras das pressões de gases por manômetros acoplados a piezômetros em áreas do Aterro Sanitário de março de 2004 a outubro de 2005. Fonte: UNWELT Consultorias.

Piezômetro	PZ01	PZ02A	PZ02B	PZ03A	PZ03B	PZ04	PZ05	Vazão de chorume (m <sup>3</sup> /h)	Média da Pluviosidade (mm)
Média	0,14	0,00	0,01	0,18	0,02	0,42	0,00	3,85	140,56
Profundidade dos PM (m)	12,00	18,50	33,00	18,50	33,50	18,50	33,50		

### ***Avaliação dos dados e técnicas de amostragem***

Antes de utilizar os dados ambientais que permitam chegar a conclusões da avaliação de saúde, deve-se revisar a falta de adequação, insuficiências e discrepâncias dos dados ou das técnicas analíticas e de amostras utilizadas para obtenção da informação, o QA/QC.

#### ***Qualidade dos Dados de Campo***

Deve-se verificar:

- Inspeções no campo;
- Método e lugar da coleta da amostra;
- Recipiente e conservadores empregados na coleta da amostra;
- Procedimento da descontaminação;
- Calibração do equipamento; e
- Duplicatas e frações de campo.

Ao avaliador de saúde cabe observar com maior critério os dois primeiros itens, verificando se as amostras foram extraídas dos pontos de interesse que possam constatar uma possível Rota de Exposição. Os demais pontos a CETESB é o agente capacitado para tal.

#### ***Qualidade dos Dados de Laboratórios***

O critério de QA/QC dos dados laboratoriais cabe a CETESB verificar e acompanhar, a nós da saúde cabe analisar os valores detectados e compara-los com os valores de background. As substâncias que se encontrarem acima dos valores de background devem ser consideradas como de interesse num primeiro momento.

#### ***Suficiência dos Dados***

Depois de revisar os dados de concentração específicos para cada meio e a informação sobre a qualidade dos dados do laboratório, deve-se determinar se a informação disponível para cada meio é suficiente para avaliar os níveis de contaminantes, com os quais os moradores do entorno podem estar expostos. Se os dados são insuficientes ou não estão disponíveis, deve-se buscar as informações necessárias para complementar uma avaliação de saúde.

Antes de realizar comparações dos dados relacionados ao sítio com os dados basais, deve-se avaliar a representatividade e a suficiência dos dados, considerando os seguintes aspectos:

1. São representativos os dados dos meios de interesse para uma determinada área ou período em particular, como condição do tempo, estação, ano, mês, etc.?
2. Existem dados suficientes para entender a tendência temporal ou espacial e os pontos de exposição potenciais?

## Solos

Se os seres humanos tiverem acesso a solos contaminados:

- É possível o solo proporcionar riscos de contaminação ao estar em contato ou manuseá-lo?
- Foram especificadas as profundidades das coletas de solo?
  - Solo superficial: < ou = a 7,00cm
  - Solo subsuperficial: >7,00cm
  - Se o solo amostrado não indica a profundidade de coleta, ou seja, não informa se é ou não superficial, deve-se designar os dados como solo e o seu intervalo de coleta (p.ex., 0,00—20,00cm);
  - Se a profundidade do solo é desconhecida, deve-se designar como profundidade de solo não especificada.



Foto 17- Área do Residencial Primavera – Mansões Santo Antônio/Campinas – Foto: CVS/SAMA/GTSolo/eprete

- O solo amostrado foi classificado?
  - Em caso negativo, deve-se assumir que o solo inclui qualquer material natural no consolidado e inclusive materiais de origem antropogênico.
  - Os dados incluem amostra de solo a montante e a jusante e amostras a favor ou contra o vento, tanto externo como dentro do sítio?

## Sedimentos

- As amostras de sedimentos coletadas foram aleatórias ou de sondagens?
- Foram especificadas as profundidades da amostra?
- Programa de coleta de amostras de sedimentos foi a intervalos regulares ao longo da margem das águas ou foi em área de deposição ou foi coletada em ambas as formas?
- As amostras de sedimentos foram coletadas acima e abaixo do rio tanto dentro como fora do sítio?
- Foi considerado qualquer tipo de atividade de remoção de sedimentos, através de draga ou por escavação, que podia alterar ou grau de contaminação dos sedimentos, resultando em falso negativo?
- As informações anteriores são importantes para as seguintes condições:

- Quando a contaminação dos sedimentos em águas de pescas é utilizada para justificar a amostra e a análise da biota comestível;
- Quando os dados de sedimentos são utilizados para justificar uma amostra a jusante do rio adicional, particularmente nos pontos de exposição e nas áreas que não foram objetos de atividades de remoção passada; e
- Quando se avalia o valor de exposição passada.



Foto 18- Estuário Santos São Vicente. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/eprete

### Água Superficial

- Nos resultados dos dados da água superficial estão inclusas amostras tanto acima como abaixo do rio do sítio?
- Foi obtida a informação sobre o número de amostras de água superficial em cada estação do ano, bem como, a frequência, duração e datas das coletas?

### Água Subterrânea

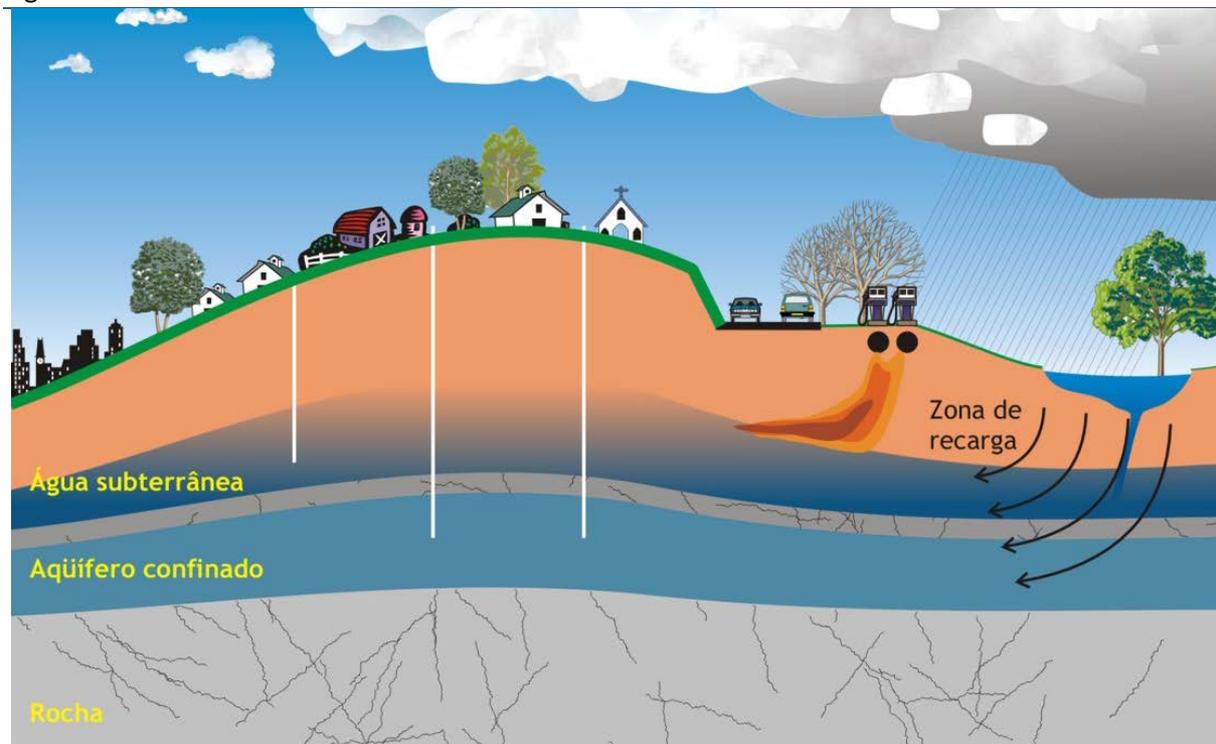


Figura 21- Risco potencial de contaminação dos poços – Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/FCC

- Foram coletadas amostras de água subterrânea no aquífero de interesse?
- As amostras foram coletadas tanto acima como abaixo do gradiente da pluma de contaminação da água subterrânea do sítio?

Complemento

Foram incluídas nas amostragens locais importantes para o olhar da saúde, como pontos de exposição possíveis?

**Uso de concentrações basais**

Embora as comparações dos dados locais com os dados basais possam influenciar na seleção do poluente de interesse, os níveis basais, não devem ser considerados como determinante único. A comparação dos dados basais com o EMEG<sup>19</sup> (*Environmental Media Evaluation Guidelines*) e outros valores de comparação pode determinar se os níveis basais representam risco ou ameaça para a saúde. Os níveis do meio ambiental local podem sofrer importantes influências por poluentes, com altos níveis, originados dos depósitos de minerais ou de outras fontes naturais.

A informação basal local combinado com outros dados de amostra do sítio pode ser usada para determinar a fonte da contaminação provável. Tanto a análise espacial com a temporal dos pontos e dos dados pode ajudar nesta determinação.

**Tipos de Dados Basais**

Os dados basais pode ser uma combinação de dois tipos de níveis:

1. **Níveis Ambientais** de substâncias que se encontram naturalmente nos ambientes e que não foram influenciados por atividades humanas:
2. **Níveis Antropogênicos** de substância no ambiente devido a fontes de origem humana, não relacionadas com ao local.

Os níveis basais podem ser localizados ou não, dependendo da extensão e da fonte de contaminação. Estes níveis podem ser detectados para cada meio de interesse, em áreas que não estão sob a influência da contaminação local. Por exemplo, na obtenção de dados basais de contaminação do interior das residências na proximidade da fonte geradora e com as residências mais afastadas.

Se não foram obtidas amostras basais locais do meio de interesse, poderão ser usados para comparação os níveis basais do estado, região ou nação, sempre que os meios forem de mesmas características básicas que os meios de interesse. Se utilizar fontes diferentes dos dados basais locais, é necessário explicar a fonte e sua aplicabilidade.

**Comparações entre as Concentrações Basais e as Relacionadas com o Sítio**

Quando compararmos os dados basais com as concentrações locais, as seguintes decisões deveriam ser consideradas:

1. Se os níveis de um poluente em um meio ambiental de um sítio são maiores que os níveis basais ou de outros níveis de comparação pertinente, os meios ambientais podem precisar de uma avaliação mais profunda quanto a uma possível migração do poluente, especialmente quando as extensões da contaminação não foram bem caracterizadas.

<sup>19</sup> As Guias para Avaliação dos Meios Ambientais (EMEG) são valores de comparação específicos dos meios que são utilizados para selecionar os contaminantes de interesse nas áreas contaminadas. Os EMEG se derivam dos Níveis de Risco Mínimo (MRL) presentes nos Perfis Toxicológico da ATSDR. O MRL se define como estimativa de exposição humana diária (crônica) a um composto químico que não venha representar risco a saúde. Fonte: ATSDR

2. Se o nível do poluente em um meio ambiental de um sítio for muito maior que a do basal ou de outro nível de comparação, o poluente deve ser considerado como um poluente de interesse.
3. Se os níveis de um poluente em um sítio são maiores que os níveis basais e não existe valor de comparação com outros valores aplicáveis, o poluente deve ser mostrado como um poluente de interesse.
4. Se os níveis de um poluente em um sítio são menores que os níveis basais ou de outra comparação aplicável o contaminante não deve ser escrito como poluente de interesse. Porém, outros fatores, como a presença em outros meios, efeitos recíprocos, ou preocupações da comunidade com sua saúde, podemos selecionar o poluente como um poluente de interesse.

### Principais poluentes

A tabela a seguir mostra compostos relacionados a alguma atividade industrial. Esses dados são úteis, na orientação das investigações da fase de “screening”, norteando o emprego da metodologia mais adequada para maior confiabilidade dos resultados.

*Tabela 2- industrial, tipo de setores e prováveis contaminantes do Solo. Fonte: CETESB*

Indústria	Exemplos de setores	Prováveis contaminantes
Química	Setores de fabricação de ácidos e bases, de pigmentos, de fertilizantes, de pesticidas, de produtos farmacêuticos e de tintas. Tratamento de madeiras.	Ácidos; bases; metais; solventes (ex.: tolueno, benzeno); fenóis, compostos orgânicos específicos.
Petroquímica	Refinarias de petróleo. Pátios de tanques. Depósitos de armazenamento de combustíveis. Destilarias de alcatrão.	Hidrocarbonetos; fenóis; ácidos; bases e asbestos.
Produção e transformação de metais	Primeira produção de ferro. Fabricação de aço. Fundições. Anodizados e galvanizados. Construção e lançamento de barcos. Ferros-Velhos.	Metais; especialmente Fe, Cu, Ni, Cr, Zn, Cd e Pb; asbestos, hidrocarbonetos, PCB, cianetos.
Transporte	Garagens, fábricas de veículos e oficinas de manutenção. Garagens de trens.	Combustíveis; hidrocarbonetos; asbestos.
Energia	Fábricas de gás. Produção de energia.	Combustíveis (ex.: carvão e pó de coque); fenóis, cianuretos; compostos de enxofre; asbestos.
Extração de minerais. Recuperação de solo (incluindo vertedouros)	Minas. Zonas de aterros.	Metais (ex.: Cu, Zn, Pb); gases (ex.: metano); cianuretos; fenóis; etc.
Miscelânea	Portos, cais e embarcadouros. Curtumes. Fábricas de pneus. Instalações militares.	Metais; compostos orgânicos; metano; substâncias tóxicas, inflamáveis ou explosivas.

**Nota:** Podem ser considerados como contaminantes “residentes” os hidrocarbonetos, policlorobifenilas (PCB), asbestos, sulfatos e alguns metais usados em pigmentos e acabamentos. Estes podem estar presentes na maior parte das atividades

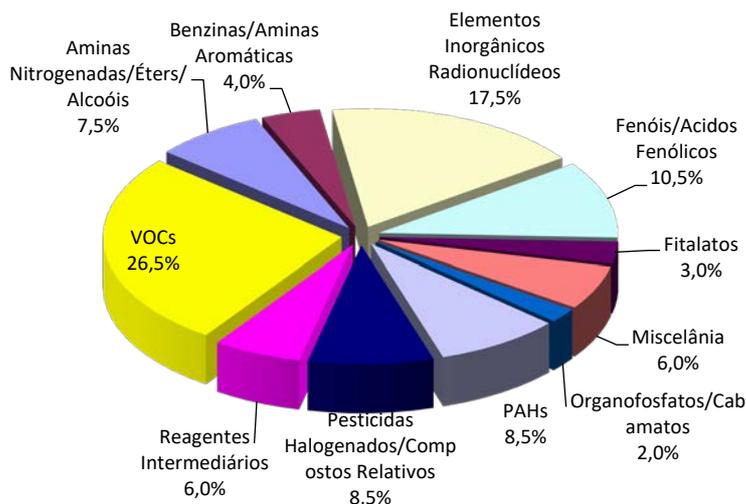


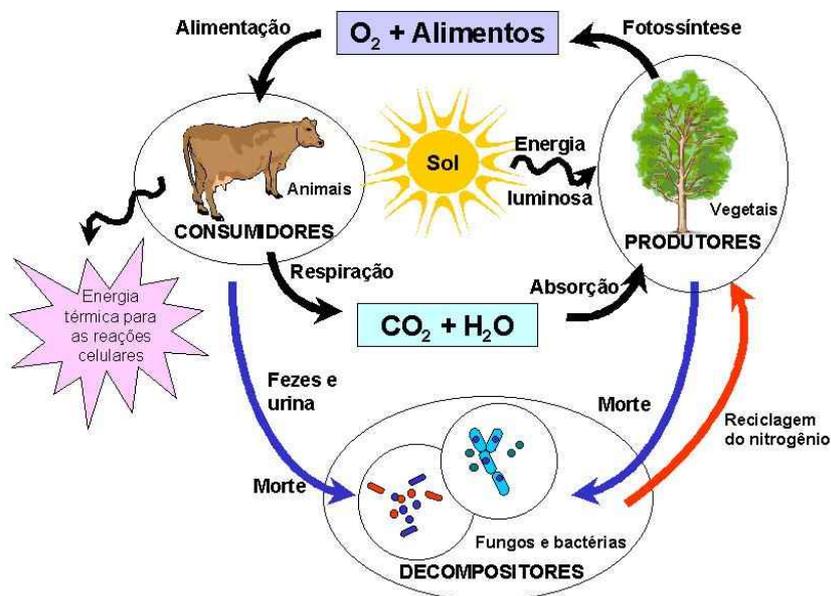
Gráfico 2- Classes químicas de 200 substâncias tóxicas. Fonte: CETESB

O gráfico 1 mostra as classes químicas de 200 substâncias tóxicas ou perigosas mais comuns que podem ser detectadas através de métodos de "screening".

**Principais Poluentes Aquáticos**

Os Poluentes são classificados de acordo com sua natureza e com os principais impactos causados pelo seu lançamento no meio aquático.

**Poluentes Orgânicos Biodegradáveis**



A matéria orgânica biodegradável lançada na água será degradada pelos organismos decompositores<sup>20</sup> presentes no meio aquático. Existem duas maneiras desses compostos, constituídos principalmente por proteínas, carboidratos e gorduras, serem degradados:

Figura 22- A relação entre os consumidores (um herbívoro), os decompositores (bactérias e fungos) e os produtores (plantas). Fonte: <http://bioquimica.xpg.uol.com.br/Alimentos.html>

<sup>20</sup> Os **organismos decompositores**: É difícil imaginar um mundo sem esses verdadeiros faxineiros da natureza. Esses organismos pouco divulgados, que geram repulsa em grande parte das pessoas, realizam silenciosamente um trabalho de transformação na natureza. Eles se nutrem de matéria orgânica morta, seja de origem animal ou vegetal, são importantes também na depuração de esgotos domésticos ou industriais em corpos d'água poluídos. Ocupam o último nível trófico na cadeia alimentar realizando reciclagem de elementos químicos entre os componentes físicos e biológicos da natureza. As plantas utilizam esses elementos para a geração de mais energia e matéria orgânica dando continuidade ao ciclo de nutrientes e energia na cadeia alimentar. Os mais importantes organismos decompositores são os fungos e bactérias. A matéria orgânica morta apodrece e desaparece rapidamente do ambiente graças à ação desses organismos. A atividade dos decompositores é fundamental para a manutenção da vida na Terra. Abaixo posto uma vídeo aula do Telecurso que explica de uma forma bem interessante a função desses organismos na natureza.

Fonte: <https://guiaecologico.wordpress.com/2012/08/05/os-organismos-decompositores/>

- Se houver oxigênio dissolvido<sup>21</sup> no meio, a decomposição será feita por bactérias aeróbias, que consomem o oxigênio dissolvido existente na água. Se o consumo de oxigênio for mais intenso que a capacidade do meio para repô-lo, haverá seu esgotamento e a inviabilidade da existência de vida para peixes e outros organismos que dependem do oxigênio para respirar; e
- Se não houver oxigênio dissolvido no meio, ocorrerá a decomposição anaeróbia, com a formação de gases, como o metano e o gás sulfídrico.

Portanto, a presença de matéria orgânica biodegradável no meio aquático pode causar a destruição da fauna ictiológica e de outras espécies aeróbias em razão de consumo do oxigênio dissolvido pelos organismos decompositores. Assim, o impacto introduzido pelo despejo de esgotos domésticos em corpos de água ocorre principalmente pela diminuição da concentração de oxigênio dissolvido disponível na água, e não pela presença de substâncias tóxicas nesses despejos.



Foto 19- Mortandade de peixes na Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, em 14/03/2013 chegou a 65 toneladas  
 Fonte: <https://oglobo.globo.com/rio/mortandade-de-peixes-na-lagoa-rodrigo-de-freitas-chega-65-toneladas-7837117>

### Poluentes Orgânicos Recalcitrantes ou Refratários

Muitos compostos orgânicos não são biodegradáveis ou sua taxa de biodegradação<sup>22</sup> é muito lenta. Tais compostos também recebem a denominação de recalcitrantes ou refratários<sup>23</sup>.

<sup>21</sup> **Oxigênio Dissolvido (OD):** quantidade de gás oxigênio contido na água ou no esgoto, geralmente expressa em parte por milhão numa temperatura e numa pressão atmosférica específica. É uma medida da capacidade de água para sustentar organismos aquáticos. A água com conteúdo de oxigênio dissolvido muito baixo (menos de 5ppm). Que é geralmente causada por lixos em excessos ou imprópriamente tratados, não sustenta peixes e organismo similares. Fonte: Dicionário de Ecologia e Ciências Ambientais.

<sup>22</sup> A **biodegradabilidade** é a característica de algumas substâncias químicas poderem ser usadas como substratos por microorganismos, que as empregam para produzir energia por respiração celular e criar outras substâncias como aminoácidos, novos tecidos e novos organismos. A **biodegradação** é vantajosa ao meio ambiente porque elimina de certos contaminantes de origem orgânica como fezes, detergentes, papel, hidrocarbonetos, etc. Entretanto, este tratamento pode não ser efetivo se o contaminante apresentar outras substâncias, como metais pesados, ou se o meio apresenta um pH extremo. Nestes casos, é necessário um tratamento prévio que torne o contaminante em condições para que as bactérias possam realizar sua função sem ser destruídas e portanto, com uma velocidade aceitável. Biodegradável é todo material que após o seu uso pode ser decomposto pelos microorganismos usuais no meio ambiente. Desta forma o material quando se decompõe, perde as suas propriedades químicas nocivas em contato com o meio ambiente. É uma qualidade que a sociedade atual exige de determinados produtos como por exemplo, de detergentes, de sacos de papel, de embalagens diversas, etc. Assim diminui-se o impacto das manufaturas do homem sobre o meio ambiente. Diversos países adotaram algumas normas para obrigar certos setores econômicos, a fazer o uso de materiais biodegradáveis.

Fonte: <https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/esporte/biodegradabilidade/7966>

<sup>23</sup> **Compostos recalcitrantes ou refratários** não são biodegradados pelos organismos normalmente presentes em sistemas biológicos de tratamento, nos usuais tempos de retenção hidráulica aplicados sendo, então, lançados nos corpos aquáticos receptores. Devido ao efeito de acumulação, podem atingir concentrações superiores à dose letal de alguns

A digestão de uma determinada substância depende não somente da possibilidade de ela fornecer energia para os organismos, mas também da existência de organismos capazes de digeri-la. Esse é o caso da maioria dos compostos orgânicos recalcitrantes, os quais têm sido criados por processos tecnológicos e dispostos há relativamente pouco tempo no ambiente. O impacto introduzido por compostos orgânicos desse tipo está associado à sua toxicidade, e não ao consumo de oxigênio utilizado para sua decomposição.

Alguns desses compostos encontram-se no meio aquático em concentrações que não são perigosas ou tóxicas. No entanto, em consequência do fenômeno da bioacumulação<sup>24</sup>, sua concentração no tecido dos organismos vivos pode ser relativamente alta, caso eles não possuam mecanismos metabólicos que eliminem tais compostos após sua ingestão.

Alguns exemplos de compostos orgânicos dessa natureza são:

- **Defensivos agrícolas:** parcela considerável do total aplicado para fins agrícolas atinge os rios, lagos, aquíferos e oceanos por meio do transporte por correntes atmosféricas, despejo de restos de soluções, limpeza de acessórios e recipientes empregados na aplicação desses produtos e também pelo carreamento do material aplicado no solo pela ação erosiva da chuva. Graças aos mecanismos de transporte característicos dos meios aquáticos, alguns desses defensivos têm sido detectados até na região antártica;



Foto 20- Curso de aplicação de defensivos agrícolas do EAD Senar de Goiás. Fonte: <http://ead.senargo.org.br/cursos/agricultura-de-precisao-na-aplicacao-de-defensivos-agricolas>

- **Detergentes sintéticos:** tais produtos têm causado danos maiores em águas interiores do que em águas oceânicas, sendo, em geral, mais tóxicos para os peixes do que para o homem. Muitos microrganismos que efetuam biodegradação da matéria orgânica também podem ser afetados pelos detergentes sintéticos. Além disso, a presença de uma camada de detergente sintético na interface ar-água afeta a troca de gases entre os dois meios, podendo também gerar espuma abundante. Essa espuma é levada pelo vento e espalha-se por uma região mais ampla, transportando consigo alguns poluentes (Ex. coliformes fecais), que porventura existam no meio aquático;
- **Petróleo:** o Petróleo é composto por uma mistura de várias substâncias com diferentes taxas de biodegradabilidade. O petróleo e seus derivados podem acidentalmente atingir corpos de águas nas fases de extração, transporte, aproveitamento industrial e consumo. Entre os

organismos, como invertebrados e peixes, levando à ocorrência de morte. Além disso, os efeitos cancerígenos e mutagênicos eventualmente podem ser observados em humanos como resultados da bioacumulação ao longo da cadeia alimentar. Fonte: Química Nova → *Wastewater treatment by oxidation with ozone*.

<sup>24</sup> Bioacumulação: Absorção e concentração de elementos químicos tóxicos nos organismos vivos. Metais pesados e pesticidas, como o DDT, são armazenados nos tecidos gordurosos dos animais e transmitidos a seus predadores. O resultado são concentrações cada vez mais elevadas do pesticida no tecido gorduroso, levando finalmente a níveis prejudiciais nos predadores no alto da cadeia alimentar, como as águias. Também chamado de bioampliação. Fonte: Dicionário de Ecologia e Ciências Ambientais.

principais efeitos danosos impostos ao meio ambiente estão: a formação de uma película superficial que dificulta as trocas gasosas entre o ar e a água; a vedação dos estômatos das plantas e órgãos respiratórios dos animais; a impermeabilização das raízes de plantas e a ação de substâncias tóxicas nele contidas para muitos organismos.

## Metais

Todos os metais podem ser solubilizados<sup>25</sup> pela água, podendo gerar danos à saúde em função da quantidade ingerida, pela toxicidade, ou de seus potenciais carcinogênicos, mutagênicos<sup>26</sup> ou teratogênicos<sup>27</sup>. Como exemplos de metais tóxicos temos o arsênio, o bário, cádmio, cromo, chumbo e o mercúrio.

Um organismo aquático pode apresentar dois tipos básicos de comportamento em relação aos metais: ou é sensível à ação tóxica de um determinado metal ou não é sensível, mas bioacumula, potencializando seu efeito nocivo ao longo da cadeia alimentar, colocando em risco organismos situados no topo dessa cadeia.

Tabela 3- Solubilidade em água. Fonte: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/quimica/solubilidade-1-coeficiente-de-solubilidade-e-solvatacao-dos-sais.htm>

Compostos	Regra	Exceções
Ácidos Orgânicos	Solúveis	
Permanganatos, Nitritos e Nitratos, Cloratos	Solúveis	
Sais de Alcalinos e Amônio	Solúveis	carbonato de lítio
Percloratos	Solúveis	potássio e mercúrio I
Acetatos	Solúveis	prata
Tiocianatos e Tiosulfatos	Solúveis	prata, chumbo e mercúrio
Fluoretos	Solúveis	magnésio, cálcio e estrôncio
Cloretos e Brometos	Solúveis	prata, chumbo e mercúrio I
Iodetos	Solúveis	mercúrio, bismuto e estanho IV
Sulfatos	Solúveis	prata, chumbo, bário, e estrôncio
Óxido metálico e Hidróxidos	Insolúveis	alcalinos, amônio, cálcio, bário e estrôncio
Boratos, Cianetos, Oxalatos, Carbonatos, Ferrocianetos, Ferricianetos, Silicatos, Arsenitos, Arseniados, Fosfitos, Fosfatos, Sulfitos e Sulfetos	Insolúveis	alcalinos e de amônio

Como exemplo de problema relacionado com metais, citamos o Mal de Minamata, detectado em 1953, na Baía de Minamata, Japão. Houve acúmulo de compostos organomercuriais no sistema nervoso humano, principalmente no cérebro e na medula. O lançamento de efluentes industriais com a presença de metilmercúrio na água atingiu a população local que consumiram peixes, causando grande número de mortes e deformações genéticas.

<sup>25</sup> Solubilidade: é uma ideia quantitativa que indica a propriedade que uma substância possui de se dissolver em outra. Desta forma diz-se que o cloreto de sódio é solúvel em água. Quantitativamente a solubilidade de uma substância é definida em função do seu coeficiente de solubilidade ou ponto de saturação. Fonte: [http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/Sala%20de%20Leitura/conteudos/SL\\_solubilidade.pdf](http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/Sala%20de%20Leitura/conteudos/SL_solubilidade.pdf)

<sup>26</sup> Mutagênicos: qualquer agente capaz de produzir uma mudança ou mutação no material genético de uma célula viva. Fonte: Dicionário de Ecologia e Ciências Ambientais.

<sup>27</sup> Define-se como agente teratogênico qualquer substância, organismo, agente físico ou estado de deficiência, que estando presente durante a vida embrionária ou fetal, produz alteração na estrutura ou função da descendência. Fonte: <http://www.siat.ufba.br/node/90>



**Minamata, Japão, 1956.**

Foto 21- Minamata (Minamata) é uma pequena cidade situada nas margens do mar da Wachira Chattanooga (Shiranui) com vista para uma paisagem espetacular. É famosa em todo o mundo pela razão do vazamento de mercúrio por fábricas de automóveis na água, o que resultou na morte de milhares de pessoas. No entanto, a cidade foi transformada em modelo ECO da reciclagem, na economia de energia e de proteção ambiental. Fonte; <http://www.talonjapan.com/category/area/kyushu/kumamoto/minamata/>



Foto 22- "El baño de Tomoko", 1973 de William Eugène Smith. Fonte: <https://goo.gl/pP6okL>

A maioria dos organismos vivos só precisa de alguns poucos metais e em doses muito pequenas. Tão pequenas que costumamos chamá-los de micronutrientes, como é o caso do zinco, do magnésio, do cobalto e do ferro (constituente da hemoglobina). Estes metais tornam-se tóxicos e perigosos para a saúde humana quando ultrapassam determinadas concentrações-limite.



Já o chumbo, o mercúrio, o cádmio, o cromo e o arsênio são metais que não existem naturalmente em nenhum organismo. Tampouco desempenham funções - nutricionais ou bioquímicas - em microorganismos, plantas ou animais. Ou seja: a presença destes metais em organismos vivos é prejudicial em qualquer concentração. Desde que o homem descobriu a metalurgia, a produção destes metais aumentou e seus efeitos tóxicos geraram problemas de saúde permanentes, tanto para seres humanos como para o ecossistema.



Um estudo realizado por pesquisadores brasileiros avaliou a concentração de metais pesados em verduras cujo plantio utilizou adubo proveniente da compostagem de lixo orgânico. Os resultados demonstraram que o solo e as hortaliças tinham Cádmio em níveis perigosos para o consumo humano. Folhas de alface, couve e brócolis continham, respectivamente, 2,3, 11,8 e 8 miligramas de Cádmio por quilograma de alimento (mg/kg).



Como a Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda o máximo diário de 1 micrograma de Cádmio por quilograma de massa corpórea, alguém que se alimente destas verduras acabará por ingerir dez vezes mais que as quantidades aceitáveis. Os mesmos pesquisadores afirmam que os alimentos fornecem 40% do cádmio absorvido pelo homem e que a vida média biológica deste elemento químico (19-38 anos) acarreta sua acumulação no corpo humano, especialmente nos rins e no fígado. Altos teores podem trazer disfunções em pessoas com mais de 50 anos de idade.

Fonte das fotos: <https://goo.gl/TcC9kS>

Tabela 4- Principais Fontes e Impactos de alguns metais pesados.  
Fonte: <http://www.drashirleydecampos.com.br/noticias/1023>

METAL	FONTES PRINCIPAIS	IMPACTOS NA SAÚDE E NO MEIO AMBIENTE
Chumbo	Indústria de baterias automotivas, chapas de metal semi-acabado, canos de metal, <i>cable sheating</i> , aditivos em gasolina, munição. Indústria de reciclagem de sucata de baterias automotivas para reutilização de chumbo	Prejudicial ao cérebro e ao sistema nervoso em geral afeta o sangue, rins, sistema digestivo e reprodutor <sup>28</sup> Eleva a pressão arterial Agente teratogênico (que acarreta mutação genética)
Cromo	Curtição de couros, galvanoplastias.	Dermatites, úlceras cutâneas, inflamação nasal, câncer de pulmão e perfuração do septo nasal.
Zinco <sup>29</sup>	Metalurgia (fundição e refinação), indústrias recicladoras de chumbo.	Sensações como paladar adocicado e secura na garganta, tosse, fraqueza, dor generalizada, arrepios, febre, náusea, vômito.
Cádmio	Fundição e refinação de metais como zinco <sup>30</sup> , chumbo e cobre - derivados de cádmio são utilizados em pigmentos e pinturas, baterias, processos de galvanoplastia, solda, acumuladores, estabilizadores de PVC, reatores nucleares.	É comprovadamente um agente cancerígeno, teratogênico e pode causar danos ao sistema reprodutivo.
Mercúrio	Mineração <sup>31</sup> e o uso de derivados na indústria e na agricultura Células de eletrólise do sal para produção de cloro	Intoxicação aguda: efeitos corrosivos violentos na pele e nas membranas da mucosa, náuseas violentas, vômito, dor abdominal, diarreia com sangue, danos aos rins e morte em um período aproximado de 10 dias. Intoxicação crônica: sintomas neurológicos, tremores, vertigens, irritabilidade e depressão, associados a salivação, estomatite e diarreia.; descoordenação motora progressiva, perda de visão e audição e deterioração mental decorrente de uma neuroencefalopatia tóxica, na qual as células nervosas do cérebro e do córtex cerebelar são seletivamente envolvidas.

Em geral, metais tóxicos estão presentes em quantidades diminutas no meio aquático por ação de fenômenos naturais, mas podem ser despejados em quantidades significativas por atividades industriais, agrícolas e de mineração.

Às vezes é difícil detectar metais no meio aquático porque alguns deles se depositam no fundo dos corpos de água. Todavia, existem situações em que essas substâncias são recolocadas em circulação por meio de reações químicas. Por exemplo, as águas ácidas deficientes em oxigênio dissolvido favorecem reações com os metais depositados nos sedimentos.

Outro problema associado à presença dos metais é que, mesmo em concentrações diminutas, eles podem gerar danos importantes aos organismos aquáticos ou ao homem. Em muitos casos, tais

<sup>28</sup> Crianças são especialmente vulneráveis aos efeitos do chumbo. Mesmo quantidades relativamente pequenas de chumbo podem causar rebaixamento permanente da inteligência em crianças, potencialmente resultando em desordens para leitura, distúrbios psicológicos e retardamento mental. Outros efeitos em crianças incluem doenças nos rins e artrite.

<sup>29</sup> A maior parte dos efeitos tóxicos do zinco relaciona-se à sua combinação com outros metais pesados e contaminação durante os processos de extração e concentração de zinco. As cinzas do metal nunca são completamente puras, podendo estar misturadas a outros metais como cádmio e mercúrio.

<sup>30</sup> Minerais de zinco constituem a principal fonte de cádmio. Este elemento é obtido durante os processos eletrolíticos de fundição utilizados para refinações de zinco e outros metais. Todos os concentrados de zinco apresentam como constituinte menor e inevitável de 0,1 a 0,3% de cádmio. Apesar de seu uso na indústria ter aumentado nos últimos 50 anos, a elevada toxicidade do cádmio tem restringido seu uso tanto nas aplicações já existentes como no desenvolvimento de novas tecnologias.

<sup>31</sup> A mineração contribui com 50% e o restante provém de atividades industriais (catálise, fabricação de equipamentos elétricos, pintura e fabricação de pesticidas).

concentrações são inferiores à capacidade de detecção dos aparelhos utilizados nos laboratórios encarregados do monitoramento da qualidade das águas. Exemplos de metais de menor toxicidade, dependendo da concentração, são o cálcio, magnésio, sódio, ferro, manganês, alumínio, cobre e zinco. Alguns desses metais podem produzir certos inconvenientes para o consumo doméstico de água pela alteração de cor, odor e sabor que provocam.

Nutrientes<sup>32</sup>

O excesso de nutrientes nos corpos de água pode levar ao crescimento excessivo de alguns organismos aquáticos, acarretando prejuízo a determinados usos dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Esses nutrientes, notadamente os sais de nitrogênio e o fósforo, são comumente responsáveis pela proliferação acentuada de algas, as quais podem prejudicar a utilização de mananciais de água potável.

Os nutrientes chegam aos corpos de água por meio da erosão de solos, pela fertilização artificial dos campos agrícolas ou pela própria decomposição natural da matéria orgânica biodegradável existente no solo e na água.

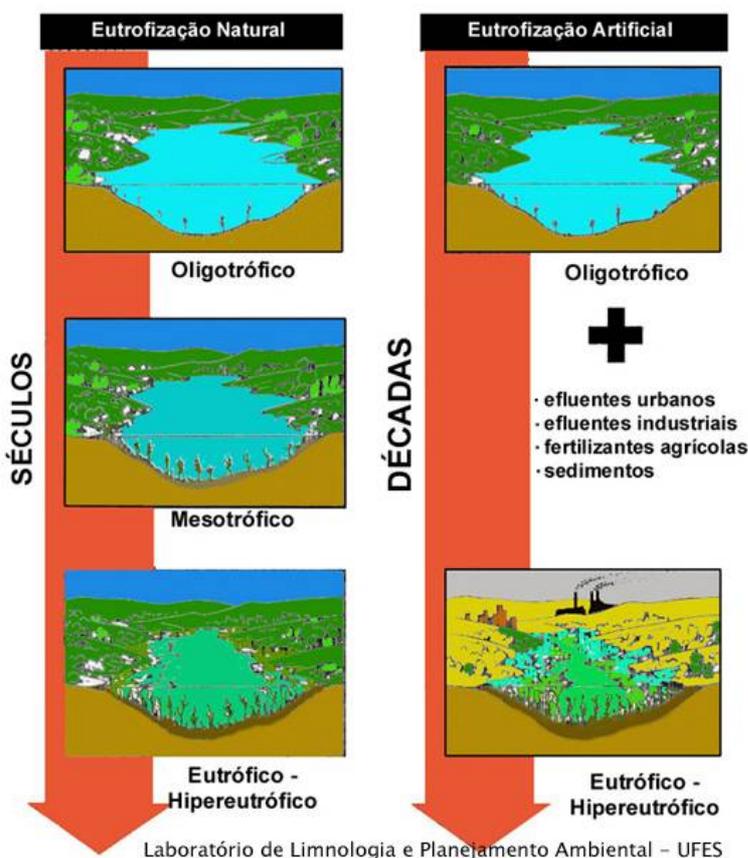


Figura 23- Denominamos Eutrofização ou Eutroficação o fenômeno no qual o ambiente aquático caracteriza-se por uma elevada quantidade de nutrientes – principalmente nitratos e fosfatos. Este fenômeno é resultante da poluição das águas por ejeção de adubos, fertilizantes, detergentes e esgoto doméstico sem tratamento prévio que provocam o aumento de minerais e, conseqüentemente, a proliferação de algas microscópicas que se localizam na superfície.

Desse modo, cria-se uma camada espessa de algas que impossibilitam à entrada de luz na água e impedem a realização da fotossíntese pelos organismos presentes nas camadas mais profundas, o que ocasiona a morte das algas, a proliferação de bactérias decompositoras e o aumento do consumo de oxigênio por estes organismos. Conseqüentemente começa a faltar oxigênio na água o que gera a mortandade dos peixes e outros organismos aeróbicos.

Na ausência do oxigênio, a decomposição orgânica torna-se anaeróbica produzindo gases tóxicos, como sulfúrico (que causa o cheiro forte característico do fenômeno).

A eutrofização causa a destruição da fauna e da flora de muitos ecossistemas aquáticos, transformando-os em esgotos a céu aberto.

Esse cenário permite a proliferação de inúmeras doenças causadas por bactérias, vírus e vermes.  
Fonte: <http://www.infoescola.com/ecologia/eutrofizacao/>

<sup>32</sup> **Nutriente** é qualquer elemento ou composto químico necessário para o metabolismo de um organismo vivo. Do ponto de vista da botânica e da ecologia, os nutrientes básicos são o oxigênio, a água e os minerais necessários para a vida das plantas que, através da fotossíntese os incorporam na matéria viva, constituindo assim a base da cadeia alimentar, uma vez que estes vegetais vão servir de alimentação aos animais. Os seres vivos que não têm a capacidade fotossintética, como os animais, os fungos e muitos protistas, alimentam-se de plantas ou de outros animais, quer vivos, quer em decomposição. Para estes seres, os nutrientes são os compostos orgânicos desses alimentos.

Fonte: <http://www.dicionarioinformal.com.br/significado/nutrientes/3190/>

## Organismos Patogênicos

Embora saibamos há muito tempo que a água pode ser responsável pela transmissão de um grande número de doenças, é ainda enorme o número de pessoas por elas afetadas, principalmente nas regiões menos desenvolvidas, onde o saneamento básico é precário ou mesmo inexistente. Essas doenças podem causar incapacitação temporária ou mesmo a morte, sendo responsáveis por boa parte da ocupação de leitos hospitalares e pela diminuição da qualidade de vida das pessoas.

As classes de organismos patogênicos mais comuns e algumas doenças transmitidas pela água e pelo esgoto ao homem são:

	<b>Bactérias</b>	Responsáveis pela transmissão de doenças, como a leptospirose, a febre tifóide, a febre paratifóide, a cólera etc.
	<b>Vírus</b>	Responsáveis pela transmissão de doenças, como a hepatite infecciosa e a poliomelite
	<b>Protozoários</b>	Responsáveis pela transmissão de doenças, como a amebíase e a giardíase
	<b>Helmintos</b>	Responsáveis pela transmissão de doenças, como a esquistossomose e a ascaridíase

Foto 23- Risco de contaminação por doenças transmitidas pela água. Fonte: <https://www.renovablesverdes.com/el-80-del-agua-de-los-pozos-en-china-esta-demasiado-contaminada-para-ser-bebida/>

## Sólidos em suspensão

Os sólidos em suspensão aumentam a turbidez da água, isto é, diminuem sua transparência. O aumento da turbidez reduz as taxas de fotossíntese e prejudica a procura de alimento para algumas espécies, levando a desequilíbrios na cadeia alimentar. Sedimentos podem carregar pesticidas e outros tóxicos, e sua deposição no fundo de rios e lagos prejudicam as espécies bentônicas<sup>33</sup> e a reprodução de peixes.

## Calor

A temperatura da água afeta características físicas, químicas e biológicas do meio aquático, como a densidade da água, a solubilidade de gases, a taxa de sedimentação do fitoplâncton<sup>34</sup>, a tensão

<sup>33</sup> Os **organismos bentônicos** são definidos como espécies que vivem em relação íntima com o fundo (substrato), seja para fixar-se a ele, ou para perfurar, escavar e/ou caminhar sobre a superfície. O substrato pode ser consolidado (rochas, madeira, piers, etc.) ou inconsolidados (areia, lama, etc.). Os organismos bentônicos são compostos por macroalgas, microalgas e plantas aquáticas (fitobentos); animais e muitos protistas (zoobentos). Fonte: <https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/biologia/os-organismos-bentonicos/33454>

<sup>34</sup> Em biologia marinha e limnologia chama-se fitoplâncton (ou chacolnario nome científico) ao conjunto dos organismos aquáticos microscópicos que têm capacidade fotossintética e que vivem dispersos flutuando na coluna de água. Fazem parte deste grupo organismos tradicionalmente considerados algas e estudados como tal pela botânica, mais especificamente pela ficologia. Contudo, dentre estas, há um grupo de grande importância sanitária e de saúde pública, que é também classificado

superficial, as reações químicas e o metabolismo dos organismos aquáticos. Por exemplo, um aumento de temperatura pode causar migração intensa de peixes para regiões mais amenas nas quais a concentração de oxigênio dissolvido é maior ou bloquear a passagem de peixes migratórios em decorrência da presença de uma barreira de calor com menor concentração de oxigênio dissolvido. Pode também favorecer o desenvolvimento excessivo de seres termófilos<sup>35</sup> e ainda, alterar a cinética<sup>36</sup> de reações químicas ou mesmo favorecer alguns sinergismos<sup>37</sup> nocivos ao ambiente. Efluentes aquecidos são gerados principalmente por usinas termoelétricas, independentemente do tipo de combustível utilizado, seja ele de origem fóssil ou nuclear.

## Radioatividade



A radioatividade existe naturalmente no meio ambiente pela presença de substâncias radioativas e de radiação que vem do espaço exterior. Parte dessas substâncias atinge os corpos de água superficiais e subterrâneos, penetrando nas cadeias alimentares, podendo ser ou não bioacumulada. Desse modo, os organismos podem entrar em contato com materiais radioativos por meio do ar, da água, do solo ou de alimentos.

A radioatividade da maioria das águas naturais está bem abaixo das concentrações máximas permissíveis. Todavia, o uso da radioatividade pelo homem – seja para fins bélicos, energéticos, de pesquisa, médicos ou de conservação de alimentos – tem liberado maiores quantidades de substâncias radioativas para o meio ambiente.

A radioatividade pode afetar o homem e outros organismos de diversas maneiras. Uma exposição aguda a ela pode levar à morte ou, então, causar danos à saúde. Uma exposição prolongada pode provocar o aparecimento de várias doenças, como o câncer. Além disso, a radioatividade pode afetar as células envolvidas na reprodução dos indivíduos, com graves danos para as gerações futuras.

## Principais Poluentes Atmosféricos

Podemos dizer que existe poluição do ar quando ele contém uma ou mais substâncias químicas em concentrações suficientes para causar danos em seres humanos, em animais, em vegetais ou em materiais. Esses danos podem advir também de parâmetros físicos, como, por exemplo, o calor e o som.

como bactéria, as cianofíceas ou "algas azuis". A divergência de autores quanto a classificação dos organismos pertencentes a este grupo deve-se ao fato de possuírem características de células vegetais (presença de clorofila em cloroplastos e parede celular com celulose) e de bactérias (material nuclear disperso no citoplasma). Hoje as algas azuis ou cianobactérias, nome atualmente mais empregado, são limitadas pelas legislações ambientais para águas potáveis, devido ao fato de que algumas cepas produzem toxinas (cianotoxinas) que podem ser letais para os mamíferos.

Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Fitopl%C3%A2ncton>

<sup>35</sup> Um **organismo termófilo** é aquele que vive confortavelmente em ambientes com temperaturas extremamente elevadas. Os termófilos são um tipo de organismos extremófilos, ou seja, seres vivos adaptados a condições ambientais extremas (temperatura, salinidade ou aridez, por exemplo). São, geralmente, microorganismos como determinadas espécies de bactérias e fungos. Existem também espécies de flora adaptadas às altas temperaturas e habituadas à ocorrência de fogo cíclico. São comuns nos ecossistemas mediterrânicos espécies termófilas como as pertencentes aos gêneros *Juniperus* (cedros), *Erica* ou *Pinus* (pinheiros). Fonte: <http://knoow.net/cienterravida/biologia/termofilo/>

<sup>36</sup> A **cinética química**, também conhecida como cinética de reação, é uma ciência que estuda a velocidade das reações químicas de processos químicos e os fatores que as influenciam. Cinética química inclui investigações de como diferentes condições experimentais podem influir a velocidade de uma reação química e informações de rendimento sobre o mecanismo de reação e estados de transição, assim como a construção de modelos matemáticos que possam descrever as características de uma reação química. Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Cin%C3%A9tica\\_qu%C3%ADmica](https://pt.wikipedia.org/wiki/Cin%C3%A9tica_qu%C3%ADmica)

<sup>37</sup> **Sinergismo** é a ação cooperativa de duas ou mais substâncias, de modo que o efeito resultante é maior que a soma dos efeitos individuais destas. Fonte: Dicionário Aurélio.

Essas concentrações dependem do clima, da topografia, da densidade populacional, do nível e do tipo das atividades industriais locais.

Os poluentes são classificados em primários e secundários. Os primários são aqueles lançados diretamente no ar. São exemplos desse tipo de poluente o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), o monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) e alguns particulados, como a poeira. Os secundários formam-se na atmosfera por meio de reações que ocorrem em razão da presença de certas substâncias químicas e de determinadas condições físicas. Por exemplo, o  $\text{SO}_3$  (formado pelo  $\text{SO}_2$  e  $\text{O}_2$  no ar) reage com o vapor de água para produzir o ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), que precipita originando a chamada “chuva ácida”.

### A Chuva Ácida

Fonte: <http://br.geocities.com/acideznachuva134/1.html>

As indústrias químicas e as centrais térmicas jogam na atmosfera produtos contaminadores, como os gases dióxido de enxofre e monóxido de nitrogênio os quais, com a ajuda do ozônio das camadas baixas da atmosfera, oxidam-se e, com a umidade da chuva, convertem-se em ácidos que se espalham pela terra, águas, árvores, plantações. O solo perde a fertilidade e os animais terrestres, aquáticos e aves, acostumados com ambientes limpos não se adaptam a esses terrenos que perdem sua vegetação natural.



Foto 24- Usina Termelétrica na zona sul de São Paulo

A maioria das chuvas é ligeiramente ácida por causa de uma pequena quantidade de dióxido de carbono dissolvido na própria atmosfera e tem um pH de 5,5. A chuva ácida tem um pH entre 5,0 e 2,2, e tem efeitos corrosivos para a maioria dos metais, o calcário e o papel. Pode cair a muitas centenas de milhas de onde se formou, quando se torna uma solução diluída de ácidos nítrico e sulfúrico. É letal à vida lacustre e prejudica as florestas e os solos. Também corrói edifícios e pode ser perigosa para a saúde dos seres humanos. O efeito é intensificado pelo fato de a chuva ácida liberar metais tóxicos, como cádmio e mercúrio, usualmente fixados no solo.

### Ciclo da Chuva Ácida

Inicialmente, é preciso lembrar que a água da chuva já é naturalmente ácida. Devido a uma pequena quantidade de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) dissolvido na atmosfera, a chuva torna-se ligeiramente ácida, atingindo um pH próximo a 5,6. Ela adquire assim um efeito corrosivo para a maioria dos metais, para o calcário e outras substâncias.

Quando não é natural, a chuva ácida é provocada principalmente por fábricas e carros que queimam combustíveis fósseis, como o carvão e o petróleo. Desta poluição um pouco se precipita, depositando-se sobre

o solo, árvores, monumentos etc. Outra parte circula na atmosfera e se mistura com o vapor de água. Passa então a existir o risco da chuva ácida.

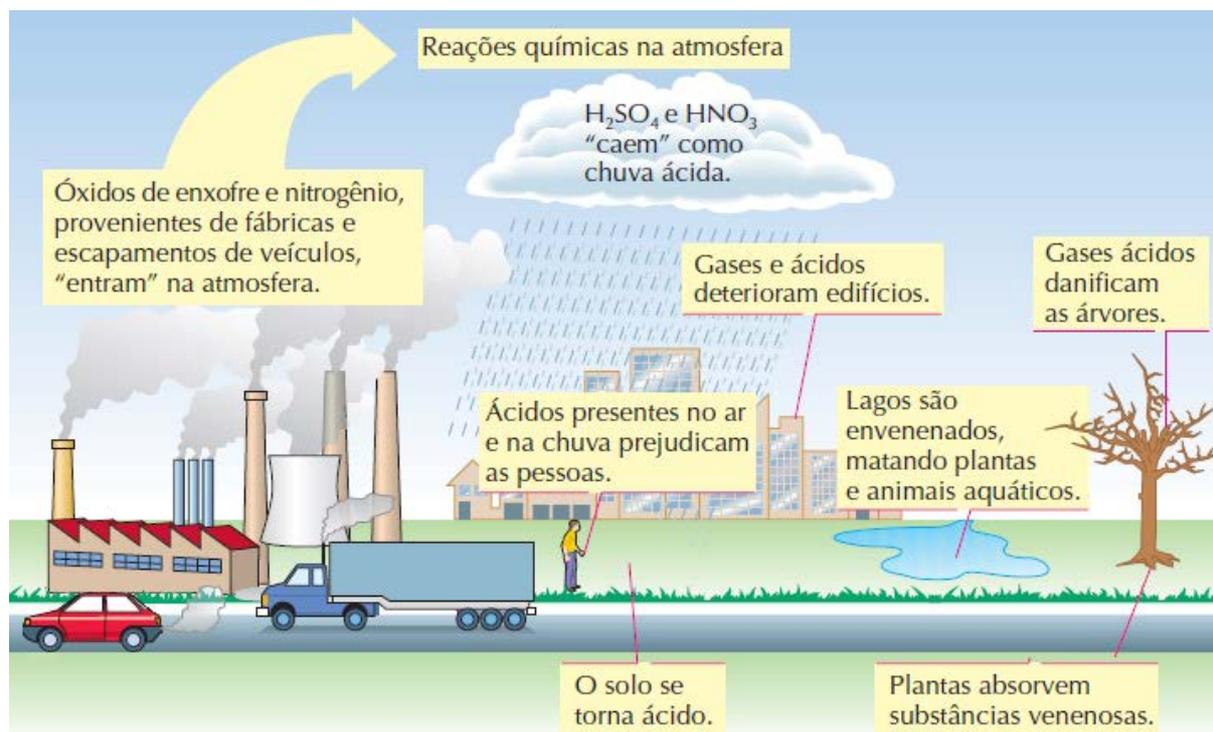


Figura 24- Ciclo da Chuva Ácida. Fonte: <http://www.suapesquisa.com/chuvaacida>.



Foto 25- A chuva ácida é capaz de corroer obras ditas como patrimônios históricos, o que gera a famigerada poluição visual. Como podemos observar nas imagens acima.

Os principais poluentes do ar e suas fontes a seguir têm origem nos processos de combustão:

Monóxido de Carbono (CO)

Composto gerado nos processos de combustão incompleta de combustíveis fósseis e outros materiais que contenham carbono em sua composição.

### Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

---

O Dióxido de carbono é o principal composto resultante da combustão completa de combustíveis fósseis e de outros materiais combustíveis que contenham carbono, além de ser gerado no processo de respiração aeróbia dos seres vivos, que utilizam o oxigênio para poder liberar a energia presente nos alimentos que são ingeridos.

### Óxido de Enxofre (SO<sub>2</sub> e SO<sub>3</sub>)

---

Os óxidos de enxofre são produzidos pela queima de combustíveis que contenham enxofre em sua composição, além de serem gerados em processos biogênicos naturais, tanto no solo quanto na água.

### Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>)

---

Considerando-se que a maior parte do sistema de combustão ocorre na presença de oxigênio, o mais comum é utilizar o oxigênio presente no ar para realizar esses processos. Pois no ar o composto mais abundante é o nitrogênio, então, verifica-se que a principal fonte dos óxidos de nitrogênio são os processos de combustão, além de ele poder ser gerado por processos de descargas elétricas na atmosfera.

### Oxidantes fotoquímicos

---

Os oxidantes fotoquímicos são compostos gerados a partir de outros poluentes (hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio), que foram lançados à atmosfera por meio da reação química entre esses compostos, catalisada pela radiação solar. Dentre os principais oxidantes fotoquímicos destacam-se o ozônio e o peróxi-acetil nitrato (PAN)

### Material Particulado (MP)

---

No caso de poluição atmosférica, entende-se por material particulado as partículas de material sólido e líquido capazes de permanecer em suspensão, como é o caso da poeira, da fuligem e das partículas de óleo, além do pólen. Esses contaminantes podem ter origem nos processos de combustão (fuligem e partículas de óleo) ou, então, ocorrem em consequência dos fenômenos naturais, como é o caso da dispersão do pólen ou da suspensão de material particulado em razão da ação do vento.

Os parâmetros adotados para se determinar a concentração de material particulado no ar são:

- **Poeira Total em Suspensão (PTS)**, definida como sendo o material particulado composto de partículas com diâmetro equivalente menor que 100µm;
- **Material Particulado Inalável (PM-10)**, composto de partículas com diâmetro equivalente menor que 10µm.

### Material particulado fino (PM<sub>2,5</sub>)

Fonte: [http://www.feam.br/Qualidade\\_Ambiental/Qualidade\\_do\\_Ar/monit\\_ar.htm](http://www.feam.br/Qualidade_Ambiental/Qualidade_do_Ar/monit_ar.htm)

Segundo os especialistas, esta é a menor porção respirável de particulado e também a mais agressiva e perigosa para a saúde. O fator determinante do efeito a saúde é o tamanho da partícula, devido a grande penetração e permanência no sistema respiratório. A maioria das partículas com diâmetro maior que 5µm se depositam nas vias aéreas superiores (nariz), traqueia e brônquios. Já as partículas menores que 5µm ou na medida que seu tamanho diminua de diâmetro possuem maior probabilidade de se depositarem nos brônquios e alvéolos.

Sua acumulação pode provocar os seguintes transtornos à saúde da população:

- Aumento da frequência de câncer pulmonar;
- Mortes prematuras;
- Sintomas respiratórios severos;
- Irritação dos olhos e nariz;
- Silicose;
- Asbetose;
- Agravamento da asma e de enfermidades cardiovasculares.

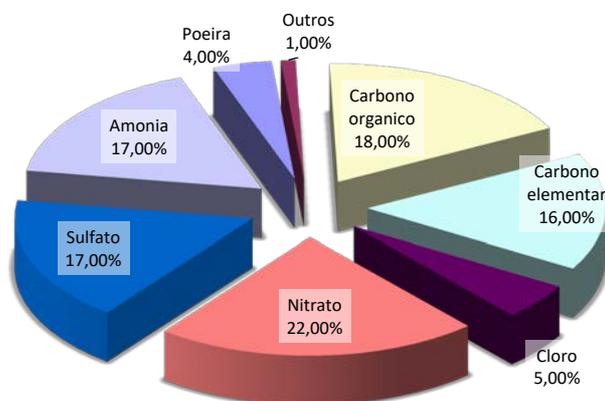


Gráfico 3- Composição do material particulado fino (PM2.5) → Fonte: Comisión Nacional del Medio Ambiente del Gobierno de Chile - <http://www.conama.cl/rm/568/channel.html>

Os particulados podem ser emitidos por equipamentos processadores, como reatores, estufas, fornos e secadores; por fontes industriais ou pela incineração de resíduos domésticos ou industriais. Também podem ser gerados durante os processos de britagem e moagem de materiais.

Principais particulados		
Alundo	Calcário	Carbeto de silício
Carbonato de cálcio	Caulim	Celulose
Cimento Portland	Coríndon	Dióxido de Titânio
Fécula	Fibra de algodão cru	Gesso
Gesso estuque	Grafite	Magnesita
Mica	Névoa de óleo mineral	Névoa de óleo vegetal
Poeiras de carvão mineral	Poeiras de grãos de cereais	Sílica Cristalina
Sílica Fundida	Terra Diatomácea	Voláteis do Piche de alcatrão de hulha

### Asbestos (amianto)

É um tipo de material particulado, que produz graves problemas de saúde associados à sua presença na atmosfera, sendo principalmente gerado durante a etapa de mineração do amianto ou, então, nos processos de beneficiamento desse material.

### Metais

Os metais também é um tipo de material particulado, associado aos processos de mineração, combustão de carvão e processos siderúrgicos.

### Gás Fluorídrico (HF)

Composto gerado nos processos de produção de alumínio e fertilizantes, bem como em refinarias de petróleo. Normalmente são gerados em processos que operam a altas temperaturas e nos quais são utilizadas matérias-primas que contenham flúor na sua composição.

Amônia (NH<sub>3</sub>)

As principais fontes de geração de amônia são as indústrias químicas e de fertilizantes, principalmente aquelas à base de nitrogênio, além dos processos biogênicos naturais que ocorrem na água ou no solo.

Gás Sulfídrico (H<sub>2</sub>S)

O gás sulfídrico é um subproduto gerado nos processos desenvolvidos em refinarias de petróleo, indústria química e indústria de celulose e papel, em virtude da presença de enxofre na matéria-prima processada ou, então, nos compostos utilizados durante esse processamento. O gás sulfídrico também é produzido por processos biogênicos naturais.



**Bhopal, Índia - O pior desastre químico da história - 1984-2002**

[http://greenpeace.org.br/bhopal/docs/Bhopal\\_desastre\\_continua.pdf](http://greenpeace.org.br/bhopal/docs/Bhopal_desastre_continua.pdf)

Na madrugada entre dois e três de dezembro de 1984, 40 toneladas de gases letais vazaram da fábrica de agrotóxicos da Union Carbide Corporation, em Bhopal, Índia. Foi o maior desastre químico da história. Gases tóxicos como o isocianato de metila e o hidrocianeto escaparam de um tanque durante operações de rotina. Os precários dispositivos de segurança que deveriam evitar desastres como esse apresentavam problemas ou estavam desligados.

Estima-se que três dias após o desastre 8 mil pessoas já tinham morrido devido à exposição direta aos gases. A Union Carbide se negou a fornecer informações detalhadas sobre a natureza dos contaminantes, e, como consequência, os médicos não tiveram condições de tratar adequadamente os indivíduos expostos. Mesmo hoje os sobreviventes do desastre e as agências de saúde da Índia ainda não conseguiram obter da Union Carbide e de seu novo dono, a Dow Química, informações sobre a composição dos gases que vazaram e seus efeitos na saúde.

Infelizmente, a noite do desastre foi apenas o início de uma longa tragédia, cujos efeitos se estendem até hoje. A Union Carbide, dona da fábrica de agrotóxicos na época do vazamento dos gases, abandonou a área, deixando para trás uma grande quantidade de venenos perigosos. A empresa tentou se livrar da responsabilidade pelas mortes provocadas pelo desastre, pagando ao governo da Índia uma indenização irrisória face a gravidade da contaminação.

Hoje, bem mais de 150.000 sobreviventes com doenças crônicas ainda necessitam de cuidados médicos, e uma segunda geração de crianças continua a sofrer os efeitos da herança tóxica deixada pela indústria.

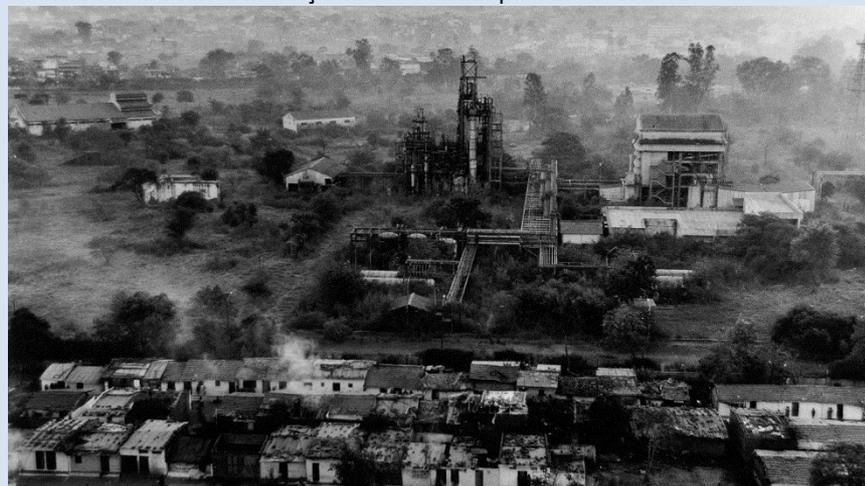


Foto 26- Union Carbide. Foto: Raghu Rai

## Hidrocarbonetos

Os hidrocarbonetos são resultantes da queima incompleta dos combustíveis, bem como da evaporação desses combustíveis e de outros materiais como, por exemplo, os solventes orgânicos.

### **HIDROCARBONETOS HALOGENADOS**

São hidrocarbonetos com substituição por halogênios que contém átomos de carbono, hidrogênio e halogênios nas moléculas. Estes compostos são formados quando átomos de hidrogênio de hidrocarbonetos são parciais ou totalmente substituídos por átomos de halogênios: flúor, cloro, bromo e iodo.

Embora a maioria dos hidrocarbonetos halogenados comumente usados seja líquido em temperatura e pressão ambiente, os compostos de baixo peso molecular como 1,2-difluoretano, brometo de metila ou cloreto de vinila são gases, enquanto aqueles de peso molecular mais alto, como o iodofórmio ou o hexacloronaftaleno, são sólidos. Hidrocarbonetos halogenados são usados como solventes, em extrações, como intermediários, e na fabricação de inúmeros produtos químicos de larga aplicação comercial.

Muitos fluorcarbonetos são usados como refrigerantes e em extintores de incêndio. Por causa dos riscos à saúde, muitos halocarbonetos anestésicos, usados no passado como anestésicos foram substituídos por compostos menos tóxicos.

A inflamabilidade dos hidrocarbonetos apresenta uma ampla variação.

Os hidrocarbonetos halogenados são compostos estáveis com baixa reatividade. São pequenos os riscos de explosão e há poucos casos registrados. Estes compostos podem reagir violentamente com metais alcalinos e oxidantes fortes, especialmente no aquecimento. Explosões podem ocorrer quando misturas são aquecidas ou sujeitas a impactos.

Em geral, eles apresentam baixa toxicidade aguda. A intoxicação por inalação é maior para compostos gasosos ou líquidos voláteis. Os riscos à saúde causados pela exposição a estes compostos podem ser decorrentes de suas ações anestésicas; efeitos nocivos ao fígado e rins; e em caso de alguns compostos, carcinogenicidade.

Os sintomas tóxicos são torpor, falta de coordenação, anestesia, hepatite e necrose do fígado. Vapores podem causar irritação nos olhos e vias respiratórias. A morte pode resultar da parada cardíaca devido à exposição prolongada a altas concentrações. A ingestão pode produzir náusea, vômito e lesões no fígado.

### **HIDROCARBONETOS ALIFÁTICOS E ALICÍCLICOS**

Hidrocarbonetos é uma classe importante de compostos orgânicos constituídos somente de carbono e hidrogênio e são amplamente distribuídos na natureza. Estas substâncias ocorrem em produtos do petróleo, óleo e graxa, gases naturais, carvão mineral e alcatrão de carvão, e gases terrosos profundos.

A toxicidade dos hidrocarbonetos alicíclicos ou alifáticos em seres humanos e animais é muito baixa. Os compostos gasosos são atóxicos e simples asfixiantes. A presença de uma ligação dupla ou tripla na molécula ou de uma cadeia fechada não intensifica a toxicidade dos hidrocarbonetos, especialmente os de menor cadeia carbônica. Estes gases são narcóticos apenas nos casos de altas concentrações no ar.

Os hidrocarbonetos de maior cadeia carbônica, que são líquidos em condições ambientais, são também de baixa toxicidade, produzindo efeitos anestésicos apenas em altas doses. O 1,3-butadieno é o único hidrocarboneto de cadeia aberta de aplicação comercial, que foi registrado como causador de câncer.

**HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS**

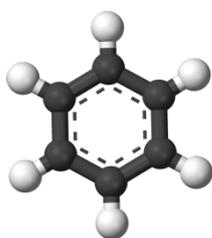
Os aromáticos são uma classe de hidrocarbonetos que tem estruturas com anéis de benzeno. Eles ocorrem no petróleo e seus derivados como carvão e alcatrão. Os compostos mononucleares, benzeno e alquilbenzeno, são amplamente usados como solventes e como matéria prima para várias substâncias químicas, o composto polinucleares são de pouca utilização comercial.

Muitos poliaromáticos são carcinogênicos, é motivo de atenção sua onipresença no meio ambiente.

A toxicidade aguda dos aromáticos mononucleares é baixa. A inalação de vapores em altas concentrações no ar pode causar narcose com sintomas de alucinação, excitação, euforia, percepção distorcida e dor de cabeça. Em casos de intoxicação grave estes efeitos podem progredir para depressão, estupor e coma.

O benzeno é o único aromático nuclear com possível carcinogenicidade. Muitos hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (PAH) podem causar câncer, afetando uma variedade de tecidos.

**BENZENO**



O benzeno ocorre no carvão, nos produtos oriundos da destilação do alcatrão e nos produtos de petróleo, como a gasolina. É também encontrado em gases e na lixívia de aterros sanitários utilizados para disposição de efluentes industriais, entulho de construções urbanas e pesadas. Quantidades pequenas de benzeno, tolueno, xilenos e outros foram encontrados em solos e águas subterrâneas perto de muitos aterros sanitários.

Ele é usado como um solvente para ceras, resinas e óleos: como um removedor de pintura; como solvente para lacas; na fabricação de corantes, produtos farmacêuticos, vernizes, e óleos de linhaça; e como matéria prima para produção de uma variedade de compostos orgânicos.

O benzeno é um tóxico tanto agudo como crônico. Os efeitos tóxicos por inalação, ingestão e contato com a pele variam de baixos a moderados. Os sintomas em seres humanos são alucinação, percepção distorcida, euforia, sonolência, náusea, vômito e dor de cabeça.

O benzeno irrita os olhos, nariz e vias respiratórias. A intoxicação crônica é mais grave que a aguda, e os alvos são o sangue, medula óssea, sistema respiratório e sistema nervoso central, além dos olhos e da pele. Fortes exposições podem causar depressão da medula e anemia e em alguns raros casos leucemia.

O benzeno forma misturas explosivas com o ar e reage violentamente com os halogênios e outras substâncias oxidantes.

Para sua eliminação, ele pode ser queimado por um incinerador químico equipado com um queimador de saída e um lavador de gases. Na água e efluentes pode ser destruído pela oxidação com peróxido de hidrogênio catalisada por UV.

**Outros Poluentes**

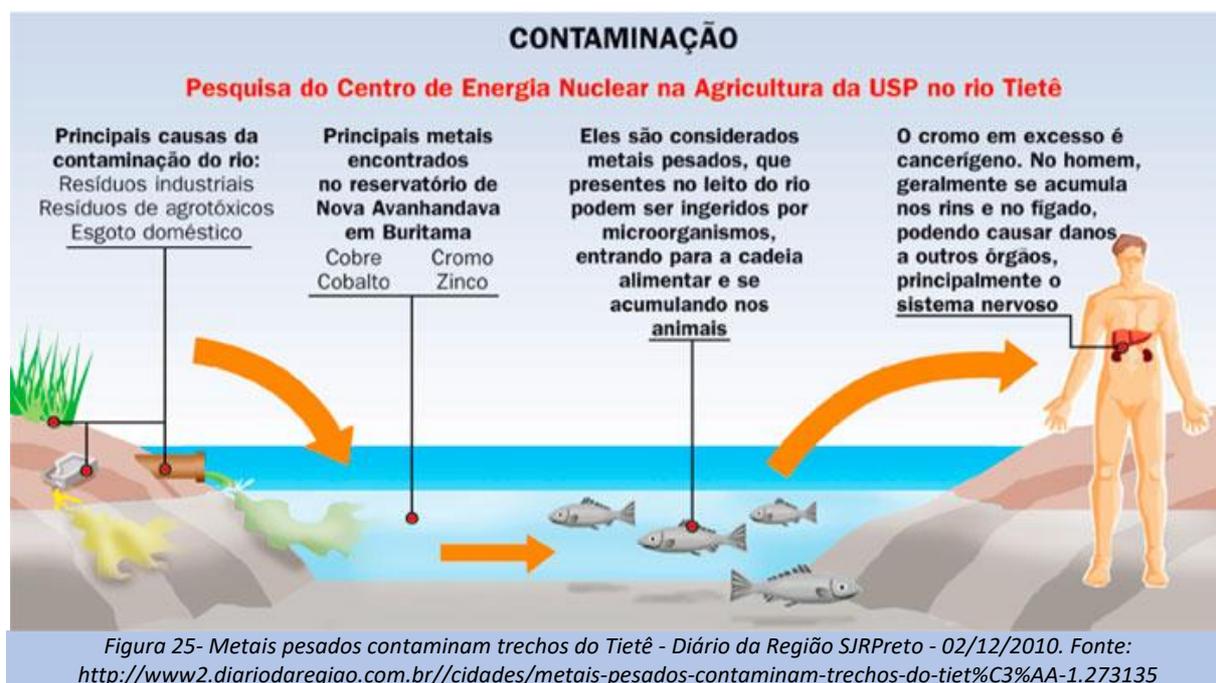
**Pesticidas e Herbicidas**

Pesticidas são agentes químicos usados para controlar a ocorrência de pestes, ou seja, substâncias usadas pelo homem para matar, controlar organismos indesejáveis. Estão excluídos deste termo os organismos patogênicos como bactérias, vírus e protozoários. Mais de 1500 produtos químicos são usados como ingredientes ativos em pesticidas. Estas substâncias integram milhares de formulações ou produtos que são comercializados em todo o mundo.

Pesticidas podem ser classificados de acordo com suas funções. Tal classificação abrange alguns termos comuns, como os seguintes:

Acaricida	→	eliminam ácaros
Algicida	→	eliminam algas
Avicida	→	matam aves
Desfolhante	→	provocam a queda de folhas da vegetação
Fungicida	→	eliminam fungos
Herbicida	→	eliminam vegetações indesejáveis
Inseticida	→	eliminam insetos
Limicida	→	eliminam limo
Moluscida	→	mata lesmas, mariscos e ostras
Ovicida	→	destrói ovos
Piscicida	→	matam peixes
Repelente	→	repelem insetos
Rodenticida	→	eliminam roedores

Embora pesticidas sejam usados para matar organismos alvo específicos, eles não são inteiramente seletivos e frequentemente causam efeitos adversos em outras espécies, indistintamente. Uma vez que todos os pesticidas são, de modo geral e dentro de certa extensão, tóxicos para outras espécies distintas das espécies alvo, seu resíduo presente no meio ambiente pode contaminar plantações, alimentos, ar e águas subterrâneas e produzir efeitos nocivos em seres humanos e animais.



Os pesticidas podem ser classificados de acordo com suas estruturas químicas:

**Pesticidas Organoclorados:** O termo refere-se, usualmente, a uma ampla faixa de produtos químicos, que contém cloro, as propriedades tóxicas dos organoclorados são diferentes e refere-se a muitas substâncias orgânicas halogenadas que estão sendo usadas em formulações de pesticidas.

Principais pesticidas organoclorados			
Aldrin	DDT	Heptaclor	p,p'-DDD
Clorbenside	Dieldrin	Kepona	p,p'-DDE
Clordano	Endossulfan	Lindano	Pertano
Clorobenzilato	Endrin	Metoxiclor	Toxafeno
Clorofacinona	Estrobano	Mirex	



Figura 26- Nossa Dose de Veneno. Fonte: [http://www.biodiversidadla.org/Principal/Secciones/Noticias/Brasil\\_os\\_desafios\\_da\\_campanha\\_contra\\_os\\_agrotoxicos](http://www.biodiversidadla.org/Principal/Secciones/Noticias/Brasil_os_desafios_da_campanha_contra_os_agrotoxicos)

**Pesticidas Organofosforado ou Organofosfato:**

Muitos casos de envenenamento e de óbito já foram atribuídos aos inseticidas organofosforados. O primeiro composto desta série, ou seja, o pirofosfato de tetraetila foi sintetizado durante a segunda guerra mundial, que levou ao desenvolvimento de gases de nervos, extremamente tóxicos, usados como arma química. As ações bioquímicas causam a inibição da função da enzima, acetilcolinesterase, que provoca a rápida hidrólise da acetilcolina, esta é o transmissor químico dos impulsos nervosos em muitas partes do sistema.

Principais pesticidas organofosforado			
Abate	Clorpirifos	Diclorvos	Malation
Amiton	Coumafos	Dicrotofos	Mevinfos
Azinfos Metil	Demeton	Dimefox	Monocrotofos
Carbofention	Demeton-S-Metil	Dimetoato	Nemafos
Cianofos	Dialifor	Fonofos	Paration
Clorfenvinfos			

### Agentes do mal

Resíduos de poluentes orgânicos persistentes (POPs) são nocivos à saúde e ao meio ambiente. Eles permanecem por décadas na terra, no ar e na água. Seus efeitos deletérios afetam o sistema nervoso central, causam câncer e doenças endócrinas. O grau de poluição no homem brasileiro será avaliado por meio do leite materno, a matriz mais confiável em exatidão de resultados. Veja como será o processo de coleta do produto e a lista dos POPs que devem ser controlados, reduzidos ou banidos no Brasil.

- O Plano de Monitoramento Global de Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) é um tratado internacional, que tem por objetivo analisar os POPs listados na Convenção de Estocolmo em ar, sangue e leite humano, como instrumento de avaliação da eficácia das medidas de controle nacionais desses poluentes.
- O Brasil escolheu o leite humano por ser um marcador ideal de medição dos níveis de agressão à natureza e ao homem pelos POPs.
- Serão selecionadas 50 mães primíparas (com filhos menores de 1 ano) em 15 estados (ou cidades) brasileiros para medir o nível de poluição nas amostras do leite materno.
- Ao fim da pesquisa, o material coletado será enviado pela equipe da Escola Nacional de Saúde Pública da Fiocruz a um laboratório de referência na Alemanha, recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS).
- É preciso observar que os danos à saúde humana ocorrem durante a gestação e não durante a fase de amamentação.
- As mães possuem naturalmente o que os especialistas chamam de "barreira mamária", uma espécie de rede de proteção, formada por células de defesa, que não deixa vazar substâncias danosas à saúde da criança no ato da amamentação; e, mesmo se vazar isso, ocorre em quantidade insignificante.
- Com a ação dessa barreira, cujos efeitos pró-bióticos já são mais que comprovados, a criança torna-se imune a patógenos ambientais.
- O programa de monitoramento dos POPs levará em conta o grau de contaminação da natureza e do homem causado por uma combinação fatal: o uso de agrotóxicos, indústrias, produtos químicos e lixo orgânico. Um exemplo é a queima de pneus a céu aberto, que vai além da poluição do ar — dioxinas e furanos emitidos pelo processo de combustão provocam câncer e afetam a vida silvestre.

### Inventário dos poluentes

Inicialmente, a Convenção de Estocolmo escolheu 12 POPs como prejudiciais ao ecossistema e ao ser humano. Eles podem ser divididos em três categorias:

- Pesticidas:** aldrin, clordano, DDT, dieldrin, endrin, heptacloro, hexaclorobenzeno, mirex, toxafeno
- Produtos químicos industriais:** hexaclorobenzeno, bifenilas policloradas (PCBs)
- Subprodutos:** hexaclorobenzeno, dibenzo-p-dioxinas e dibenzofuranos policlorados (PCDD / PCDF), e PCB.

Em sua quarta reunião, realizada de 4 a 8 de maio de 2009, a Convenção de Estocolmo elegeu mais produtos químicos como poluentes orgânicos persistentes. São eles:

- Pesticidas:** clordecona, alfa hexaclorociclohexano, beta hexaclorociclohexano, Lindano, pentaclorobenzeno;
- Produtos químicos industriais:** éter, hexabromobifenilo hexabromodifenílico e éter heptabromodifenil, pentaclorobenzeno, ácido sulfônico perfluoro octano, seus sais e fluoreto de sulfonil perfluoro octano, éter tetra bromo difenil e éter penta bromo difenilico
- Subprodutos:** alfa hexaclorociclohexano, beta hexaclorociclohexano e pentaclorobenzeno

Thiago Fagundes/CB/D.A Press Fontes: Fiocruz/MMA/Convenção de Estocolmo

Pesticidas Carbamatos:

A intoxicação causada por carbamatos é relativamente curta, embora possa ser grave e os sintomas bem semelhantes àqueles provocados pelos ésteres de fosfato. Os pesticidas de carbamatos têm toxicidade mais alta do que a maioria dos herbicidas de tiocarbamato. Entretanto, a toxicidade oral aguda varia grandemente.

Principais pesticidas carbamatos			
Aldicarb	Bufencarb	Metolcarb	Profam
Aldoxicarb	Carbaril	Metomil	Promecarb
Barban	Carbofurano	Mexacarbato	Propoxur
Bendiocarb	Isolan	Pirimicarb	Trimetacarb
Benomil			

## Fenóis

Os fenóis são uma classe de compostos orgânicos que contém o grupo hidroxila (-OH) ligada aos anéis aromáticos. São amplamente utilizados na indústria, pois apresentam toxicidade relativamente superior quando comparada às outras classes de compostos orgânicos. Os compostos fenólicos podem ser divididos em três classes de aplicações comerciais que são: fenóis alquílicos, clorofenóis e nitrofenóis. A maioria deles, apesar de seguir caminhos diferentes metabólicos e padrões toxicocinéticos, apresentam um alto grau de toxicidade.

Principais pesticidas fenólicos			
2,4-Dinitrofenol	Pirocatecol	2-Naftol	Pentaclorofenol
4,6-Dinitro-o-Cresol	Resorcinol	Cresol	Pirogalol
Fenol			

## Bifenilas Policloradas

As bifenilas policloradas (PCB) tem ótimas propriedades físicas e químicas, como alta estabilidade, constante dielétrica, temperatura de ebulição, e resistência a chamas altas, devido a isso foram amplamente utilizadas em óleos transformadores, capacitores, fluidos hidráulicos e óleos lubrificantes. São também usados como plastificantes e adesivos e em tintas para impressão e retardantes de chamas. Entretanto, atualmente a sua produção foi drasticamente reduzida por suas propriedades nocivas à saúde.

Os PCB contaminaram largamente o ecossistema, ocorrendo de forma generalizada no meio ambiente. Eles já foram detectados em embalagens de alimentos, ração animal e encontrados em solos e sedimentos.

As bifenilas policloradas são moderadamente tóxicas sobre as quais já se descobriu serem causadoras de câncer em animais e de induzir defeitos de nascimento. A exposição ocupacional manifesta um grande número de adversidades à saúde, atingindo a pele, olhos, mucosas e sistemas digestivos e neurológicos. A gravidade dos riscos depende da concentração de cloro dos PCB.

## Metais Pesados

As propriedades físicas, químicas e toxicológicas dos metais mostram uma ampla variação. A toxicidade de muitos sais alimentícios pode ser atribuída aos íons metálicos, pois que os sais se dissociam em seus íons. Entretanto, o mesmo não é verdade para substâncias organometálicas. Estas últimas podem ter propriedades diferentes daquelas apresentadas pelos compostos inorgânicos dos mesmos metais. Por exemplo, as propriedades tóxicas dos sais de mercúrio são diferentes dos compostos de mercúrio alquílico. Assim, o grau de ionização e o caráter covalente no composto têm um papel significativo.

Elementos do mesmo grupo podem ser significativamente diferentes com relação à suas propriedades tóxicas. Os metais pesados de um grupo não são apenas mais tóxicos do que os mais leves, suas propriedades tóxicas podem também ser bem diferentes. Além disso, a natureza e grau de toxicidade podem variar muito de acordo com o estado físico do metal ou de seus compostos e das vias de exposição. Por exemplo, a inalação crônica de pós-finos de praticamente qualquer metal, pode causar sérias doenças pulmonares.

Por outro lado, a ingestão de soluções líquidas de sais solúveis dos mesmos metais pode afetar o trato gastrointestinal ou outros órgãos alvo, produzindo efeitos tóxicos completamente diferentes. Portanto,

não é muito prudente classificar os metais tóxicos sob um único título, pois que pode haver pouca ou nenhuma correlação entre as suas propriedades tóxicas.

É preciso notar que muitos metais tóxicos, em pequenas quantidades, são também essenciais para o corpo. A ausência deles na dieta pode causar várias síndromes de deficiência e adversidades à saúde. Por outro lado, o consumo exagerado pode levar a sérias reações adversas. Alguns metais têm sido usados na medicina. Apesar de seus efeitos benéficos, o consumo excessivo destes metais e de seus sais pode provocar sérias intoxicações.

As características toxicológicas que podem ser comuns a muitos metais são:

- **Enzimas:** A toxicidade dos metais pode ser evidenciada a partir de suas ações sobre enzimas. Muitos metais podem inibir enzimas:
  - Ao interagir com o grupo SH da enzima;
  - Deslocar um cofator metálico essencial da enzima e
  - Inibir a síntese da enzima.

Assim, tais metais, como o níquel e a platina, podem afetar a síntese do heme<sup>38</sup>. Também as ações dos metais podem variar largamente, bem como o grau de suscetibilidade das enzimas com relação aos metais.

- **Organelas:** As organelas subcelulares são outros pontos de reação dos metais. Um metal pode penetrar na célula e reagir com componentes intracelulares.

Principais Metais Tóxicos			
Antimônio	Chumbo	Mercúrio	Tálio
Arsênio	Cobalto	Níquel	Telúrio
Bário	Cobre	Prata	Zinco
Berílio	Cromo	Selênio	Zircônio
Cádmio	Manganês		

### Solventes Industriais

Várias substâncias orgânicas têm sido usadas como solventes de um grande número de compostos. Embora os efeitos tóxicos da maioria dos solventes sejam de baixa intensidade, as exposições crônicas ou altas doses podem causar intoxicação que variam de moderada a grave. A maioria dos solventes é inflamável ou são líquidos combustíveis cujos vapores formam misturas explosivas com o ar. Além da toxicidade e da inflamabilidade, incluem-se entre as qualidades nocivas pertinentes a muitos dos solventes comuns:

- Retrocesso de chama de vapores vindos de uma fonte de ignição para os recipientes;
- Formações de peróxidos na estocagem prolongada, especialmente com compostos contendo um grupo funcional éter; como éter etílico, e

<sup>38</sup> Hemo ou heme é um grupo prostético que consiste de um átomo de ferro contido no centro de um largo anel orgânico heterocíclico chamado porfirina. O grupo hemo possui um átomo de ferro ferroso "Fe<sup>++</sup>" para exercer a função de ligação com o oxigênio em células sanguíneas, parte se liga a um resíduo de histidina da globina e outra a uma molécula de oxigênio, a mioglobina possui um grupo heme na sua cadeia polipeptídica a hemoglobina possui quatro grupos heme. A sua ligação com oxigênio depende de uma pressão parcial de oxigênio determinada como P que corresponde a 50% dos seus sítios de ligações, a hemoglobina precisa de um P igual a 26mmHg para ocupar 50% dos seus sítios; a mioglobina como possui apenas um grupo heme, requer 1mmHg para ocupar P. Por isso sua importância, durante uma atividade física a concentração de oxigênio diminui e essas moléculas deixam a hemoglobina por essa diminuição de P, a mioglobina capta essas moléculas e transporta para os tecidos. O succinato proveniente da descarboxilação do alfa cetoglutarato em conjunto com a glicina são as moléculas chave para a formação do grupo heme.

- Formações de complexos solvatados sensíveis ao impacto com muitos percloratos metálicos.

Principais Solventes Tóxicos			
1,4-dioxano	1-butanol	1-propanol	2-butanol
2-propanol	Acetal	Acetamida	Acetato de etila
Acetato de isopropila	Acetato de metila	Acetato de n-Butila	Acetato de n-propila
Acetil Acetona	Acetofenona	Acetona	Acetonitrila
Anilina	Benzeno	Bromobenzeno	Ciclohexano
Ciclohexanol	Ciclohexeno	Ciclohexilamina	Ciclopentano
Cloreto de metileno	Clorofórmio	Dissulfeto de carbono	Etanol
Éter de petróleo (Ligroína)	Éter etílico	Éter isopropílico	Éter monobutílico de etileno glicol
Éter monobutílico de etileno glicol	Éter monoetílico de etileno glicol	Éter monoisopropílico de etileno glicol	Etilbenzeno
Etilenodiamina	Formiato de etila	Formiato de metila	Ftalato de dietila
Ftalato de dimetila	Isobutanol	Isooctano	Metanol
Metilbutilcetona	Metiletilcetona	Metilisobutilcetona	Metilpropilcetona
Morfolina	n- heptano	n- hexano	n- hexanol
Nitrobenzeno	n-octano	n-pentano	Piridina
Solvente Stoddard	Tetracloroeto de carbono	Tetrahidrofurano	Tolueno
Trifluoreto de Bromo	Xileno		

### 3. Avaliação da Exposição: Rotas de Exposição

#### 3.1. AVALIAÇÃO DAS ROTAS DE EXPOSIÇÃO

##### 3.1.1. Fontes e emissões de contaminação

###### Identificação das fontes de contaminação →

- Tambores
- Áreas abertas de incineração
- Tanques
- Áreas de detonação
- Resíduos enterrados
- Campos de aviação e áreas de treinamento de tiro
- Chaminés e respiradouros
- Pilhas de resíduos
- Aterros sanitários
- Vazamentos
- Lagoas
- Fossas ou valas de disposição
- Reservatórios
- Manilhas e canos de esgoto

###### Informação das fontes de contaminação →

- Histórico do local
- Período de operação
- Controle da fonte ou ações de remediação
- Outras fontes

###### Identificação dos meios afetados →

- Águas subterrâneas
- Solos superficiais e de sub-superfície
- Sedimentos
- Águas de superfície
- Ar
- Gás do solo
- Cadeia alimentar (biota)
- Lama, lixiviados, materiais residuais

###### Identificação dos perigos físicos →

### *Avaliação das Rotas de Exposição*

Uma das principais etapas da avaliação de saúde pública, a ser implementada já no início do processo, é a avaliação das rotas de exposição. Seu objetivo é identificar possíveis exposições, específicas da área em questão, e responder às seguintes perguntas: Há alguém exposto a uma contaminação ambiental em um determinado local? Em que condições está ocorrendo essa exposição?

O processo global de avaliação das rotas de exposição é mostrado no fluxograma 03. Nela, percebe-se que o avaliador analisa as rotas de exposição *antes* de levar a cabo a avaliação dos efeitos sobre a saúde. Trata-se de uma ordem lógica visto que extensas avaliações dos efeitos sobre a saúde não serão necessárias se as pessoas não entrarem em contato com a contaminação ambiental. Ao ler este capítulo, deveremos ter em mente, que da avaliação das rotas de exposição emergirão, posteriormente, as informações para a avaliação dos efeitos sobre a saúde, caso esta tenha de ser realizada. Especificamente, uma avaliação minuciosa das rotas de exposição deveria definir os pontos de exposição, as concentrações da contaminação ambiental e as populações potencialmente expostas.

Cada área encerra seus próprios desafios e cenários de exposição. Ao avaliador caberá estudar os fatores que poderão potencializar, impedir ou modificar as exposições à contaminação ambiental. Os profissionais de saúde ambiental usam as "**rotas de exposição**" com vistas a estimar os mecanismos específicos que levam as pessoas a entrarem em contato com uma contaminação ambiental.

Como demonstra o diagrama 04, uma rota de exposição constitui o elo entre as emissões no meio ambiente e a população local que poderá vir a estabelecer contato com o contaminante ambiental, ou ser exposta a ele. Uma avaliação da rota de exposição, portanto, determinará se as populações locais estiveram, estão ou estarão em contato com os contaminantes existentes na área em questão.



Foto 27- Cerca de 760 mil pessoas morrem todos os anos no país asiático devido à poluição do ar, da água e da terra. Fonte: <https://www.taringa.net/posts/ecologia/8694167/9-desastres-naturales-provocados-por-el-hombre.html>

### Os Cinco Elementos de uma Rota de Exposição

<b>Elemento 1:</b>	<b>Fonte de liberação do contaminante.</b> As fontes incluem tambores, aterros sanitários, e muitas outras que podem liberar contaminantes em vários meios.
<b>Elemento 2:</b>	<b>Destino e mecanismos de dispersão ambiental.</b> Uma vez liberados no ambiente, os contaminantes se deslocam por e através de diferentes meios e alguns terminam por degradar-se completamente.
<b>Elemento 3:</b>	<b>Ponto ou área de exposição.</b> Trata-se do local específico onde às pessoas poderão entrar em contato com o meio contaminado.
<b>Elemento 4:</b>	<b>Via de exposição.</b> A via é a forma pela qual as pessoas entram fisicamente em contato com a contaminação ambiental no ponto de exposição (por ingestão, inalação ou contato dérmico, p.ex.).
<b>Elemento 5:</b>	<b>Populações potencialmente expostas.</b> Trata-se da Identificação e caracterização da população que poderá estabelecer ou já estabeleceu contato com os contaminantes.

Esses cinco elementos determinam, em grande parte, até que ponto a exposição ocorreu, está ocorrendo ou poderá ocorrer no futuro, na área de interesse ou em seus arredores. Mesmo que o avaliador possa considerar que certos elementos merecem uma avaliação mais profunda do que outros, a revisão desses componentes ajudará a identificar certas exposições que exigirão investigações adicionais para uma avaliação de saúde pública. Os **cinco elementos** de uma rota de exposição, como um todo, devem estar presentes para configurar uma rota "**completa**". Cabe observar, porém, que uma rota completa de exposição não pressupõe, necessariamente, a existência de um perigo à saúde pública. Ao contrário, condições específicas de exposição, tais como as vias e as doses, precisam ser examinadas cuidadosamente para que se possam avaliar as possíveis implicações da exposição sobre a saúde.

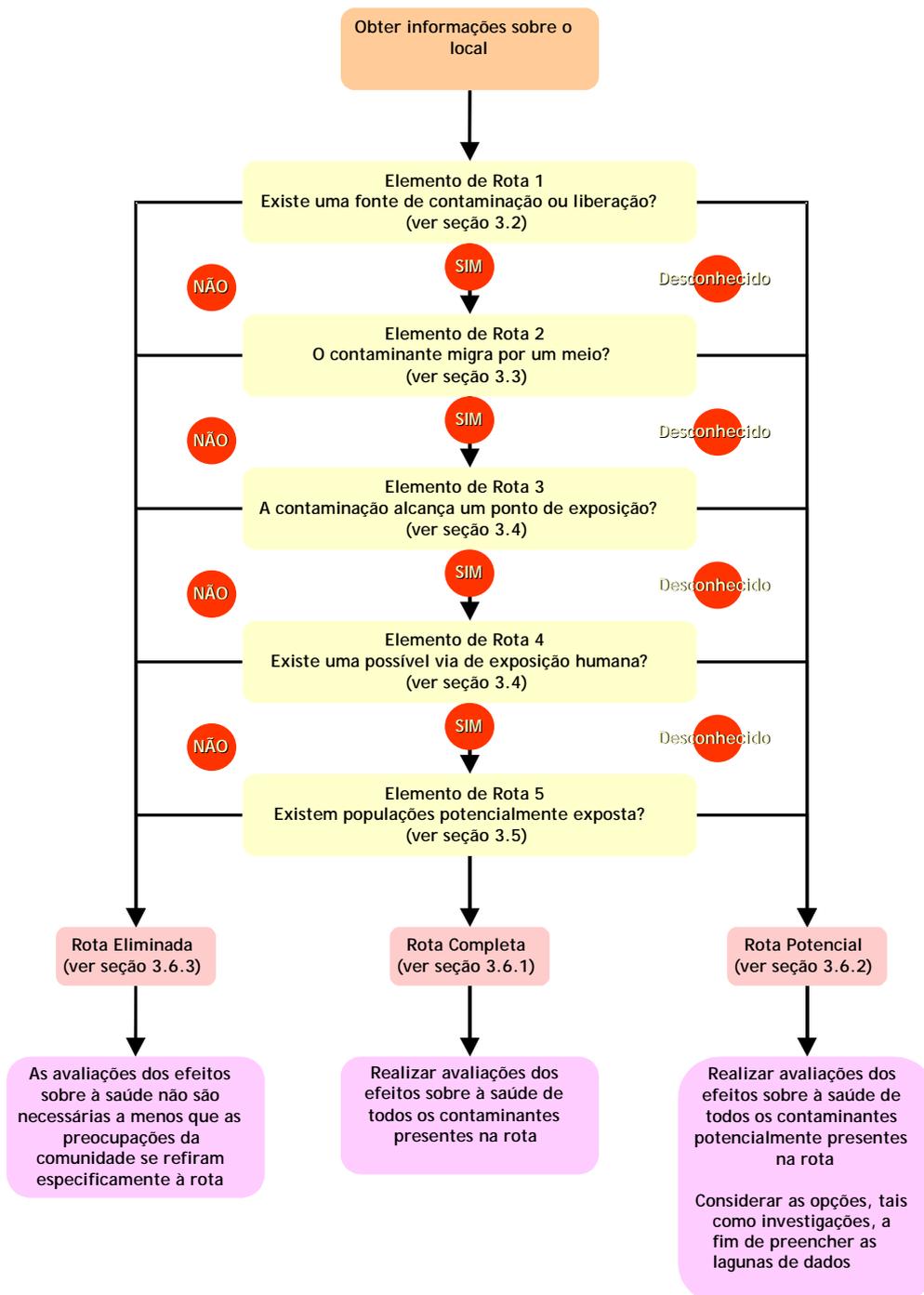


Figura 27- Avaliação das Rotas de Contaminação. Fonte: ATSDR – Fluxograma: CVS/SAMA/GTSolo/fcampos

**Desenvolvimento de um Modelo Conceitual de um Cenário**

Pessoas diferentes têm modos distintos de avaliar rotas de exposição nos locais, mas existe um enfoque comum a todos que envolve o desenvolvimento de um modelo conceitual para auxiliar o avaliador a melhor perceber como uma pessoa poderá entrar em contato com um meio contaminado. Independentemente das nuances de cada local de interesse, esse modelo vai, em última análise, ajudar a visualizar o deslocamento dos contaminantes no ambiente e o modo pelo qual as pessoas podem entrar em contato com eles.

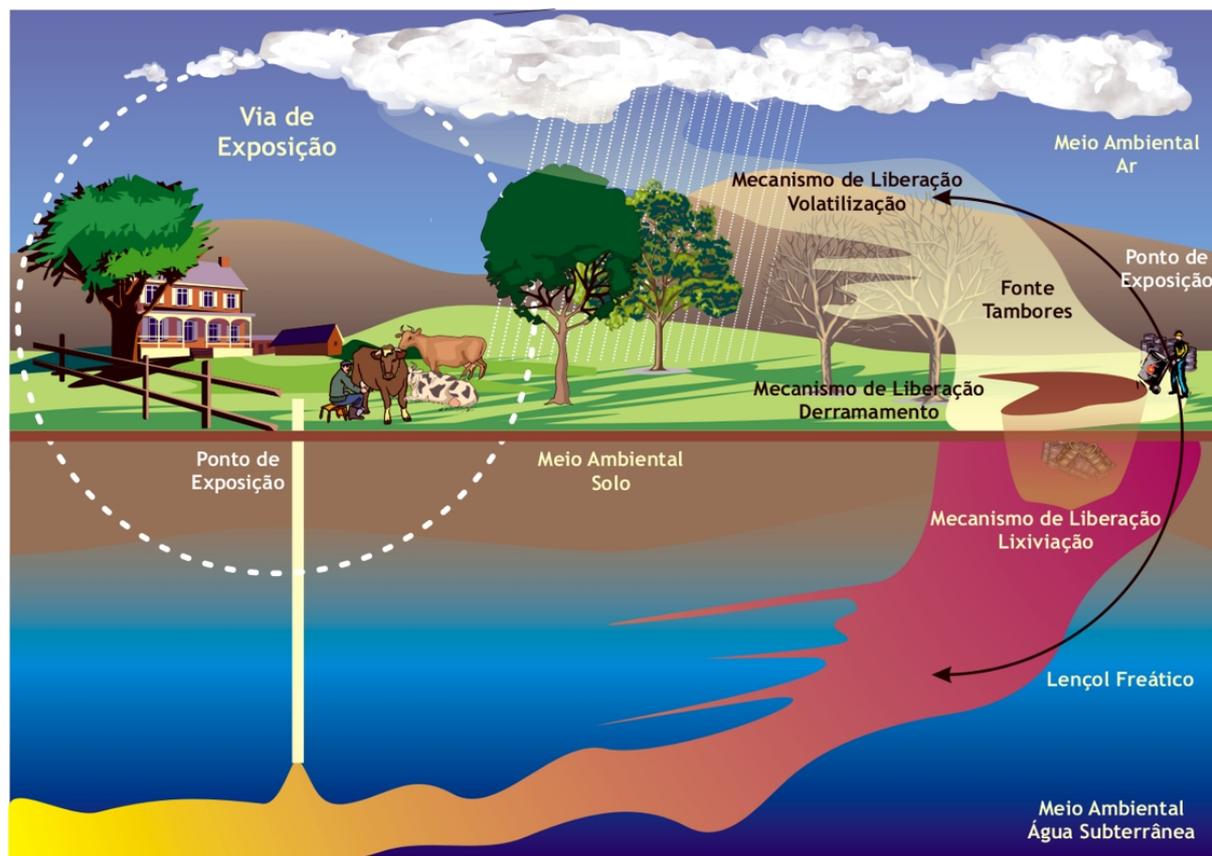


Figura 28- Modelo Conceitual de um Cenário de Exposição - Esquema de uma Rota de Exposição. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/fcampos

A figura acima mostra um diagrama básico de modelo conceitual para um local contendo uma pilha de tambores de resíduos. O desenho mostra as várias formas de deslocamento dos contaminantes partindo da fonte, percorrendo o meio e alcançando os pontos de exposição. Naturalmente, o modelo de uma área específica dependerá exclusivamente das condições presentes no local. Se a pilha de tambores, por exemplo, estivesse em um aterro sanitário revestido e dispendo de controle de lixiviados, os contaminantes possivelmente não penetrariam nas águas subterrâneas e se dispersariam na área.

A informação apresentada na próxima figura é uma outra maneira de representar um modelo conceitual de local para uma pilha de tambores. Esse tipo de diagrama apresenta de modo mais explícito, alguns fatores que devem ser considerados no momento da análise das rotas de exposição na área em questão:

Quais foram os meios afetados? Que meios transportam os contaminantes da fonte até os pontos de exposição? Onde estão situados os pontos de exposição? Quais são as populações potencialmente expostas? Não obstante, contar com um modelo conceitual pormenorizado é de grande ajuda durante essas avaliações.

O desenvolvimento de um modelo conceitual de um local já no início do processo de avaliação de saúde pública ajudará o avaliador a priorizar as avaliações das rotas. Considere-se, por exemplo, um aterro sanitário fora de operação com uma área residencial em um terreno imediatamente adjacente. Os aterros geralmente produzem certo nível de contaminação, quer nas águas subterrâneas quer no gás do solo. Se as informações compiladas no princípio do processo já indicarem que o sistema municipal de abastecimento de água para as casas provém de um reservatório situado a algumas milhas de distância, a pesquisa das rotas de contaminação dos lençóis subterrâneos deixa de ser uma prioridade. Se, por outro lado, as medições de gás do solo indicarem a existência de níveis de metano muito acima dos limites de explosão, a possibilidade de migração dos gases inflamáveis em direção às

casas vai exigir uma investigação imediata. Portanto, ao desenvolver de início um modelo conceitual de um local e revisitando-o periodicamente, o avaliador poderá garantir o tratamento das principais questões de saúde pública de forma oportuna.

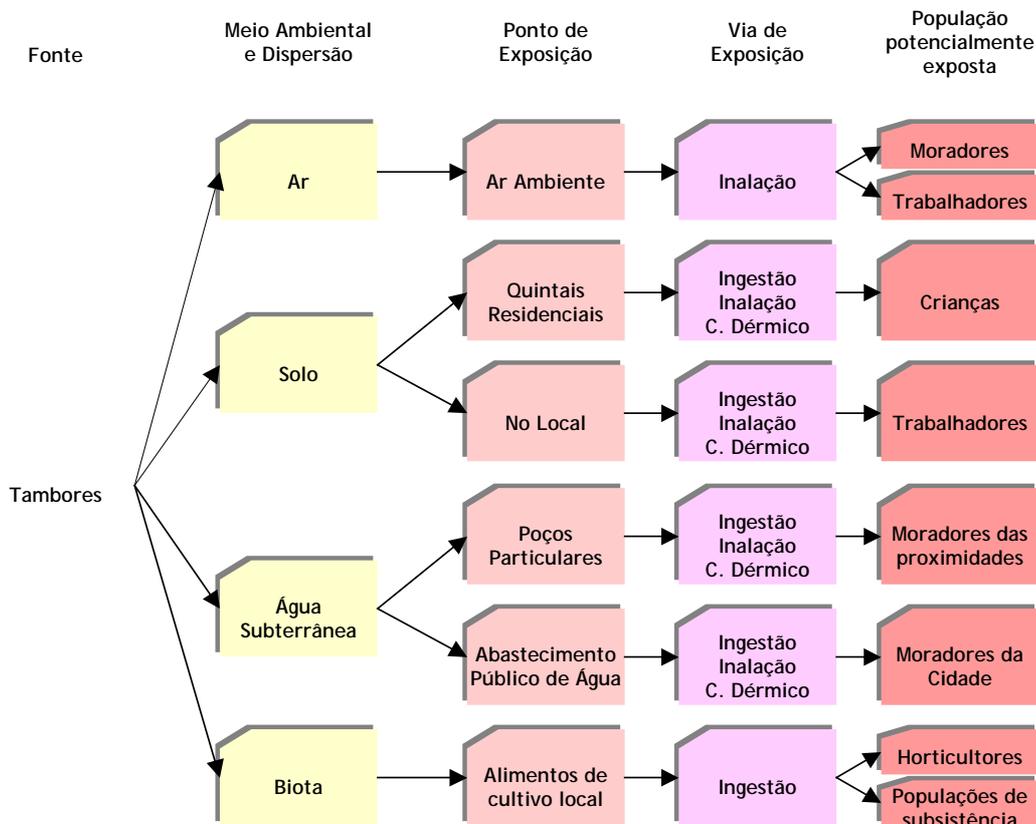


Figura 29- Avaliação de uma Rota de Exposição – Fonte: ATSDR – fluxograma: CVS/SAMA/GTSolo/fcampos

### Identificação das Fontes de Contaminação

A **fonte de contaminação** constitui, tal como assinala o termo, a origem da contaminação ambiental. A identificação de possíveis fontes de contaminação ajuda a determinar quais os meios ambientais podem ser afetados e como as substâncias perigosas poderão chegar até uma população local ou próxima do local. Exemplos de fontes de contaminação incluem, porém não se limitam, aos seguintes:

**Pilhas de resíduos**  
Foto 28- Tambores armazenados ao ar livre sem identificação.  
Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/eprete



**Tambores**

Foto 29-  
Tambores com  
resíduos  
abandonados.

Fonte:  
CVS/SAMA/  
GTSolo/eprete



**Áreas abertas  
de incineração**

Foto 30-  
Incinerador de  
resíduos químicos  
nas proximidades  
de área  
residencial. Fonte:  
Prefeitura de  
Paulínia



**Resíduos  
enterrados**

Foto 31-  
Deposição de  
resíduos  
industriais  
diversos em  
aterro sem  
controle. Fonte:  
CVS/SAMA/  
GTSolo/eprete



**Tanques**

Foto 32- Tanques de armazenamento de óleos e solventes sem manutenção.

Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/eprete



**Chaminés e respiradouros**

Foto 33- Lançamento aéreo de gases e particulados diversos.

Fonte: euroxpress.es



**Aterros sanitários**

Foto 34- Área residencial instalada nas proximidades de aterro receptor de resíduos domésticos e industriais de classe 2B – Fonte: UMWELT - Consultoria



**Lagoas**

Foto 35- Lagoa com deposição de óleos e combustíveis de petróleo. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/eprete



**Outros**

- Áreas de detonação
- Campos de aviação e áreas de treinamento de tiro
- Vazamentos
- Fossas ou valas de disposição
- Reservatórios
- Manilhas e canos de esgoto

**Algumas áreas têm apenas uma fonte de contaminação, enquanto outras possuem várias. Cada fonte representa um lugar — ponto ou área — onde a liberação de um contaminante pode estar ocorrendo ou ter ocorrido.**



Figura 30- Modelo conceitual de um Cenário de Contaminação Ambiental por postos de combustíveis  
Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/fcampos

Um profundo conhecimento da fonte é imprescindível, pois permitirá que determinemos se todos os possíveis meios receptores foram estudados adequadamente. Se a fonte da contaminação é, por exemplo, um vazamento de um tanque subterrâneo, será necessário rever os níveis de contaminação

no solo, no gás do solo ou nas águas subterrâneas para determinar de modo preciso se as pessoas estão expostas.

Em certas ocasiões, o avaliador detectará níveis elevados de contaminantes, mas talvez não seja capaz de indicar a fonte da contaminação. Níveis elevados de chumbo (em comparação com valores basais de referência), por exemplo, podem ser detectados em solos de um local, mas a fonte do chumbo jamais ser identificada. Nesses casos, pode-se concluir que a fonte da contaminação existiu em algum momento da história do local, embora os detalhes sobre a emissão original talvez não sejam conhecidos. Em outros casos, a fonte da contaminação detectada pode estar localizada a montante da área em questão.

A fim de identificar as fontes de contaminação, os avaliadores devem revisar descrições e dados da área em relatórios de investigação do local. Na maioria das vezes, a informação referente às fontes de contaminação é bem documentada em relatórios já existentes, pois as investigações ambientais frequentemente utilizam amostragens em locais com fontes sob suspeita de contaminação ou sabidamente contaminadas e em meios potencialmente afetados. O estudo de diagramas e mapas pode dar uma perspectiva complementar sobre a localização exata das fontes de contaminação e suas possíveis implicações em termos de exposição.

É importante obter informações referentes a mudanças ocorridas nas fontes com o passar dos anos. Para tanto, devem ser analisadas as seguintes considerações:

- **Histórico do local.** Por meio de entrevistas com moradores e contatos locais, e revendo arquivos sobre atividades passadas e presentes, é possível descobrir se os contaminantes foram liberados ou dispostos intencionalmente ou não em um dado lugar. É importante determinar quando a liberação aconteceu e há quanto tempo ela perdura.



Foto 36- Recanto dos Pássaros/1965 com suas chácaras e plantio de café. Fonte: Prefeitura de Paulínia



Foto 37- A mesma área em 1976 com o parque industrial da Shell já instalado. Fonte: Prefeitura de Paulínia

- **Período de operação.** Conhecer o período de operação de uma determinada área é suficiente para saber em que período certas fontes podem ter existido - uma informação crucial para estabelecer a duração de uma possível exposição.

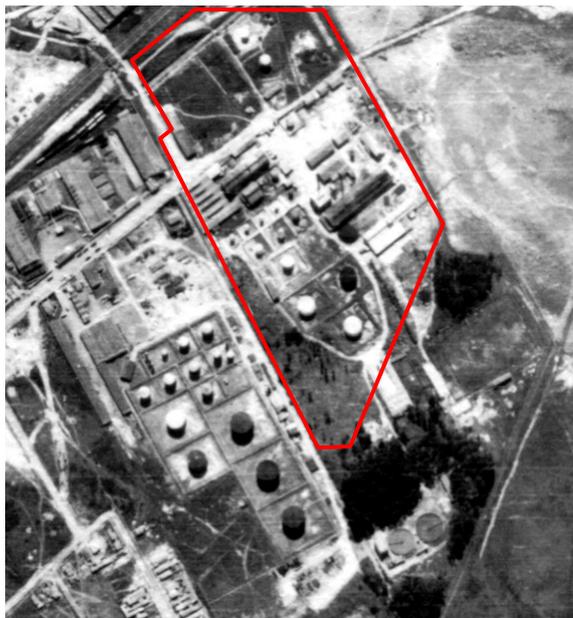


Foto 38- Parque Industrial da Francisco Matarazzo em 1954.  
Fonte: Prefeitura de São Paulo

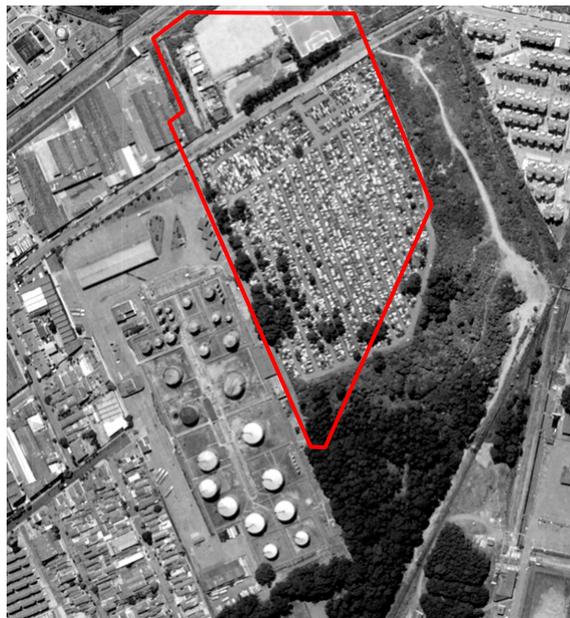


Foto 39- Outras utilizações para a mesma área em 2001.  
Fonte: Prefeitura de São Paulo

- **Controles da fonte ou ações de remediação.** Ao determinar quando medidas específicas de controle ou ações de remediação foram implementadas em uma área, o avaliador poderá perceber como as emissões ambientais foram mitigadas. Exemplos desses tipos de controles incluem revestimentos de aterros sanitários, sistemas coletores de lixiviados, depuradores de gás, sistemas de tratamento de águas residuárias e filtros de bolsa. Saber se foram realizadas ações de descontaminação também ajudará na avaliação das fontes.



Foto 40- Manguezal queimado pelo vazamento de chumbo para a baía de Guanabara. Fonte: A Web-Resol



Foto 41- Estação de Tratamento de lixiviados do aterro de Gramacho. Fonte: A Web-Resol

### Outras fontes

Conhecer o potencial de outras fontes ou emissões em áreas próximas acrescenta uma nova e útil perspectiva à investigação, especialmente em termos de contaminação atmosférica.

Um teste de emissões, por exemplo, poderá determinar que um respiradouro de aterro sanitário libera, anualmente, 5,0kg de benzeno na atmosfera. Se o local de interesse é uma área urbana, investigações ulteriores possivelmente revelarão que essa taxa de emissão é afetada pelas emissões de benzeno proveniente de veículos automotores, bombas de gasolina e outras fontes.

Em última análise, o avaliador utilizará as informações compiladas sobre fontes de contaminação para obter um panorama completo dos tipos e durações das possíveis exposições. Ao identificar as fontes de contaminação, deve-se ter em mente a necessidade de indicar claramente o que se sabe sobre o tipo e a extensão da contaminação na fonte e no meio receptor. Além disso, é essencial deixar claro se as fontes de contaminação foram caracterizadas adequadamente, se as áreas onde estão localizadas as fontes foram remediadas e se os dados disponíveis afetam a capacidade de caracterização das exposições.



Foto 42- Fumaça oriunda da queima do carvão mineral. Fonte: Brasil Escola

### Identificação dos Meios Afetados

Após identificar as fontes de contaminação, devem-se conhecer todos os meios que possam servir para transportar os contaminantes da(s) fonte(s) até prováveis pontos de exposição humana. Os meios afetados podem incluir:

- Águas subterrâneas
- Solos superficiais e de sub-superfície
- Sedimentos
- Águas de superfície
- Ar
- Gás do solo
- Cadeia alimentar (biota)
- Lama, lixiviados, materiais residuais

A identificação dos meios ambientais contaminados e o conhecimento da natureza e extensão da contaminação terá início, provavelmente, a partir de um estudo dos dados de amostragem disponíveis, da revisão das concentrações detectadas, da avaliação da qualidade e adequação dos dados da amostragem e da comparação entre dados relacionados à área e os valores basais de referência. O avaliador começará, também, a ter uma noção do grau relativo da contaminação ao cotejar as concentrações das substâncias detectadas a valores de comparação específica do meio investigado.

Dados de amostragem poderão ser extremamente úteis para a avaliação do meio reconhecidamente contaminado. Eles são capazes de indicar a quanto tempo o meio está contaminado e até que ponto os projetos de remediação têm sido bem-sucedidos em seu objetivo de reduzir os níveis de contaminação. Nos casos em que o meio não dispuser de uma amostragem adequada, ainda assim será necessário determinar se o meio esteve, está ou poderá vir a estar contaminado. Até que ponto essas substâncias permanecerão no meio afetado, ou migrarão para ou através dele, irá depender de um número específico de fatores ligados às substâncias e ao local. Em alguns casos, foram utilizados

modelos matemáticos para estimar as condições ambientais em locais e épocas onde não foram levadas a cabo técnicas de amostragem.



Foto 43- Lixão de resíduos de fábrica de papelão em Valinhos. Foto: CVS/Sama

3.1.2. Avaliação do destino e da dispersão dos contaminantes →	
	<b>Processos de destino e dispersão →</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A que velocidade estão se deslocando os contaminantes?</li> <li>• A que velocidade estão se dispersando os contaminantes ao longo da trajetória do fluxo?</li> <li>• Para onde estão se deslocando os contaminantes existentes em um determinado meio?</li> <li>• Até que ponto está ocorrendo uma atenuação natural?</li> <li>• Estarão os contaminantes penetrando a cadeia alimentar?</li> </ul>
	<b>Processos físicos e químicos →</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solubilidade da água</li> <li>• Densidade do líquido</li> <li>• Pressão de vapor</li> <li>• Constante da Lei de Henry</li> <li>• Coeficiente de partição do carbono orgânico</li> <li>• Coeficiente de partição octanol/água</li> <li>• Fator de bioconcentração (BCF)</li> <li>• Velocidade de transformação e degradação</li> <li>• Biodegradação</li> <li>• Meia vida de um meio específico</li> </ul>
	<b>Fatores de influência no destino e dispersão →</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fatores climáticos             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Índices pluviométricos e de evaporação</li> <li>○ Condições de temperatura</li> <li>○ Velocidade e direção do vento</li> <li>○ Condições sazonais</li> </ul> </li> <li>• Condições geológicas e hidrogeológicas             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Composição geológica e hidrogeológica dos lençóis subterrâneos</li> <li>○ Características físicas dos aquíferos</li> <li>○ Profundidade das águas subterrâneas</li> <li>○ Poços perfurados em aquíferos</li> <li>○ Características do solo</li> <li>○ Camada vegetal e as características vegetativas</li> <li>○ Topografia</li> <li>○ Objetos produzidos pelo homem</li> </ul> </li> </ul>

### ***Avaliação do Destino e da Dispersão dos Contaminantes***

O processo de destino e dispersão refere-se à maneira em que os contaminantes se movem e se transformam no ambiente. A avaliação do destino e da dispersão dos contaminantes em um meio ambiental é a etapa da avaliação da rota de exposição da qual o avaliador poderá se valer para determinar se um contaminante passará de uma fonte para um ponto de exposição, e como o fará.

O avaliador poderá usar diferentes tipos de informação para avaliar o destino e a dispersão, o segundo elemento de uma rota de exposição. As categorias de informação apresentadas a seguir poderão ser úteis para a avaliação de algumas áreas específicas:

- **Possíveis processos de dispersão** capazes de carregar uma substância para longe de sua fonte.
- **Fatores físicos, químicos ou biológicos** que influenciam a persistência e a movimentação do agente dentro e através do meio em questão, e que podem ser importantes para determinar a possibilidade de uma exposição humana.
- **Condições ambientais específicas do local**, tais como clima e topografia, que determinam como os contaminantes se movimentam em um ambiente particular.

O detalhamento das questões relativas ao destino e à dispersão dependerá de diversos fatores, tais como a disponibilidade de conjuntos de dados ambientais específicos, a complexidade das questões vinculadas ao local e o grau de preocupação da comunidade com a saúde. Se ficar comprovado que a natureza e extensão da contaminação em todos os meios relevantes foram adequadamente caracterizadas após a revisão dos estudos correspondentes, pouco restará a fazer em matéria de avaliação do destino e da dispersão. Em outras ocasiões, uma avaliação desse tipo pode ser necessária com vistas a responder perguntas tais como:

- Qual a probabilidade de uma contaminação migrar de um aquífero superficial para um aquífero profundo, utilizado como fonte de água para consumo humano?
- Qual a direção e a via de uma pluma de contaminação em um lençol subterrâneo específico?
- Qual a possibilidade de os contaminantes existentes no solo ou em sedimentos acumularem em plantas, animais ou peixes?
- Qual a probabilidade de um contaminante presente nas águas subterrâneas volatilizar e migrar via gás do solo, para o ar em ambiente fechado?
- Qual a possibilidade de a degradação de compostos orgânicos voláteis produzir contaminantes detectáveis?

O avaliador poderá dispor de informações pertinentes sobre destino e dispersão nos relatórios de investigação do local. Todos os relatórios de projetos de remediação da CETESB, por exemplo, incluem informações específicas sobre o destino e a dispersão dos agentes químicos e meios investigados. Ao avaliar e interpretar as diversas informações sobre o assunto, o avaliador talvez precise consultar especialistas técnicos (hidrogeólogos, modeladores atmosféricos, p.ex.), especialmente quando for necessário um maior número de análises quantitativas para caracterizar o meio afetado.

De fato, as avaliações de destino e dispersão deveriam ajudar o avaliador a determinar qual a probabilidade de que o contaminante tenha se deslocado ou vá se deslocar para além da fonte, e qual a probabilidade de que essa contaminação e essa exposição ocorram para além das áreas amostradas.

### *Destino, Dispersão e Rotas de Exposição. O quê, realmente, precisa ser feito?*

A presente seção examina os fatores a serem considerados durante uma avaliação de destino e dispersão de contaminantes ambientais - **o segundo elemento de uma rota de exposição**. É essencial ter em mente que essa informação pormenorizada é fornecida à guisa de orientação sobre como lidar com certas peculiaridades de algumas áreas. Esta seção não pretende dar a entender que, para classificar as rotas de exposição, cada local exija uma análise abrangente e quantitativa sobre destino e dispersão. Os avaliadores muitas vezes usam seu senso crítico para avaliar esse elemento.

Alguns exemplos podem ilustrar esse ponto: em um rio, na área em consideração, ocorreu uma emissão de **PCB**<sup>39</sup> de grandes proporções, e estudos de amostragem encontraram elevados níveis de PCB em tecidos de peixes. Com base em seus conhecimentos sobre o modo com o PCB bioacumula, o avaliador poderá deduzir, com segurança, que parte do PCB detectado nos peixes provavelmente é

<sup>39</sup> As bifenilas policloradas (PCB) tem ótimas propriedades físicas e químicas, como alta estabilidade, constante dielétrica, temperatura de ebulição, e resistência a chamas altas, devido a isso foram amplamente utilizadas em óleos transformadores, capacitores, fluidos hidráulicos e óleos lubrificantes. São também usados como plastificantes e adesivos e em tintas para impressão e retardantes de chamas. Entretanto, atualmente a sua produção foi drasticamente reduzida por suas propriedades nocivas à saúde.

Os PCB contaminaram largamente o ecossistema, ocorrendo de forma generalizada no meio ambiente. Eles já foram detectados em embalagens de alimentos, ração animal e encontrados em solos e sedimentos.

As bifenilas policloradas são moderadamente tóxicas sobre as quais já se descobriu serem causadoras de câncer em animais e de induzir defeitos de nascimento. A exposição ocupacional manifesta um grande número de adversidades à saúde, atingindo a pele, olhos, mucosas e sistemas digestivos e neurológicos. A gravidade dos riscos depende da concentração de cloro dos PCB.

originária do vazamento e que o segundo elemento da rota de exposição está presente. Neste exemplo, não seria necessário elaborar um modelo de hidrologia ou bioacumulação para provar a existência do destino e da dispersão, nem seria preciso analisar detidamente cada propriedade química e física dos PCB para avaliar seu destino e dispersão.

**Processos de Destino e Dispersão**

Destino e dispersão são processos interdependentes.

A **dispersão** envolve o movimento de gases, líquidos e partículas sólidas no interior de um determinado meio e através de interfaces entre água, solo, sedimentos, ar, plantas e animais.

O **destino** refere-se ao que acontece, posteriormente, com os contaminantes liberados no meio ambiente — algumas frações do contaminante podem simplesmente mover-se de um lugar para o outro; outras frações poderão ser modificadas fisicamente, quimicamente ou biologicamente; e outras, ainda, podem acumular em um ou mais meios.

Ao avaliar uma área, precisamos ter uma visão geral dos **principais processos de destino e dispersão das emissões, dos mecanismos de transferência intermeio e das rotas de dispersão que poderão influenciar o destino final da contaminação**. Dependendo das questões envolvidas, a compreensão desses mecanismos básicos de destino e dispersão pode ajudar o avaliador a entender as implicações para possíveis exposições passadas e futuras. As perguntas listadas a seguir são considerações úteis para melhor compreender de que modo os mecanismos de destino e dispersão poderão vir a influenciar a probabilidade de ocorrência de uma exposição:

Figura 4.3.3.4. - ISOCONCENTRAÇÕES DE TOLUENO (µg/L)

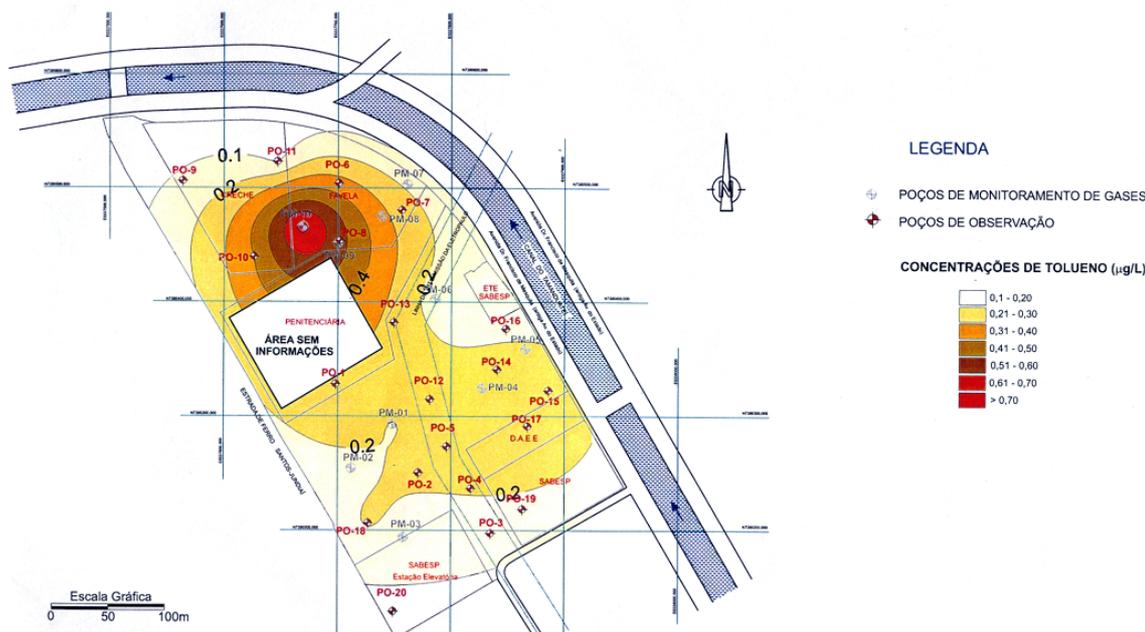


Figura 31- Isoconcentrações de Tolueno – Pluma de contaminação. Fonte CSD-GEOKLOCK

**A que velocidade estão se deslocando os contaminantes?**

A velocidade de fluxo dos lençóis subterrâneos, por exemplo, determina quando a pluma de contaminação de águas subterrâneas poderá chegar a poços particulares à jusante da área ou poderá migrar, posteriormente, para outros poços também à jusante.



Foto 44- Entorno da Base distribuidora de combustíveis da SHELL Carioca em São Paulo. Fonte: PM São Paulo

**A que velocidade estão se dispersando os contaminantes ao longo da trajetória do fluxo?**

Em alguns casos, os moradores residentes longe das fontes de contaminação manifestam sua preocupação quanto ao potencial de exposição. Resultados de modelos de destino e dispersão podem fornecer um contexto para essas preocupações. Por exemplo, modelos atmosféricos podem estimar de que modo às concentrações de poluentes no ar podem diminuir a uma distância a sotavento de uma fonte específica de emissão. A velocidade dessa redução vai depender, em última análise, do tipo de fonte (chaminé ou área, p.ex.), dos parâmetros de liberação (altura, velocidade de saída, p.ex.) bem como de outros fatores (terreno, p.ex.).



Foto 45- Vazamento na China por petróleo que se alastrou por 430 quilômetros quadrados no oceano. Fonte: Globo G1

**Para onde estão se deslocando os contaminantes existentes em um determinado meio?**

Perceber com antecedência as variações espaciais da contaminação ajudará a determinar quais pontos de exposição poderão ser impactados. Ao examinar, por exemplo, um local com água subterrânea contaminada, deve-se considerar a possibilidade de que os contaminantes migrem lateralmente (talvez na direção de poços de suprimento de água para consumo humano) ou verticalmente (alcançando aquíferos que podem ou não estar sendo utilizados como suprimento de água para consumo humano).



Foto 46- Lagoa contaminada com Chorume no Lixão da Pedreira de Léa em Uberaba. Foto: Israel Garcêz

<p><b>Até que ponto pode estar ocorrendo uma atenuação natural?</b></p>	<p>A atenuação natural refere-se a todo processo natural que degrade ou dissipe uma contaminação ambiental. Os processos naturais de atenuação, portanto, incluem degradação biológica, volatilização e adsorção. No caso de um local específico onde tenham sido detectadas elevadas concentrações de agentes químicos no solo, o avaliador poderá determinar que a migração para pontos de exposição é improvável, pois esses agentes apresentam tanto uma alta propensão a adsorver ao solo quanto uma meia-vida relativamente curta face à degradação biológica.</p>
---	--



Foto 47- Vala de condução de vinhoto em Lagoa da Prata, Minas Gerais. Fonte: Jornal Cidade

<p><b>Estarão os contaminantes penetrando a cadeia alimentar?</b></p>	<p>Não obstante o fato de os contaminantes jamais serem liberados diretamente em peixes, animais ou plantas, o processo de destino e dispersão pode tornar a contaminação da cadeia alimentar a principal questão de saúde pública da área em questão. Embora a fonte de contaminação de uma instalação possa estar restrita às descargas de resíduos de PCB em corpo d'água superficial, estes contaminantes podem biomagnificar e provocar concentrações relativamente elevadas em peixes, no nível mais alto da cadeia alimentar.</p>
---	--

O quadro a seguir apresenta uma perspectiva geral, para cada meio específico, dos vários fatores que podem chegar a afetar o destino e a dispersão de uma substância no interior e através de um meio ambiental determinado.

Mecanismos de transporte		
Categoria de transporte	Meio ambiental	
	Solo	Água superficial
Emissão	Massa de contaminante que se elimina no dia	Descargas ou derrames por tubulações
		Escorrimentos superficiais e deslocamento de solos
		Deposição ao ar livre
		Descargas em aquíferos
Advecção	Infiltração	Córregos, riachos
	Migração dos gases	Correntezas e transbordamento de lagos
	Arrastes de solo	
	Erosão por água ou vento	
Dispersão	Invasão com partículas sólidas	Área de mistura em um curso ou corpo d'água

Mecanismos de transporte		
Categoria de transporte	Meio ambiental	
	Solo	Água superficial
Atenuação	Adsorção	Sedimentação e os já listados para o solo
	Biodegradação	
	Hidrólise	
	Óxido/redução	
	Fotólise	
	Volatilidade	
Transferência entre meios	Migração de gases ou partículas para o ar	Adsorção de sedimentos
	Migração para o aquífero	Bioacumulação
	Migração para a água superficial, sedimentos e biota aquática	Migração do gás para o ar
	Captação biológica por plantas e animais	Recarga de aquíferos

- **Emissão** → É a liberação da descarga de material contaminado desde uma fonte.
- **Advecção** → Ou convecção é a migração normal do movimento do contaminante através do meio.
- **Dispersão** → É a distribuição do contaminante em um líquido, gás, ou fase sólida devido à colisão desses contaminantes com outros materiais.
- **Atenuação** → É a degradação, a adsorção ou o retardamento de um contaminante.
  - **Adsorção:** É a formação de uma camada sólida, líquida ou gás na superfície de um sólido.
  - **Hidrólise:** É a decomposição química em que os compostos orgânicos reagem com as moléculas de água para formar outros compostos.
  - **Óxido/redução:** Reação química que envolve átomos ou moléculas que perdem elétrons. A oxidação de um composto é sempre acompanhada da redução de outro composto.
  - **Fotólise:** Transformação ou decomposição de uma substância, provocada pela ação da luz.
  - **Volatilidade:** É a conversão de um líquido ou de um sólido para o estado gasoso sob temperatura e pressão normal.

### Fatores Físicos ou Químicos Específicos que influenciam o Destino e a Dispersão Ambientais

Às vezes os conhecimentos sobre as propriedades físicas e químicas de um contaminante são suficientes, por si só, para caracterizar o destino e a dispersão para as avaliações das rotas de exposição. Esta seção descreve de modo resumido as propriedades químicas e físicas que podem influenciar o destino de um contaminante no ambiente. Ter consciência dessas propriedades possibilitará ao avaliador compreender o comportamento de um contaminante no meio ambiente e

poderá ajudá-lo a concentrar a avaliação nos mecanismos de dispersão de maior relevância. Fatores especificamente químicos, por exemplo, podem auxiliar-nos a determinar se um agrotóxico particular, detectado em sedimentos lacustres, é passível de acumular em peixes.

As propriedades químicas e físicas descritas a seguir são resultados de estudos laboratoriais em condições altamente controladas e podem não refletir o comportamento exato das substâncias químicas em condições ambientais não-controladas. Os estudos de laboratório geralmente não espelham as inúmeras variáveis e influências encontradas no ambiente, tais como misturas químicas e variação das condições geoquímicas nos solos e materiais geológicos.

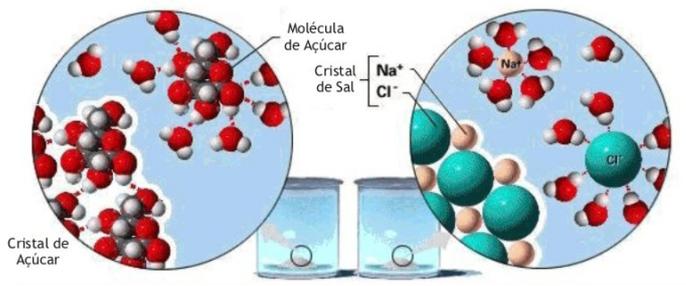
***Não devemos confiar demais em estudos laboratoriais ou teóricos para prever o destino e a dispersão dos contaminantes. São preferíveis as medições ambientais, específicas para um local, capazes de revelar onde e a quantidade de contaminação existente em um dado local.***

A lista a seguir examina algumas propriedades químicas e físicas habitualmente citadas que poderão ajudar na avaliação das rotas de exposição. Maiores informações sobre estas e outras propriedades capazes de afetar o destino e a dispersão ambiental em diferentes meios podem ser encontradas, dentre outras fontes, nos Perfis Toxicológicos da ATSDR e no Banco de Dados sobre Substâncias Perigosas (*Hazardous Substances Data Bank - TOXNET*), da Biblioteca Nacional de Medicina.

A Constante da Lei de Henry	Taxas da Constante da Lei de Henry	
É uma medida que representa a tendência de uma substância química de passar de solução aquosa a vapor. É uma função do peso molecular, da solubilidade e da pressão do vapor. A uma Constante da Lei de Henry elevada corresponderá uma tendência maior do agente químico de volatilizar na atmosfera.	Volatilidade	Valor (atm.m <sup>3</sup> /mol)
	Não volátil	< que 3 X 10 <sup>-7</sup>
	Baixa	3 X 10 <sup>-7</sup> a 1 X 10 <sup>-5</sup>
	Moderada	1 X 10 <sup>-5</sup> a 1 X 10 <sup>-3</sup>
	Alta	> que 1 X 10 <sup>-3</sup>

**A solubilidade da água**

Diz respeito à concentração máxima de uma substância química que se dissolve em uma quantidade definida de água pura. Condições ambientais, tais como temperatura e pH, podem influir na solubilidade de uma substância química que, por sua vez, pode também afetar a volatilização do contaminante da água. A solubilidade dá uma importante indicação sobre a capacidade do contaminante de migrar no ambiente: compostos altamente solúveis tendem a se deslocar juntamente com as águas subterrâneas, enquanto compostos não-solúveis não.



**Pontes de hidrogênio e a solubilidade.**

*Em química, a "solubilidade" é a medida da capacidade de uma determinada substância dissolver-se num líquido. Pode-se expressar em mols por litro, em gramas por litro, ou em percentagem de soluto / solvente. Também é possível estender o conceito de solubilidade para solventes sólidos.*

*A solubilidade aumenta com a temperatura na maior parte dos sólidos e diminui com a temperatura, no caso dos gases.*

A solubilidade de uma substância em água e em outros solventes é uma propriedade física muito importante para os estudos da toxicidade. O comportamento de um poluente, sua oxidação, hidrólise, biodegradação, contaminação de águas subterrâneas e permanência geral no meio-ambiente dependem da solubilidade em água. De modo semelhante, a solubilidade em água é um critério principal para o uso da água para a extinção de um incêndio de uma substância ou para a diluição de algum respingo.

Em geral, **substâncias polares**<sup>40</sup> são solúveis em água, enquanto que os **compostos não polares** são solúveis em solventes não polares. Entre as substâncias inorgânicas, a solubilidade depende do grau da ligação iônica. Todos os cloretos, nitratos, metais alcalinos e sais de amônio são completamente solúveis em água.

A solubilidade de um composto inorgânico na água depende da polaridade e do tamanho (diâmetro) da molécula. A solubilidade, entretanto, diminui com um aumento do comprimento da cadeia de carbono.

Muitas substâncias nocivas sejam tóxicas, inflamáveis ou ambas, são líquidas em condições ambientais. A toxicidade por inalação e o grau de exposição a tais substâncias líquidas podem depender de seus níveis de volatilidade. Quanto mais volátil a substância, maior é o risco de exposição por inalação de seus vapores. De modo semelhante, os vapores de muitas substâncias inflamáveis formam misturas explosivas com o ar. Portanto, o conhecimento da volatilidade de uma substância é essencial para se entender sua ignição, explosão e intoxicação e os riscos de exposição, especialmente em locais fechados.

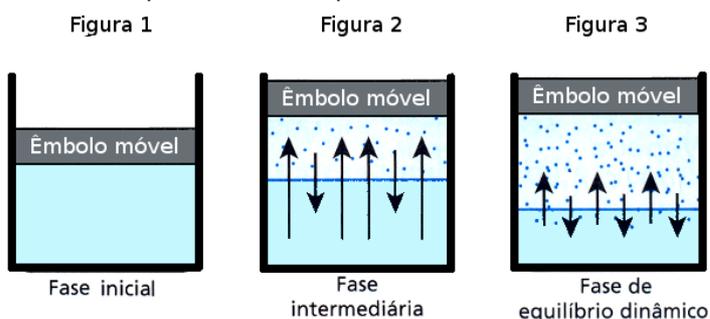
A volatilidade de uma substância pode ser compreendida através da sua pressão de vapor e do seu ponto de ebulição. Este último é definido como a temperatura na qual a pressão de vapor de um líquido é igual à pressão atmosférica. A qualquer temperatura, incluindo a temperatura ambiente, qualquer líquido terá algum nível de pressão de vapor. Tal pressão de vapor está relacionada com a

<sup>40</sup> Existem basicamente dois meios de substância no que diz respeito à polaridade: **polares e apolares**. O termo "polar" nos dá a ideia de opostos, onde um dado ponto é negativo e o outro é positivo. Isso é resultado da diferença de contribuição na ligação entre elementos químicos diferentes. **O mais eletronegativo atrai para perto de si o par de elétrons** que estabelece a ligação com o outro átomo. Um exemplo de substância polar é água, considerada um solvente universal.

temperatura e com as forças intermoleculares. Quanto mais alta a temperatura, maior a pressão de vapor. De modo semelhante, quanto mais fracas as forças intermoleculares, maior será a pressão de vapor.

**A pressão de vapor**

É a medida da volatilidade de um agente químico em seu estado puro. Assim sendo, a pressão do vapor determina, em grande medida, quão rapidamente o contaminante evaporará da superfície do solo ou do corpo d’água para a atmosfera. Os contaminantes com uma pressão de vapor mais elevada evaporarão mais rapidamente.



Pressão de vapor é a pressão exercida por um vapor quando está em equilíbrio com o líquido que lhe deu origem. É uma propriedade física dependente da temperatura. Se um líquido for aquecido num recipiente fechado até uma determinada temperatura, evapora-se até se atingir a pressão de vapor para a temperatura imposta, mantendo-se a partir daí um estado de equilíbrio em que a quantidade de líquido vaporizado é igual à quantidade de vapor condensado.

**A densidade do líquido**

Corresponde à massa de líquido por volume. Em líquidos não solúveis na água ou imiscíveis com água, a densidade líquida desempenha um importante papel. Nos lençóis subterrâneos, os líquidos com maior densidade do que a água (chamados líquidos densos de fase não-aquosa (*dense non-aqueous phase liquids – DNAPL*) pode penetrar e assentar, preferencialmente, na base de uma camada aquífera, ao passo que líquidos menos densos (chamados de líquidos leves de fase não-aquosa (*light non-aqueous phase liquids – LNAPL*) flutuarão.



Foto 48- Garimpeiro usando mercúrio.  
Fonte: <https://goo.gl/FTqWKN>

Densidade é a massa por unidade de volume de uma substância, geralmente expressa em gramas por centímetro cúbico. A densidade dá uma indicação do grau de agrupamento das moléculas de uma substância; por exemplo, em estado líquido a água tem uma densidade de 1 grama por centímetro cúbico, enquanto o mercúrio líquido tem uma densidade de 13,59 gramas cúbico.

É frequentemente necessário saber se os vapores de uma substância nociva são mais pesados que o ar. Por exemplo, os vapores de um líquido inflamável, como o dietil éter, são mais pesados que o ar e podem apresentar o risco de um incêndio causado por um retrocesso de chama. Por serem mais pesados do que o ar, estes vapores permanecem próximos às suas fontes por mais tempo e não se dissipam ou são levados a se misturar no ar. Relativamente, isto pode representar um alto grau de exposição e causar um problema de saúde ocupacional.

Deve-se notar que a densidade de vapor é diferente da densidade do gás. Enquanto este último é definido como massa de um gás por unidade de volume, em geral expresso por litro (g/L) a uma

específica temperatura, a densidade de vapor simplesmente indica quantas vezes o vapor de uma substância é mais pesada do que o ar.

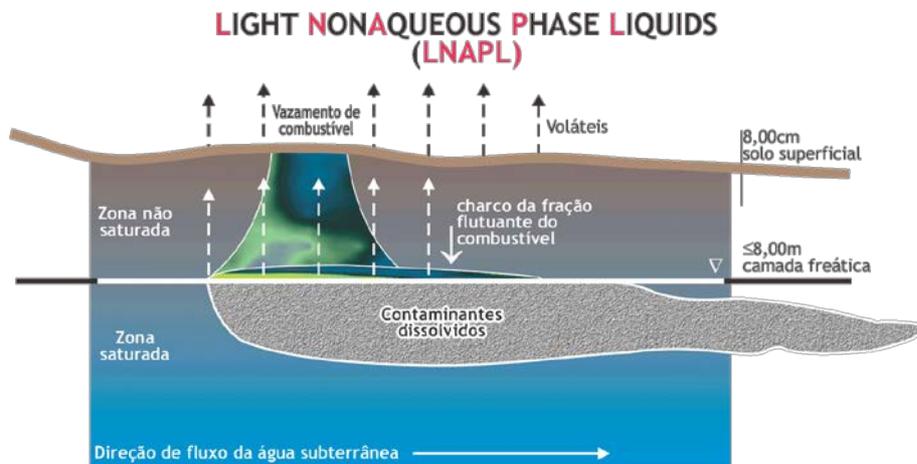


Figura 32- Modelo conceitual para LNAPL. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/fcampos

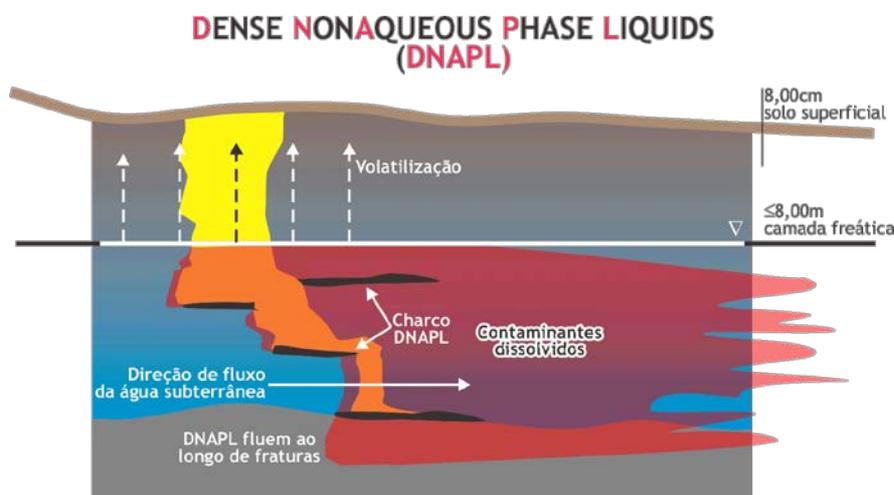


Figura 33- Modelo conceitual para DNAPL. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/fcampos

**A meia-vida de um meio específico**

Corresponde a uma medida relativa do grau de persistência que uma substância poderá apresentar em um meio particular.

O coeficiente de partição do carbono orgânico (Koc)	Taxas do Koc (mL/g de carbono orgânico)	
	Adsorção ao solo	Valores de coeficiente
Descreve a afinidade de sorção que uma substância química tem para com o carbono orgânico e, conseqüentemente, a tendência dos compostos de serem absorvidos por solos e sedimentos (baseado no conteúdo de carbono orgânico do solo ou do sedimento). Esse coeficiente é chamado, muitas vezes, de coeficiente de adsorção. Um Koc elevado indica que as substâncias químicas orgânicas se ligam estreitamente à matéria orgânica do solo e, assim, uma menor quantidade da substância estará livre para se deslocar para as águas subterrâneas ou de superfície.	Muito fraco	< que 10
	Fraco	10 a 100
	Moderado	100 a 1000
	Moderado a forte	1000 a 10000
	Forte	10000 a 100000
	Muito forte	> 100000

**O fator de bioconcentração (FBC)**

Mede a magnitude da distribuição química ao equilíbrio entre o meio biológico, tal como o tecido de peixes ou plantas, e um meio externo, como a água. Esse fator pode ser usado de modo qualitativo para avaliar o potencial de exposição via cadeia alimentar. Um FBC elevado significa maior possibilidade de acumulação em tecidos vivos.

*Denomina-se de fator de bioconcentração (FBC) a relação entre a concentração do composto no tecido do organismo e na água na situação de equilíbrio, podendo este parâmetro também ser calculado por constantes cinéticas.*

*O paclobutrazol, um agroquímico regulador de crescimento vegetal com propriedades fungicidas, é muito utilizado na região Nordeste do Brasil em áreas de produção de frutas para exportação. Estudos têm demonstrado que este composto permanece ativo no solo por muito tempo e que sua meia-vida varia com o tipo de solo e condições climáticas.*

*A meia-vida do paclobutrazol na água é de 24 dias, enquanto que no solo não foi detectada dissipação até a amostragem aos 168 dias após a aplicação do produto (Scientia Agricola). Corpos de água superficiais nas proximidades das culturas frutíferas são, portanto, suscetíveis de serem contaminados pelo paclobutrazol com o risco de promover efeitos adversos em organismos que habitam esses compartimentos ambientais.*

A toxicidade de muitas substâncias, suas ações biológicas, armazenamento lipofílico (Que tem afinidade por gorduras, ou que é facilmente solúvel nelas ou em substâncias apolares) no corpo, suas bioconcentrações (movimentos através da cadeia de alimentos resultando em maiores concentrações), e assim por diante, bem como seus destinos no meio-ambiente podem ser previstos com base no seu coeficiente de partição octanol/água.

O coeficiente de partição ou de distribuição de uma substância é o seu coeficiente de solubilidade em dois solventes imiscíveis. É uma constante adimensional, e depende da temperatura e pressão. Assim, onde  $C_{octanol}$  e  $C_{água}$  são as concentrações de equilíbrio da substância dissolvida em octanol e água, respectivamente. O logaritmo do coeficiente de partição na base 10 é usado, de modo geral, em todos os cálculos.

**A biodegradação**

A decomposição de compostos orgânicos pelos micro-organismos - é um processo ambiental de grande significação no solo. A velocidade de biodegradação estará fundamentada no conteúdo orgânico do solo. Estimativas precisas das transformações químicas específicas e das velocidades de degradação são difíceis de serem calculadas e aplicadas porque estão sujeitas a variáveis físicas e biológicas específicas de cada área.

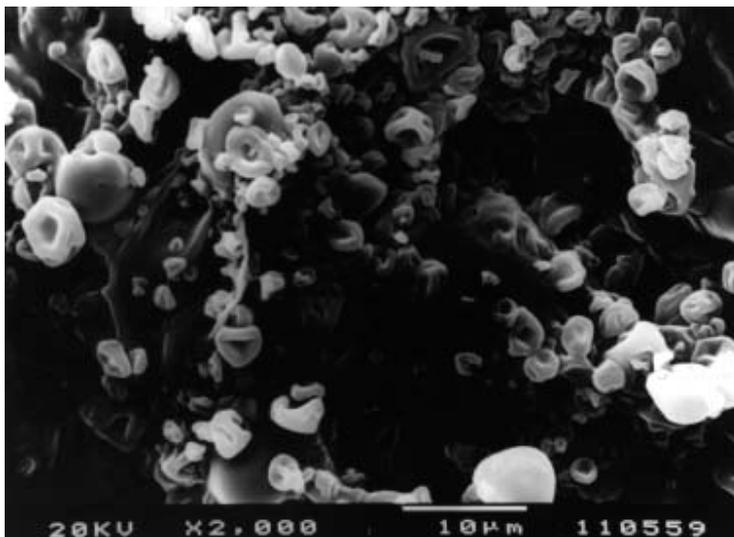


Foto 49- População microbiana de amostra de solo incubada com atrazina. Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABZXQAF/revista-biotecnologia-ed-10?part=3>

A decomposição de resíduos orgânicos pode ser determinada diretamente pela perda de peso ou por técnicas que utilizem elementos marcados, demonstrando que no final do processo há formação de nova biomassa e metabolitos, e de materiais resistentes a degradação. No solo ocorre rápida decomposição inicial de material lábil e, posteriormente, num processo mais lento, de materiais mais resistentes. Essa lentidão pode ocorrer devido ao mecanismo de adsorção, à estabilização de

metabolitos e à queda da taxa de biomassa no solo. Enfim, a biodegradação é um processo complexo e multifacetado, envolvendo grande número e variedade de microrganismos do solo.

A degradação de diferentes resíduos depende das condições locais e regionais como clima, tipo de solo, vegetação, fauna e microrganismos decompositores. A diversidade bioquímica de substratos macromoleculares indica que os organismos devem possuir amplo espectro de enzimas extracelulares para convertê-los em metabolitos assimiláveis. As propriedades do solo, tais como, argila, pH, matéria orgânica, tensão de água e aeração atuam como fatores ambientais do processo de decomposição.

Assim, a complexidade física e química dos resíduos orgânicos desfavorece a ocorrência de um processo degradativo biologicamente simples. As paredes das células vegetais, por exemplo, são compostas por uma intrincada rede de fibras de celulose juntamente com a pectina heteropolimérica, hemicelulose e, em tecidos maduros, lignina. Além disso, os tecidos vegetais frequentemente possuem uma cutícula protetora de gomas e ceras, podendo conter ainda compostos antimicrobianos que podem inibir a ação de certas enzimas degradativas.

**A velocidade de transformação e degradação**

Ela leva em consideração as mudanças físicas, químicas e biológicas pelas quais passa um contaminante através do tempo. A transformação química é influenciada por hidrólise, oxidação, fotólise e biodegradação. A fotólise aquosa constitui um processo de transformação da maior importância para os poluentes orgânicos (i.e. a alteração de uma espécie química devido à absorção de luz), geralmente sob a forma de reações fotoquímicas (i.e. reações no ar estimuladas pela luz solar). A velocidade de transformação das reações químicas é expressa em velocidades diferentes, inclusive a velocidade de reação das constantes e meias-vidas.

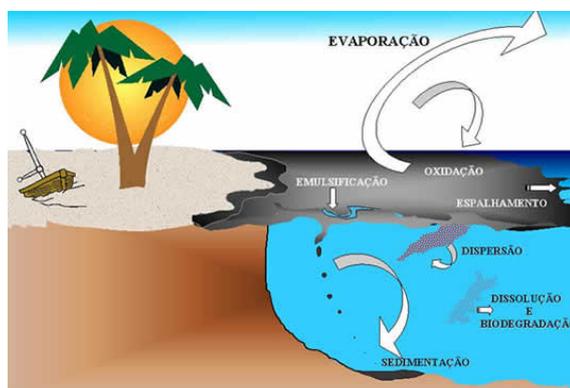


Figura 34- Processo de degradação do óleo no mar. Fonte: CETESB



Foto 50- Em 1973, um grande trecho da mata havia sido derrubado. Começam a tomar vulto os loteamentos clandestinos nas encostas por onde desce o Ribeirão Tanquinho.



Foto 51- Em 1997, a rápida urbanização causou tal erosão e assoreamento, que o braço da Represa foi aterrado recuando pelo menos um quilometro. O que restou do Ribeirão corre cheio de lixo e esgotos provenientes das casas amontoadas nas encostas.

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA – Direito Ambiental e Urbanístico – FENÔMENO DA URBANIZAÇÃO NO BRASIL (Profa. Renata Helena S. Bueno). Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/3782340/>

**O coeficiente de partição octanol/água (Kow)**

Indica o potencial de uma substância química para acumular na gordura animal, medindo sua distribuição ao equilíbrio entre o octanol e a água. Os contaminantes com Kows elevados têm maior propensão a bioacumular.

O quadro próximo apresenta um resumo geral, para cada meio específico, dos fatores químicos específicos que podem chegar a afetar o destino e a dispersão de uma substância no interior e através dos mecanismos de transporte.

Fatores Químicos-Específicos que afetam os Mecanismos de Transporte		
Meio	Mecanismo de transporte	Fatores que afetam o transporte
Água Subterrânea	Movimento da água subterrânea (via conexão hidrolítica entre aquíferos ou com água superficial e construções humanas como: poços; dutos; e drenagens inadequadas)	Densidade
		Solubilidade em água
		Koc
	Volatilidade	Solubilidade em água Pressão de Vapor Constante da Lei de Henr'y
Adsorção a partículas de solo ou precipitação por liberações de solução		Solubilidade em água Kow Koc
		Captação Biológica

Fatores Químicos-Específicos que afetam os Mecanismos de Transporte			
Meio	Mecanismo de transporte	Fatores que afetam o transporte	
Água superficial	Fluxo por via terrestre (via deságue natural ou canais construídos pelo homem)	Solubilidade em água Koc	
		Volatilidade	Solubilidade em água Pressão de vapor Constante da Lei de Henr'y
	Conexão hidrológica entre água superficial e água subterrânea	Densidade	
	Adsorção a partículas em solo	Solubilidade em água Kow Koc	
	Sedimentação (partículas em suspensão e precipitadas)	Densidade Solubilidade em água	
	Captação biológica		Kow Fator de bioconcentração

Fatores Químicos-Específicos que afetam os Mecanismos de Transporte		
Meio	Mecanismo de transporte	Fatores que afetam o transporte
Ar	Aerolização	Solubilidade em água
	Deposição atmosférica	Tamanho da partícula
	Volatilidade	Constante da Lei de Henr'y

Fatores Químicos-Específicos que afetam os Mecanismos de Transporte			
Meio	Mecanismo de transporte	Fatores que afetam o transporte	
Solo (superficial e subsolo) Sedimentos Lodos Resíduos perigosos	Escorrimento (erosão de solo)	Solubilidade na água Koc	
		Filtração (lixiviação)	Solubilidade na água Koc
	Volatilidade		Pressão de vapor Constante da Lei de Henr'y
			Captação biológica

Fatores Químicos-Específicos que afetam os Mecanismos de Transporte		
Meio	Mecanismo de transporte	Fatores que afetam o transporte
Biota	Bioacumulação	Kow
	Bioconcentração	Bioconcentração

**Fatores Específicos de um Local que influenciam o Destino e a Dispersão Ambientais**

Muitos fatores climáticos e físicos podem influenciar – acelerar, retardar ou até mesmo parar – o modo pelo qual o contaminante se dispersa pelo ambiente e, assim, afetar também a possibilidade de uma exposição humana vir a ocorrer. Essas informações ajudarão o avaliador a determinar se os contaminantes poderão alcançar pontos de possível exposição, e quando. Índices pluviométricos, topografia, hidrologia, hidrogeologia e tipos de solo, por exemplo, indicam com que rapidez os contaminantes solúveis na água penetrarão nas águas subterrâneas, enquanto a temperatura e outros fatores afetam a velocidade ou possibilidade de os contaminantes volatilizarem na atmosfera.

Uma visão geral sobre fatores potencialmente importantes para cada local é apresentada a seguir. Algumas das informações pertinentes aparecem documentadas em relatórios de investigação elaborados pela EPA ou por outras agências reguladoras.

Fatores Climáticos

Os fatores climáticos podem ser importantes no momento de compreender os possíveis movimentos do contaminante em uma área particular. A seguir, são listados alguns fatores que afetam o destino e a dispersão ambientais:

**Os índices pluviométricos e de evaporação anuais**

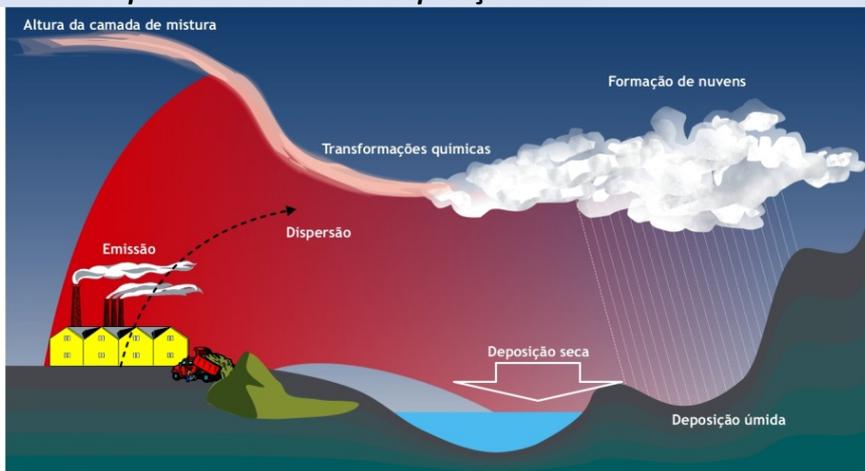


Figura 35- Rota de entrada e saída dos compostos na atmosfera. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/fcampos

São úteis para determinar a influência do escoamento das águas de superfície, da velocidade de recarga das águas subterrâneas e do conteúdo dos solos úmidos na migração de contaminantes em um local específico. A topografia do terreno e os padrões locais de fluxo das águas de superfície irão, obviamente, afetar a materialização dessas propriedades. Além disso, as precipitações provocam a remoção de partículas finas e de vapores solúveis da atmosfera.

Escala Beaufort	Categoria Nome	Velocidade do Vento m/s – Km/h		Indicações Visuais na Superfície Terrestre
00	CALMA	0,0 – 0,2	< 1	Folhas de árvores sem movimento. Fumaça sobe verticalmente.
01	ARAGEM	0,3 – 1,5	1 - 5	Desvio da fumaça. Cataventos não são deslocados.
02	BRISA LEVE	1,6 – 3,3	6 – 11	Ventos sentidos no rosto. Folhas de árvores farfalham. Catavento se move.
03	BRISA FRACA	3,4 – 5,4	12 – 19	Bandeiras levemente agitadas. Folhas e galhos de árvores em movimento.
04	BRISA MODERADA	5,5 – 7,9	20 – 28	Poeira e papeis soltos se elevam. Pequenos ramos são movimentados.
05	BRISA FORTE	8,0 - 10,7	29 –38	Árvores pequenas e folhagem oscilam. Ondas com cristas em lagos.
06	VENTO FRESCO	10,8 – 13,8	39 – 49	Galhos grandes agitados. Assovio nos fios. Difícil usar guarda-chuvas.
07	VENTO FORTE	13,9 – 17,1	50 – 61	Árvores inteiras em movimento. Difícil caminhar contra o vento.
08	VENTANIA	17,2 – 20,7	62 – 74	Galhos de árvores são quebrados. Impossível andar.
09	VENTANIA FORTE	20,8 – 24,4	75 – 88	Pequenos danos em edificações. Chaminés e telhas são arrancados.
10	TEMPESTADE	24,5 – 28,4	89 – 102	Raro. Árvores são derrubadas. Danos consideráveis em edificações.
11	TEMPESTADE VIOLENTA	28,5 – 32,6	103 – 117	Raríssimos. Grandes devastações. Derrubada de edificações, placas de sinalização etc.
12-17	FURACÃO/TORNADO	> 32,7	> 118	

**A velocidade e direção do vento**



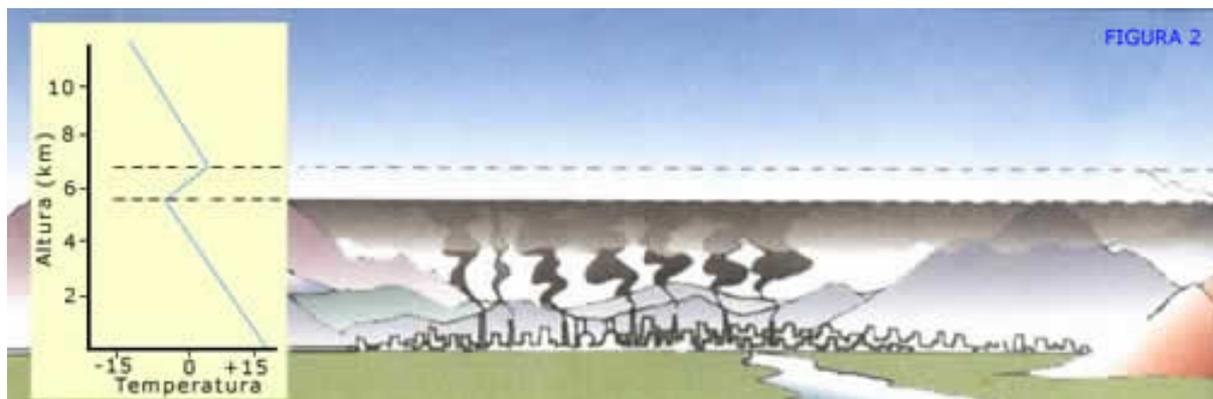
Foto 52- Lançamento de poluentes na atmosfera. Fonte - CVS/SAMA/GTSolo – Foto: eprete

Influenciam claramente a dispersão e volatilização dos contaminantes transportados pelo ar, bem como a velocidade de geração de poeira fugitiva. Conhecer os padrões eólicos prevaletentes em uma área poderá ajudar a fornecer uma percepção qualitativa sobre onde se situam os locais “sota-vento” e, assim, aumentar a capacidade do avaliador de determinar exposições atmosféricas potenciais.

Os ventos são denominados a partir da direção de onde eles sopram. Um vento norte sopra do Norte para o Sul, um vento leste sopra de Leste para Oeste. A direção do vento é, portanto, o ponto cardeal de onde vem o vento: N, NE, E, SE, S, SW, W e NW. As medidas básicas do vento referem-se à sua direção e velocidade.

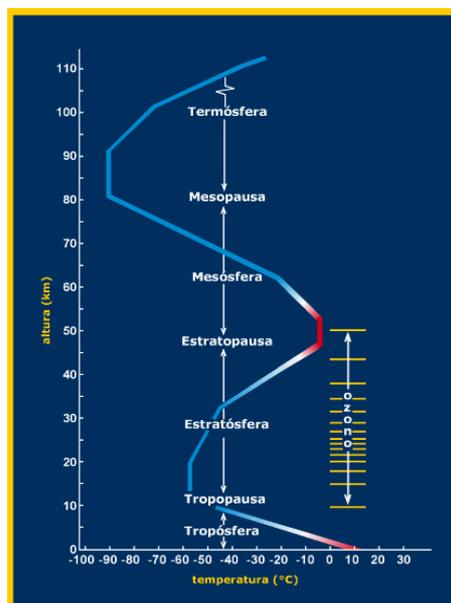
**As condições de temperatura**

Afetam a velocidade de volatilização dos contaminantes: os agentes químicos apresentam uma maior probabilidade de evaporar em ambientes mais quentes. Além do mais, a temperatura do solo pode afetar o movimento dos contaminantes, pois um solo congelado pode aumentar o escoamento e inibir a recarga dos lençóis subterrâneos.



Nos primeiros 10 quilômetros da atmosfera, normalmente, o ar vai se resfriando a medida que nos distanciamos da superfície da terra. Assim o ar mais próximo à superfície, que é mais quente, portanto mais leve, pode ascender, favorecendo a dispersão dos poluentes emitidos pelas fontes, conforme se verifica na figura 1. A inversão térmica é uma condição meteorológica que ocorre quando uma camada de ar quente se sobrepõe a uma camada de ar frio, impedindo o movimento ascendente do ar, uma vez que, o ar abaixo dessa camada fica mais frio, portanto, mais pesado, fazendo com os poluentes se mantenham próximos da superfície, como pode ser observado na figura 2. As inversões térmicas são um fenômeno meteorológico que ocorre durante todo o ano, sendo que, no inverno elas são mais baixas, principalmente no período noturno. Em um ambiente com um grande número de indústrias e de circulação de veículos, como o das cidades, a inversão térmica pode levar a altas concentrações de poluentes, podendo ocasionar problemas de saúde.

Fonte: CETESB



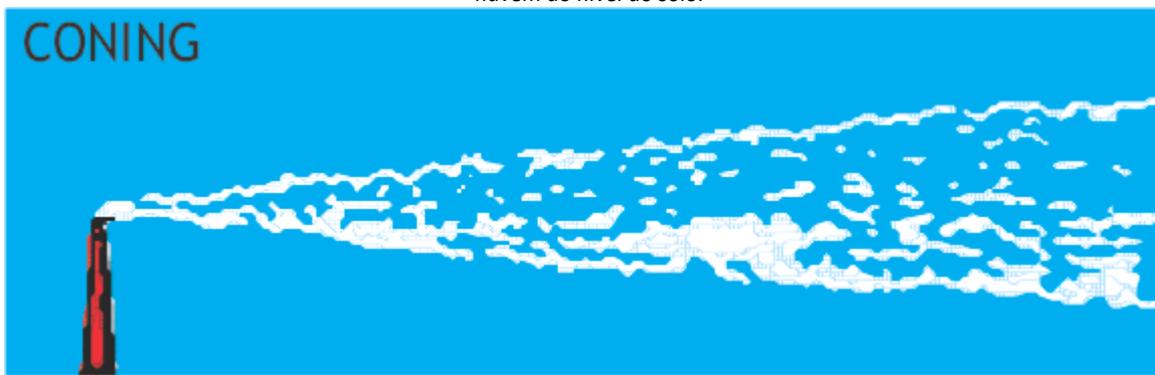
**Tipos de Plumas aéreas**

**LOOPING**



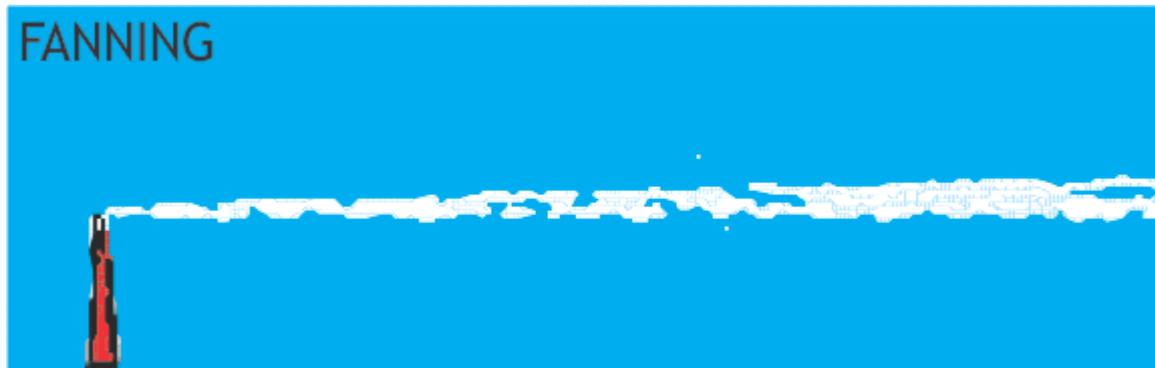
A pluma tipo “**looping**” ocorre em uma situação em que o perfil térmico é superadiabático. Nesse caso, existe muita turbulência na atmosfera. Esse tipo de pluma acontece durante dias de céu claro com poucas nuvens e muita insolação; a turbulência de origem térmica provoca grandes turbilhões (“eddies”) que dispersam rapidamente a nuvem de poluição. Em locais próximos à fonte, junto ao solo, podem ocorrer altos índices de poluição pela própria turbulência que leva a nuvem ao nível do solo.

**CONING**

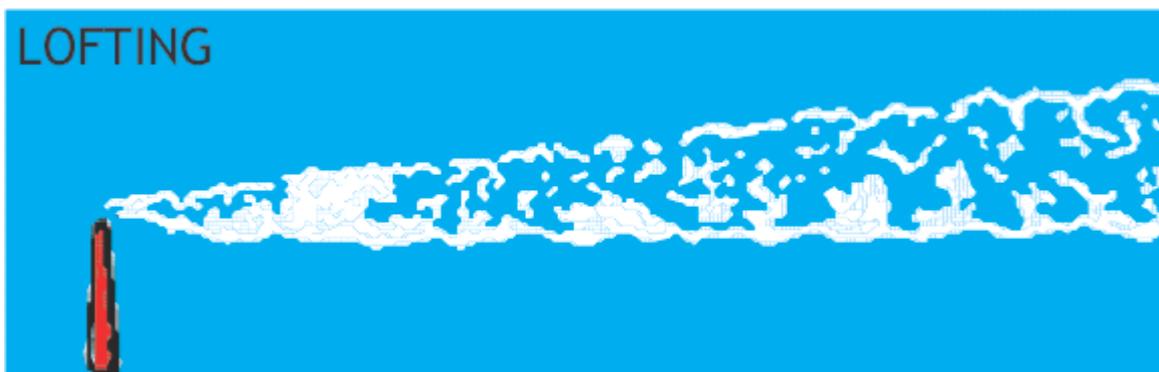


A pluma “**coning**” ocorre quando o perfil é do tipo subadiabático. Essa pluma tem forma cônica e sua dispersão é menor que a da pluma em “looping”. Comparativamente a essa, a pluma coning provoca o aumento da concentração de poluentes nas proximidades do solo, em locais bem distantes da fonte. A coning ocorre em dias nublados, com ventos moderados.

**FANNING**



A pluma “**fanning**” ocorre quando toda a massa de poluentes está contida em uma camada de inversão; a mistura vertical quase inexistente em decorrência da instabilidade do ar. A mistura horizontal é também muito baixa por causa da falta de ventos. Embora não provoque grandes concentrações em baixas altitudes, esse tipo de pluma geralmente precede uma situação mais crítica, que é a pluma do tipo “fumigation”. À medida que o sol aquece a superfície do solo, a inversão desaparece e ocorre mistura na região de gradiente negativo. Quando o ar instável atinge a pluma, aumenta a mistura vertical e, conseqüentemente, as concentrações no nível do solo.



A pluma do tipo “**lofting**” ocorre quando o lançamento dos efluentes é feito acima da camada de inversão. Esse tipo de pluma ocorre ao anoitecer, quando a inversão por radiação se inicia. Se a coluna permanecer acima da camada de inversão, esse tipo de comportamento pode persistir; caso a camada de inversão suplante a fonte, a pluma passa a ter um comportamento do tipo **fanning**.



A pluma do tipo “**fumigation**”, causada pela quebra da inversão por radiação, dura muito pouco tempo, de 30 minutos a 60 minutos. Em uma situação de brisa marítima, esse tipo de mistura pode durar várias horas.



Uma situação interessante é quando a pluma fica retida entre duas camadas de inversão: é a pluma do tipo “**trapping**”.

### Condições sazonais

Podem constituir um fator importante para alterar a velocidade de migração dos contaminantes em lugares onde a média de precipitação ou de temperatura varia muito conforme a estação. A extensão e distância, por exemplo, de uma migração de contaminantes será significativamente diferente em condições de chuva ou de neve.

### Condições Geológicas e Hidrogeológicas

Compreender as condições específicas de uma área que afetam o movimento dos contaminantes na subsuperfície é importante para muitas avaliações de saúde pública, especialmente devido à grande preocupação com o estado da água para consumo humano obtida de poços de água subterrânea. As condições geológicas e hidrogeológicas influenciarão quão rapidamente e em que direção se deslocará os contaminantes no solo e no lençol freático e, em última análise, se estes atingirão as pessoas e de

que modo. Tais condições ajudarão a determinar, igualmente, se os dados amostrados existentes são suficientes para caracterizar os pontos de exposição.

A seguir, são apresentadas algumas das principais considerações:

**A composição geológica e hidrogeológica dos lençóis subterrâneos**



Figura 36- Estrutura de uma Bacia artesianiana – Fonte: ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas

Afetam a direção e extensão da dispersão do contaminante nas águas subterrâneas. A fim de melhor compreender as peculiaridades do local, o avaliador deverá examinar relatórios da área, ou dados de levantamentos geológicos estaduais com vistas a identificar a direção do fluxo das águas subterrâneas, sua condutividade hidráulica (as características transmitidas pela água), declive,

configuração da camada freática e possíveis pontos de descarga (nascentes, fontes, águas de superfície).

**Aquífero livre ou freático** – é aquele constituído por uma formação geológica permeável e superficial, totalmente aflorante em toda a sua extensão, e limitado na base por uma camada impermeável. A superfície superior da zona saturada está em equilíbrio com a pressão atmosférica, com a qual se comunica livremente. Os aquíferos livres têm a chamada recarga direta. Em aquíferos livres o nível da água varia segundo a quantidade de chuva. São os aquíferos mais comuns e mais explorados pela população. São também os que apresentam maiores problemas de contaminação.

**Aquífero confinado ou artesianiano** – é aquele constituído por uma formação geológica permeável, confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis. A pressão da água no topo da zona saturada é maior do que a pressão atmosférica naquele ponto, o que faz com que a água ascenda no poço para além da zona aquífera. O seu reabastecimento ou recarga, através das chuvas, dá-se preferencialmente nos locais onde a formação aflora à superfície. Neles, o nível da água encontra-se sob pressão, podendo causar artesianismo nos poços que captam suas águas. Os aquíferos confinados têm a chamada recarga indireta e quase sempre estão em locais onde ocorrem rochas sedimentares profundas (bacias sedimentares).

**O aquífero semi-confinado** que é aquele que se encontra limitado na base, no topo, ou em ambos, por camadas cuja permeabilidade é menor do que a do aquífero em si. O fluxo preferencial da água se dá ao longo da camada aquífera. Secundariamente, esse fluxo se dá através das camadas semi-confinantes, à medida que haja uma diferença de pressão hidrostática entre a camada aquífera e as camadas subjacentes ou sobrejacentes. Em certas circunstâncias, um aquífero livre poderá ser abastecido por água oriunda de camadas semi-confinadas subjacentes, ou vice-versa. Zonas de fraturas ou falhas geológicas poderão, também, constituir-se em pontos de fuga ou recarga da água da camada confinada.

Em uma perfuração de um aquífero confinado, a água subirá acima do teto do aquífero, devido à pressão exercida pelo peso das camadas confinantes sobrejacentes. A altura a que a água sobe chama-se nível potenciométrico e o furo é artesianiano. Numa perfuração de um aquífero livre, o nível da água não varia porque corresponde ao nível da água no aquífero, isto é, a água está à mesma pressão que a pressão atmosférica. O nível da água é designado então de nível freático.

**As características físicas dos aquíferos**

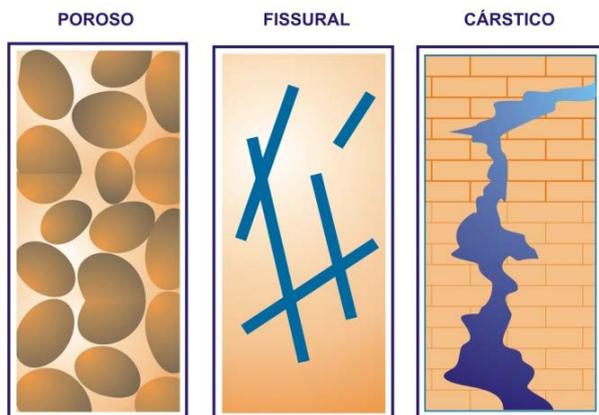


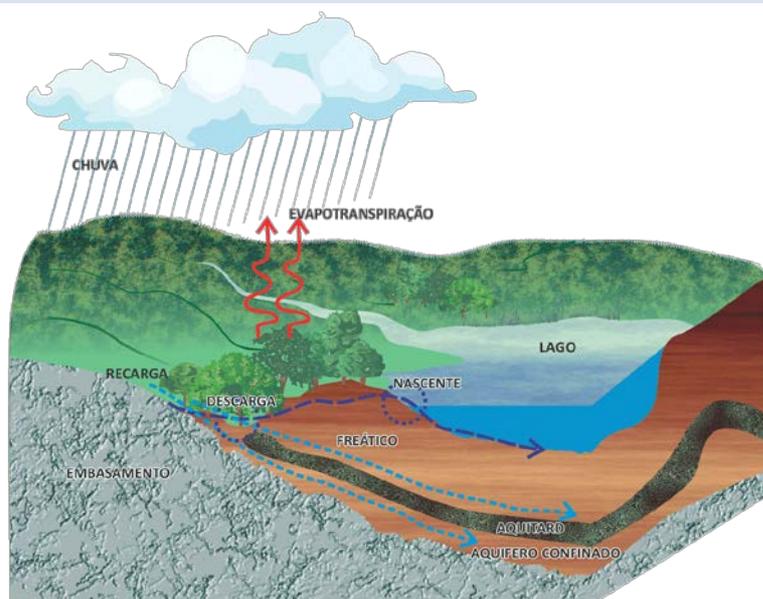
Figura 37- Tipos de aquíferos quanto à porosidade. Fonte: ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas

Existentes em um local, ou próximos a ele, especialmente quanto à porosidade e permeabilidade de seus materiais geológicos, influenciarão em grande medida os movimentos verticais e laterais das águas subterrâneas e dos contaminantes. Cabe observar a presença e continuidade dos *aquitards* (i.e., camadas geológicas que restringem o fluxo das águas subterrâneas) e áreas de recarga rápida, tais como sumidouros e canais de solução. Deve-se ter em mente o fato de que interrupções nos *aquitards*, o excessivo bombeamento de aquíferos inferiores, poços mal perfurados e com manutenção inadequada penetrando os

*aquitards*, etc, podem provocar a migração de contaminantes de um aquífero superior para um aquífero inferior “protegido”.

**Aquífero poroso ou sedimentar** - é aquele formado por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, onde a circulação da água se faz nos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila de granulação variada. Constituem os mais importantes aquíferos, pelo grande volume de água que armazenam, e por sua ocorrência em grandes áreas. Esses aquíferos ocorrem nas bacias sedimentares e em todas as várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos. Uma particularidade desse tipo de aquífero é sua porosidade quase sempre homoganeamente distribuída, permitindo que a água flua para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática ali existente. Essa propriedade é conhecida como isotropia.

**Aquífero fraturado ou fissural** - formado por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas, fendas e falhas, abertas devido ao movimento tectônico. Ex: basalto, granitos, gabros, filões de quartzo, etc. (SMA, 2003). A capacidade dessas rochas de acumular água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicação, permitindo a infiltração e fluxo da água. Poços perfurados nessas rochas fornecem poucos metros cúbicos de água por hora, sendo que a possibilidade de se ter um poço produtivo dependerá, tão somente, desse poço interceptar fraturas capazes de conduzir a água. Nesses aquíferos, a água só pode fluir onde houver fraturas, que, quase sempre, tendem a ter orientações preferenciais. São ditos, portanto, aquíferos anisotrópicos. Um caso particular de aquífero fraturado é representado pelos derrames de rochas vulcânicas basálticas, das grandes bacias sedimentares brasileiras.



**Aquífero cárstico (Karst)** - formado em rochas calcárias ou carbonáticas, onde a circulação da água se faz nas fraturas e outras discontinuidades (diáclases) que resultaram da dissolução do carbonato pela água. Essas aberturas podem atingir grandes dimensões, criando, nesse caso, verdadeiros rios subterrâneos. São aquíferos heterogêneos, descontínuos, com águas duras, com fluxo em canais. As rochas são os calcários, dolomitas e mármore.

**Aquitards** - Formação geológica que, podendo conter quantidades apreciáveis de água, a transmitem muito lentamente, não sendo viável o seu aproveitamento econômico. Em condições especiais, estas formações podem tornar-se muito importantes, por permitem a recarga vertical de aquíferos.



Figura 38- Estrutura das águas subterrâneas. Fonte: ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas

**Zona Saturada:** É uma zona que pode ser constituída por diferentes níveis ou camadas de solo ou formações rochosas, onde todos os espaços porosos ou fraturas existentes estão completamente preenchidos por água. O limite superior desta zona é designado nível freático

**Franja Capilar:** Zona da zona não saturada do solo, situada imediatamente acima do nível freático, onde a existência da água é devida à ascensão por capilaridade, a partir da zona freática.

**Nível Freático:** Nível da água de um aquífero livre em determinado momento e local, coincidente com o nível superior da zona de saturação.

**Zona de Umidade do Solo:** Nível da água de um aquífero livre em determinado momento e local, coincidente com o nível superior da zona de saturação.

**Zona não Saturada:** É a zona que se situa imediatamente abaixo da superfície topográfica e acima do nível freático, onde os espaços vazios entre as partículas estão parcialmente preenchidos por gases (essencialmente ar e vapor de água) e por água. A água contida nesta zona encontra-se à pressão atmosférica, podendo ser utilizada pelas raízes das plantas ou contribuir para o aumento das reservas de água subterrânea.

**Zona Intermediária:** Zona que faz parte da zona não saturada, compreendida entre a zona de umidade do solo e o limite de ascensão capilar.

### A profundidade das águas subterrâneas



Foto 53- Área residencial próximo a uma Base Distribuidora de Combustíveis. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/eprete

Ou a profundidade da camada freática – pode ser um dado importante para a análise. Essa profundidade, por exemplo, será uma consideração sumamente importante para avaliar se contaminantes voláteis existentes nas águas subterrâneas poderão evaporar e migrar para o ar interior. Aquíferos rasos, particularmente camadas freáticas no nível, ou pouco abaixo, das fundações de um edifício poderiam representar uma ameaça muito maior em um cenário como este do que lençóis subterrâneos mais profundos.

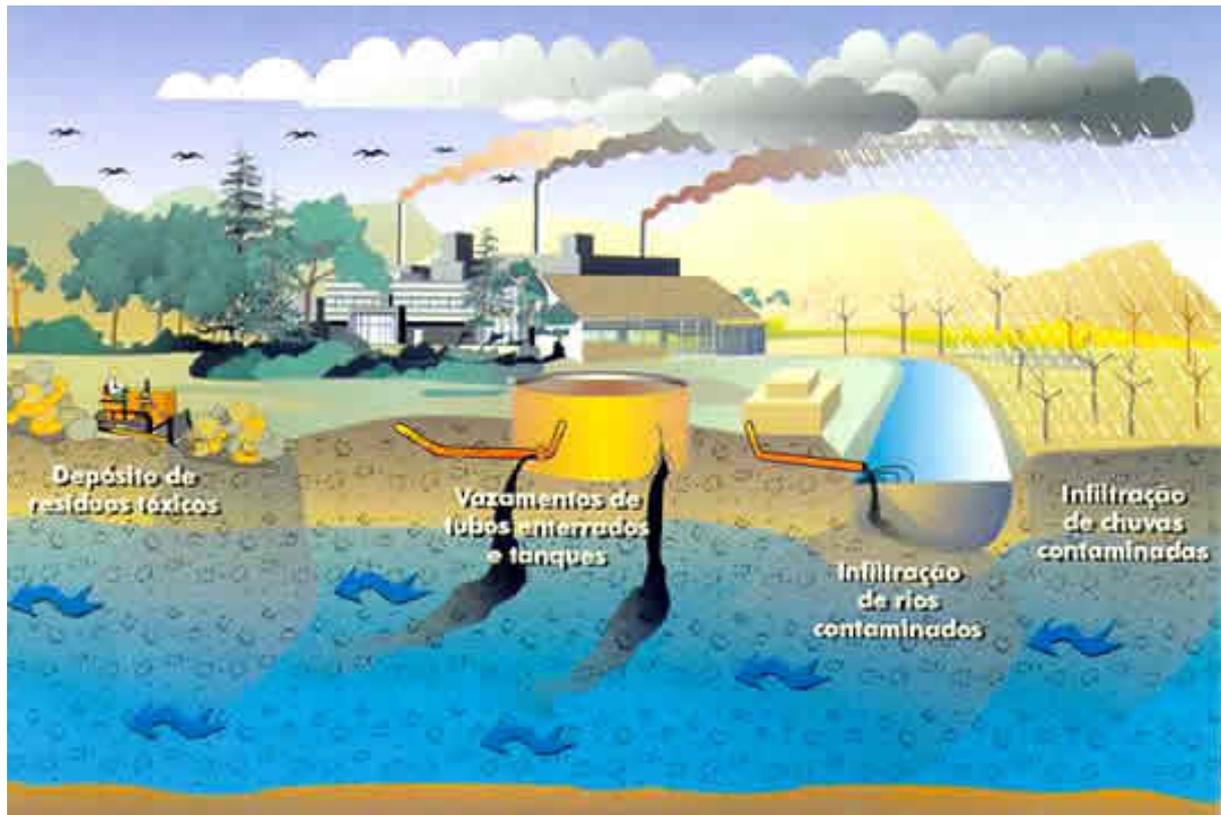


Figura 39- Influencia dos contaminantes nos meios solo e água subterrânea. Fonte: <https://goo.gl/ByYyYr>

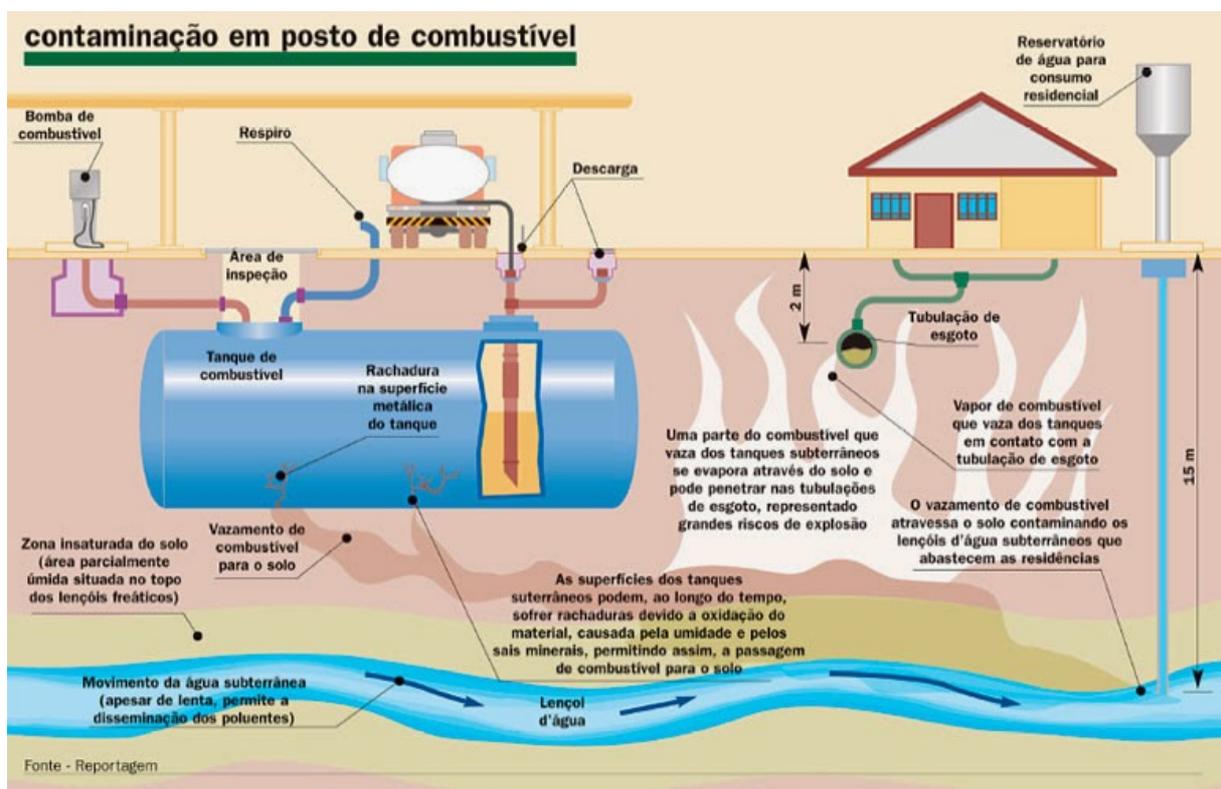


Figura 40- Influencia dos contaminantes nos meios solo e água subterrânea para combustíveis. Fonte: <https://goo.gl/Fe7q7C>

<p><b>As características do solo</b></p>	<p><b>A camada vegetal e as características vegetativas</b></p>	<p><b>A topografia</b></p>
<p>Tais como configuração, composição, porosidade, permeabilidade e capacidade de troca de cátions, influenciam a velocidade de percolação (ou infiltração da água da chuva), a recarga das águas subterrâneas, a emissão de contaminantes e a dispersão. Sabendo que muitos contaminantes tendem a adsorver-se prontamente a materiais argilosos, por exemplo, o avaliador poderá analisar solos com alto teor de argila e solos arenosos de maneira diferente. Independentemente do tipo de solo, porém, a maior sorção acontecerá em materiais orgânicos.</p>	<p>De um local influenciam a velocidade de erosão, percolação e evaporação do solo. Emissões liberadas em superfícies pavimentadas podem percorrer grandes distâncias via escoamento de águas de superfície, enquanto emissões no solo podem ficar confinadas a pequenas áreas.</p>	<p>Ou a relativa inclinação ou elevação do local afetará a direção e a velocidade do escoamento das águas de superfície, a velocidade da erosão do solo e o potencial de alagamento.</p>

**Os objetos produzidos pelo homem**

Tais como esgotos, bueiros e canais de drenagem podem acelerar o movimento dos contaminantes.

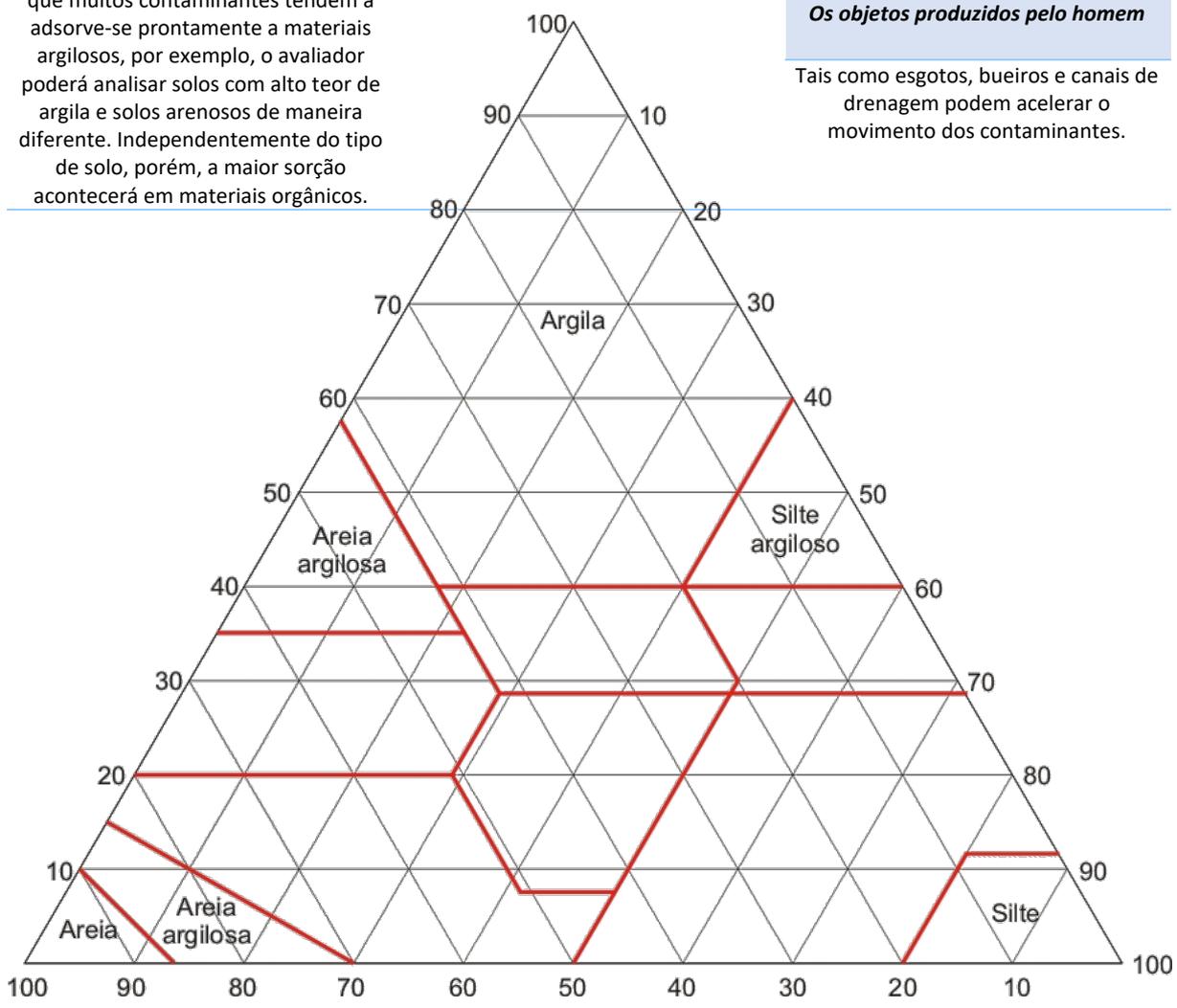


Figura 41- Classificação quanto a textura do solo. Fonte: EPA – Soil Screening Guidance: User’s Guide (9355,4-23)

Tamanho das partículas de solo em mm								
Argila	0,002	Silte	0,05	Areia	Muito fina	0,10	Cascalho	>2,00
					Fina	0,25		
					Média	0,50		
					Grossa	1,00		
					Muito Grossa	2,00		

**Os poços perfurados em aquíferos**

Podem afetar o fluxo e a direção das águas subterrâneas. A velocidade de bombeamento de poços municipais, industriais ou agrícolas de grande porte pode influenciar localmente os padrões de

escoamento das águas subterrâneas, bem como alterar a dispersão dos contaminantes no aquífero situado em uma área adjacente ao poço, algumas vezes chamada de “captura”.



Figura 42



Figura 43

Mecanismo de transporte e forma de contato com água contaminada

Fonte: [www.atsdr.cdc.gov/.../es\\_groundwater\\_fs.html](http://www.atsdr.cdc.gov/.../es_groundwater_fs.html)

Os quadros próximos apresentam uma perspectiva geral, para cada meio específico em relação aos mecanismos de transporte que podem afetar o contato com os contaminantes.

Fatores Específicos do Sítio que afetam os Mecanismos de Transporte		
Meio	Mecanismo de transporte	Fatores que afetam o transporte
Solo, Sedimento e Lodos	Escorrimento (erosão de solo)	Presença de plantas
		Tipo e química do solo
		Taxa de precipitação
	Filtração (lixiviação)	Configuração do solo e condições da superfície
		Tipo de solo
		Porosidade e permeabilidade do solo
Volatilidade	pH do solo	
Suspensão e resuspensão	Capacidade de intercâmbio catiônico	
	Conteúdo de carbono orgânico	
Captação biológica	Propriedades físicas	
	Propriedades químicas	
	Clima	
	Suspensão e resuspensão	Presença de plantas
		Atividades e tráfego no Sítio
	Captação biológica	Chuva
		Propriedades do solo
		Concentração de contaminantes

Fatores Específicos do Sítio que afetam os Mecanismos de Transporte		
Meio	Mecanismo de transporte	Fatores que afetam o transporte
Biota	Biomagnificação	Presença de plantas e animais
		Taxa de consumo
	Migração	Atividades comerciais como agricultura, gado de corte e de leite, peixes, etc.
		Atividade desportiva como caça e pesca
Adsorção ou absorção de vapor	Espécies migratórias	
	Tipo de solo	
Captação por raiz	Espécies de plantas	Profundidade da contaminação
		Umidade do solo
	Espécies de plantas	

Fatores Específicos do Sítio que afetam os Mecanismos de Transporte		
Meio	Mecanismo de transporte	Fatores que afetam o transporte
Resíduos perigosos expostos, mineração, refugos líquidos, tambores com resíduos, etc.	Derrames de água superficial	Para todos os mecanismos ver, tipo de resíduos, integridade do contaminante e condições climáticas
	Lixiviação	
	Movimento de água subterrânea	
	Volatilidade	

Fatores Específicos do Sítio que afetam os Mecanismos de Transporte		
Meio	Mecanismo de transporte	Fatores que afetam o transporte
Água superficial	Fluxo por via terrestre (via deságüe natural ou canais construídos pelo homem)	Precipitação como freqüência e duração
		Índice de infiltração
		Cobertura da vegetação e usos do solo
		Tipo e química do solo
		Uso como água potável
		Localização, largura e profundidade do canal, velocidade, fatores de diluição e direção do fluxo
		inundações
	Volatilidade	Áreas como fontes de descargas fixas ou móveis
		Condições climatológicas
		Superfície da área
Conecção hidrológica entre água superficial e água subterrânea	Concentração do contaminante	
	Correntes afluentes e efluentes	
Adsorção a partículas em solo	Permeabilidade do leito da corrente	
	Tipo e química do solo	
Sedimentação (partículas em suspensão e precipitadas)	Tamanho e densidade das partículas	
	Tamanho e densidade das partículas	
Captação biológica	Concentração dos agentes químicos	
	Presença de plantas e animais	

Fatores Específicos do Sítio que afetam os Mecanismos de Transporte		
Meio	Mecanismo de transporte	Fatores que afetam o transporte
Água Subterrânea	Movimento da água subterrânea (via conexão hidrolítica entre aquíferos ou com água superficial e construções humanas como: poços; dutos; e drenagens inadequadas)	Hidrologia da área como depósitos aluviais, fraturas e continuidade entre aquíferos
		Precipitação
		Índice de infiltração
		Direção da água subterrânea
		Profundidade do aquífero
		Correntes afluentes e efluentes
		Presença de outros compostos
		Tipo de solo
		Química do solo
		Presença e condições dos poços como localização, profundidade, material de revestimentos e construção
	Volatilidade	Canais e esgoto
		Profundidade ao nível hidrostático
	Adsorção a partículas de solo ou precipitação por liberações de solução	Tipo de solo e cobertura
		Condições climatológicas
Captação Biológica	Concentração dos contaminantes	
	Presença de outros compostos	
	Tipo e química do solo	
	Presença de outros compostos	
	Água subterrânea empregada para irrigação agrícola e consumo animal	

Fatores Específicos do Sítio que afetam os Mecanismos de Transporte		
Meio	Mecanismo de transporte	Fatores que afetam o transporte
Ar	Vento	Velocidade, direção, estabilidade atmosférica
	Aerolização	Armazém de químicos de baixa pressão
	Deposição atmosférica	Chuva

3.1.3. Identificação do Ponto de Exposição	
	Possíveis pontos de exposição para cada meio ambiental→
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Águas subterrâneas</li> <li>• Solo</li> <li>• Águas de superfície</li> <li>• Sedimentos</li> <li>• Ar</li> <li>• Cadeia alimentar</li> <li>• Outros</li> </ul>

### *Identificação dos Pontos de Exposição*

O ponto de exposição é o ponto onde as pessoas entram em contato com um local contaminado e pode ser identificado mediante uma revisão de dados sobre o uso e ocupação do solo e dos recursos naturais, e por meio de entrevistas e preocupações com a comunidade. Os pontos de exposição devem ser determinados para cada meio ambiental, o mesmo acontecendo com as rotas mediante as quais a exposição pode ocorrer. Dentre outras questões a serem consideradas, inclui-se o estudo de possíveis alterações ao longo do tempo (uso da terra no futuro, p.ex.) e de condições que possam limitar ou eliminar o contato com o meio contaminado.

#### **Possíveis Pontos de Exposição para cada meio ambiental**

Os possíveis pontos de exposição para cada um dos meios ambientais encontram-se resumidos abaixo, devendo buscar identificar quais os pontos de exposição relevantes para um local particular. É essencial ter em mente que as possíveis rotas de exposição podem mudar significativamente, dependendo do uso e ocupação do solo no local e nas áreas adjacentes.

#### **A contaminação da água subterrânea**

*Fonte: ATSDR – Agency for Toxic Substances & Disease Registry*

Não existe água que seja completamente pura, porque mesmo na natureza ela contém impurezas. À medida que a água caminha por diferentes rotas, acumula-se em corpos d'água e ao se infiltrar nas camadas de solo, vai dissolvendo ou absorvendo os minerais ou substâncias que entram em contato com ela. Algumas destas substâncias são prejudiciais à saúde, podendo inclusive não só alterar o sabor da água com também contaminá-la.

Alguns contaminantes se originam da erosão natural das formações rochosas. Outros contaminantes originam das descargas de fabricas, produtos agrícolas, ou químicos utilizados no geral. Os contaminantes também podem prover de tanques de armazenamento de água, fossas sépticas, aterros sanitários e vertedouros. Atualmente, os contaminantes da água subterrânea de maior preocupação são os compostos sintéticos. Entre eles incluem os solventes, pesticidas, tintas em geral, vernizes, combustíveis e nitrato.

#### **Água salgada**

A água subterrânea em áreas costeiras pode contaminar-se com a água do mar se taxa de bombeamento for muito alta, causando a entrada da água do mar nos aquíferos de água doce.

#### **Nitrato na água subterrânea**

O nitrato é o contaminante inorgânico mais conhecido e talvez um dos que geram maior preocupação. O nitrato se origina de diferentes fontes, tais como: aplicação de fertilizantes, fossas sépticas sem funcionamento adequado, valas de confinamento de resíduos sólidos sem proteção inferior e através da infiltração de águas residuais sem tratamento.

### Águas subterrâneas



Foto 54- Utilização de água de várzea para irrigação.  
Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/eprete

Os pontos de exposição em potencial incluem poços e nascentes empregados para fins municipais, domésticos, industriais e agrícolas. Os lençóis subterrâneos podem, igualmente, ser usados como fonte de fornecimento de água para piscinas e para outras atividades recreativas aquáticas. Em algumas áreas, as fontes naturais são utilizadas tanto para atividades recreativas quanto para o suprimento

de água.

### Águas de superfície



Foto 55- Rio Atibaia no Recanto dos Pássaros em Paulínia/SP. Fonte: PM/VS de Paulínia

Os pontos de exposição incluem irrigação, sistemas de abastecimento de água para uso público, industrial e pecuário. Assim sendo, é de especial importância localizar as fontes de abastecimento de água que possam estar situadas à jusante do local. As águas de superfície podem ser usadas, igualmente, para atividades recreativas, tais como natação, pesca e esportes náuticos.

*Deve-se observar que o uso recreativo das águas de superfície não se restringe a parques e praias públicas; alguns moradores (especialmente crianças entre 6 e 12 anos), poderão chapinhar, nadar, brincar e até mesmo pescar no sistema de drenagem de águas pluviais, em riachos da área ou açudes locais. Durante as visitas à área, o avaliador poderá observar esses diferentes usos, bem como entrevistar os membros da comunidade e seus contatos no local.*

### Solo

Existem diferentes maneiras de uma pessoa entrar em contato com o solo contaminado. A matriz no quadro a seguir será útil no momento de avaliar os potenciais pontos de exposição do solo. Obviamente, devem-se sempre considerar os cenários específicos de cada local, que podem divergir das diretrizes gerais apresentadas. Algumas pessoas consomem barro ou terra (comportamento denominado de geófagia - hábito patológico de ingerir barro ou outra forma de terra), geralmente de profundidades que variam desde a superfície até mais de 1,00m abaixo da superfície. Embora os materiais consumidos nesses casos sejam basicamente conhecidos e geralmente não-contaminados, a identificação de um cenário como este é essencial para uma definição precisa dos possíveis pontos de exposição.



Foto 56- Plantio de milho próximo a AC. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/eprete



Foto 57- Unicef diz que pelo menos 300 milhões de crianças vivem em áreas contaminadas.

**Possíveis Pontos de Exposição em Solos Contaminados:**

Como variam as populações expostas, segundo a localização e a profundidade da contaminação?

A matriz a seguir é uma ferramenta útil para identificar os cenários de exposição mais prováveis para diferentes combinações de contaminação no solo

	Contaminação no local	Contaminação fora do local
Contaminação do solo de superfície	Ponto de exposição para trabalhadores atuando no local e invasores.	Moradores e visitantes da área contaminada; determinar população exposta, em sua maioria, pelo uso e ocupação do solo e por restrições de zoneamento.
Contaminação do solo de sub-superfície	Ponto de exposição principalmente para trabalhadores envolvidos com escavações ou outras atividades envolvendo o movimento de terra.	Moradores e visitantes que escavam a terra para plantar árvores, construir piscinas ou para outros usos.

*Obs: Em certos locais, o solo e outros materiais residuais podem ser utilizados com aterro em locais próximos, mas fora de seu perímetro. Nesses casos, os níveis de contaminação encontrados no local de interesse poderiam corresponder a concentrações de pontos de exposição detectados fora da área de interesse.*

**Ar**



Foto 58- Área de deposição de resíduos domésticos sem nenhum tipo de controle. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/eprete

Possíveis pontos de exposição envolvem contaminantes voláteis ou que se adsorvem a finas partículas suspensas, e o contato pode ocorrer em locais abertos ou fechados. A área a sota-vento pode se tornar um ponto de exposição como resultado da volatilização do ar contaminado ou dos contaminantes fixados a partículas de poeira. O ar em instalações situadas nas proximidades do local contaminado pode também ser um ponto de exposição para contaminantes de interior que chegam ao lugar pela migração de gases do solo. Especificamente, estruturas em aterros sanitários ou em suas proximidades deveriam ser avaliadas em busca

de elementos inflamáveis (metano) e asfixiantes (dióxido de carbono) provocados pela migração de gases provenientes do aterro.

Sedimentos



*Foto 59- Água poluída – A lagoa Rodrigo de Freitas do Rio é um dos locais mais pitorescos da cidade. No entanto, a lagoa, que irá sediar as competições de remo e canoagem nos Jogos Olímpicos de 2016, tem problemas ambientais significativos. Ele sofre de mortes crônicas de peixe devido a algas. Em 2015, 11 membros da equipe dos EUA e 4 treinadores sofreram doenças de estômago durante o Campeonato Mundial de Remo de Júnior realizado na lagoa. Dois dos atletas precisavam receber IVs. Embora o governo tenha tentado limpar as vias navegáveis, há muito a ser feito.  
Fonte: <https://www.cbsnews.com/pictures/rio-olympics-problems/8/>*

Os sedimentos podem servir como pontos de exposição para nadadores, trabalhadores e outras pessoas que entrem em contato com sedimentos submersos ou expostos. Em alguns locais, margens dos rios podem se tornar importantes pontos de exposição, pois os sedimentos existentes na praia podem ter-se originado em locais à montante. Bancos de areia, depósitos em terras de inundação e outras zonas arenosas ao longo de rios e em valas de drenagem são, muitas vezes, atraentes áreas "não-oficiais" de lazer para as crianças. Além disso, sedimentos podem ser escavados ou transportados para outros locais e usados como terra vegetal. De fato, em decorrência do modo como é realizada a manutenção de valas, canais de drenagem, canalizações e dos cursos d'água, os sedimentos são geralmente distribuídos a uma variedade de regiões. Entretanto, a atual regulamentação ambiental requer que sedimentos altamente contaminados sejam manipulados como resíduos perigosos e não sejam transportados para áreas de uso público.

Cadeia alimentar

Pontos de exposição podem estar presentes se as pessoas consumirem plantas, animais ou outros produtos alimentícios que estiveram em contato com solos, sedimentos, resíduos, águas subterrâneas, águas de superfície ou ar contaminados. Podem ser incluídos frutas e legumes cultivados em hortas residenciais, frutos de pomares, plantas utilizadas para fins medicinais, gado, caça e outros organismos terrestres ou aquáticos. Em alguns locais, plantas silvestres, animais e peixes constituem uma porção substancial da dieta alimentar dos moradores locais, possivelmente em um nível de subsistência.



Foto 60- Pescaria em água contaminada.

Outros



Foto 61- Lixo acumulado na margem do Rio Pinheiros, em São Paulo, em razão das chuvas. Foto: Patrícia Santos/Agência Estado, 7/12/2007



Foto 62- Deslizamento na Favela Santa Madalena, bairro de Sapopemba, Zona Leste de São Paulo. Foto: Paulo Liebert/Agência Estado, 09/12/2009

Materiais contaminados em locais comerciais ou industriais (matérias-primas, lodo proveniente de processos de tratamento, resíduos empilhados, metais carregados de radiação, p.ex.) podem representar um ponto de exposição direto para trabalhadores locais, visitantes ou invasores.

Definições específicas e claras dos pontos de exposição são necessárias no momento da avaliação das implicações de saúde pública decorrentes da exposição. Em suma, conhecer a natureza e a extensão da contaminação nos potenciais pontos de exposição é essencial para que as avaliações dos efeitos sobre a saúde sejam significativas. Além disso, deve-se determinar o que se desconhece sobre a área e estabelecer a existência ou não de importantes lacunas de dados.

3.1.4. Vias de Exposição	
	Possíveis vias de exposição →
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingestão</li> <li>• Inalação</li> <li>• Contato dérmico</li> <li>• Exposição externa</li> </ul>

### Identificação das Vias de Exposição

De modo geral, os indivíduos podem estar expostos a contaminantes em ambientes de uma ou mais maneiras:

- **Ingestão** de contaminantes em águas subterrâneas, águas de superfície, solos e alimentos.
- **Inalação** de contaminantes no ar (poeira, vapor, gases), inclusive aqueles volatilizados ou emitidos de outras formas nas águas de superfície e no solo.
- **Contato dérmico** com contaminantes na água, no solo, no ar, nos alimentos e em outros meios, tais como resíduos expostos ou outros materiais contaminados.
- **Exposição externa** à radiação. As radiações gama são únicas se comparadas aos contaminantes químicos porque elas viajam para além da fonte. Portanto, um contato direto não é necessário para que a exposição ocorra. De fato, a radiação pode facilmente penetrar materiais sólidos, tais como solos, tambores e até mesmo chumbo. As radiações gama, em particular, podem percorrer grandes distâncias antes de perder a potência. As exposições externas à radiação também incluem exposições à partícula beta proveniente de diversos materiais radioativos. Estes também podem penetrar certos materiais e percorrem diversos metros antes de perder a força.

Durante a avaliação das rotas de exposição, será necessário identificar quais as vias possíveis para cada ponto de exposição. Se, por exemplo, uma residência está sendo abastecida por águas subterrâneas contaminadas, a família poderá estar exposta mediante a **ingestão** (ao beber a água), a **inalação** (por volatilização durante o banho de chuveiro) e ao **contato dérmico** (ao tomar banho de banheira ou de chuveiro). É importante formular certas perguntas para lograr determinar se a via de exposição é viável para uma população específica. Se os moradores beberem água engarrafada e utilizarem as águas subterrâneas para fins não-potáveis, eles não estarão expostos às águas subterrâneas pela via da ingestão. Contudo, se as crianças estiverem utilizando essa água para banhar-se ou nadar na banheira ou na piscina, poderá ocorrer uma ingestão acidental. É importante considerar todas as populações possíveis.

#### Considerações Temporais e Espaciais

Avaliar o modo pelo qual os padrões de contaminação mudam no tempo e no espaço é importante para compreender onde, como e quando as pessoas entraram ou poderão entrar em contato com os contaminantes do local. A utilização de um sistema de informação geográfica – **SIG** e de várias ferramentas de modelagem poderão ajudar a captar tendências temporais e espaciais fundamentais.

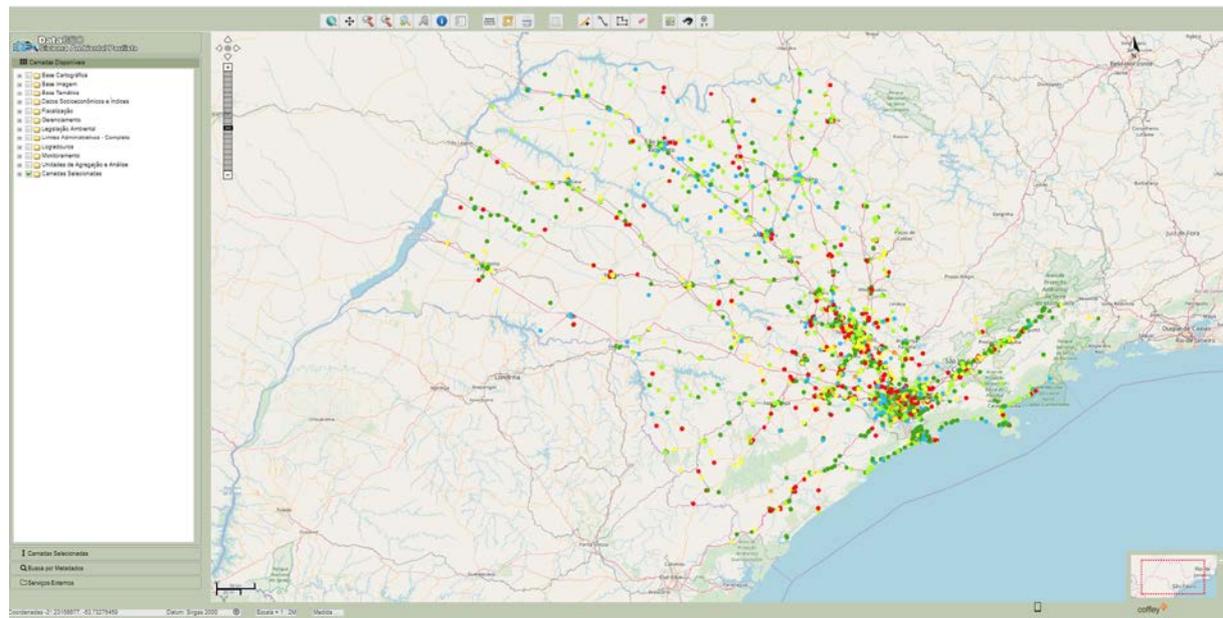
#### SIG - Sistema de informação geográfica

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG ou GIS - *Geographic Information System*, do acrônimo inglês) é um sistema de hardware, software, informação espacial, procedimentos computacionais e recursos humanos que permite e facilita a análise, gestão ou representação do espaço e dos fenômenos que nele ocorrem.

O Estado de São Paulo disponibiliza o DataGeo - Sistema Ambiental Paulista que permite visualizar diversas camadas de informações, dentre elas, o de áreas contaminadas e o IDE-SP - Infraestrutura de Dados Espaciais do Estado de São Paulo.

DataGeo: <http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>

The screenshot shows the DataGeo website interface. At the top, there is a navigation menu with options like 'Início', 'Programas', 'Temas', 'Classificações', 'Cadastro', 'Sobre', 'FAQ', and 'Tutoriais'. Below this, the main heading reads 'Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo - IDEA-SP' and 'Base: Territorial Ambiental Unificada'. The interface is divided into several sections: 'Visualização por Assunto' (Visualization by Subject) with logos for IGC, BASCENTES, ROA, and SCAR-SP; 'Temas Mais Proprietários' (Most Popular Themes) featuring a word cloud of environmental terms; 'Consultar dados' (Consult data) with a search bar; 'Visualizador de Mapas' (Map Viewer) showing a map of São Paulo; and 'Notícias IDEA-SP' (IDEA-SP News) with several news items. At the bottom, there is a row of small images representing various environmental scenes.





Portal do Governo | Cidade SP | Investe SP | SP Global | SP Notícias

Visualizador IDE-SP

Procure por WMS aqui...

Agência Metropolitana da Baixada Santista

Cetesb

Comitê de Bacia do Ribeira Iguaçu e Litoral Sul S...

Empresa S.A.

EMTU/SP

Fundação ITESP

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de...

Instituto Agronômico de Campinas

Instituto Geológico

Secretaria da Cultura - Condephaat

Secretaria de Desenvolvimento Social

SMA

Procure por WMS aqui...

Esta página utiliza cookies. Se você está navegando nesta página, assumimos que você concorda com isso. Quer saber mais sobre este gerenciamento? Aceitar ou Não Usar

Procurar

Navegar por tópico

Mapas de base, Coberturas Aéreas, Imagens de Satélite

Planejamento e Cadastro

Localização

Promover recursos

Conselho de Juntas

Comunidade e Cultura

Águas Interiores

Solo

Acidentes

Cultura, Pesca, Pesca

Últimas novidades

Mais popular

QQR NP - Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos Nova Proposta 2012	Repasso de ICMS Ecológico 2013 - LE Nº 6.510/93	Pessoas afetadas por acidentes e desastres devido a eventos geodinâmicos (período 2000-2013)
Acidentes relacionados a inundação (período 2000-2013)	ICTEM - Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de Município em 2012	ICTEM - Indicador de Coleta e Tratabilidade de Esgoto da População Urbana de Município em 2013
Acidentes relacionados a escorregamentos (período 2000-2013)	Obras por acidentes e desastres devido a eventos geodinâmicos (período 2000-2013)	Certificação do Programa Município Verde Azul 2013

Powered by T21 2013©T21

### Considerações Temporais

Os padrões de uso e ocupação do solo podem mudar através dos tempos. Portanto, pontos de exposição passados, presentes e futuros devem ser considerados. Um local pode ter tido várias utilidades (recreativas, residenciais, agrícolas, comerciais e industriais) que resultaram em uma variedade de pontos de exposição, dependendo do meio contaminado e do cronograma específico a ser examinado. Quer devido a ações de remediação quer a outras atividades relacionadas ao local, é possível que nenhum ponto de exposição exista atualmente. Entretanto, deve-se ter em mente que pontos de exposição podem ter ocorrido no passado e que é essencial tentar identificá-los. Da mesma forma, é preciso prever ou planejar novos usos e ocupação do solo a fim de identificar futuros pontos de exposição.



Foto 63- Área agrícola na proximidade das Chácaras Recanto dos Pássaros em Paulínia em 1965. Fonte: PM/VS de Paulínia

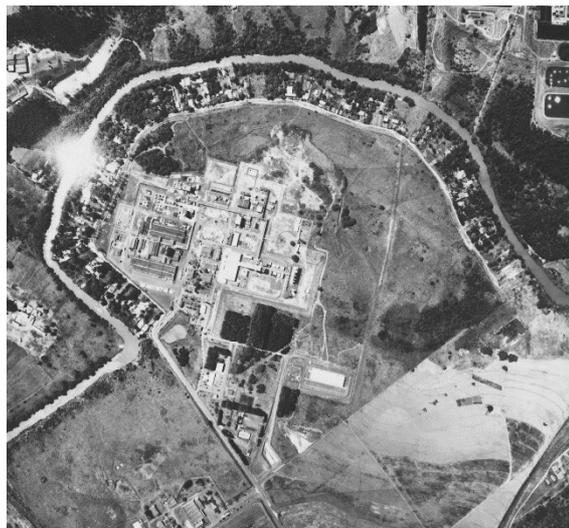


Foto 64- Implantação da Shell Química na área de plantio de café em 1976. Fonte: PM/VS de Paulínia

### Considerações Espaciais

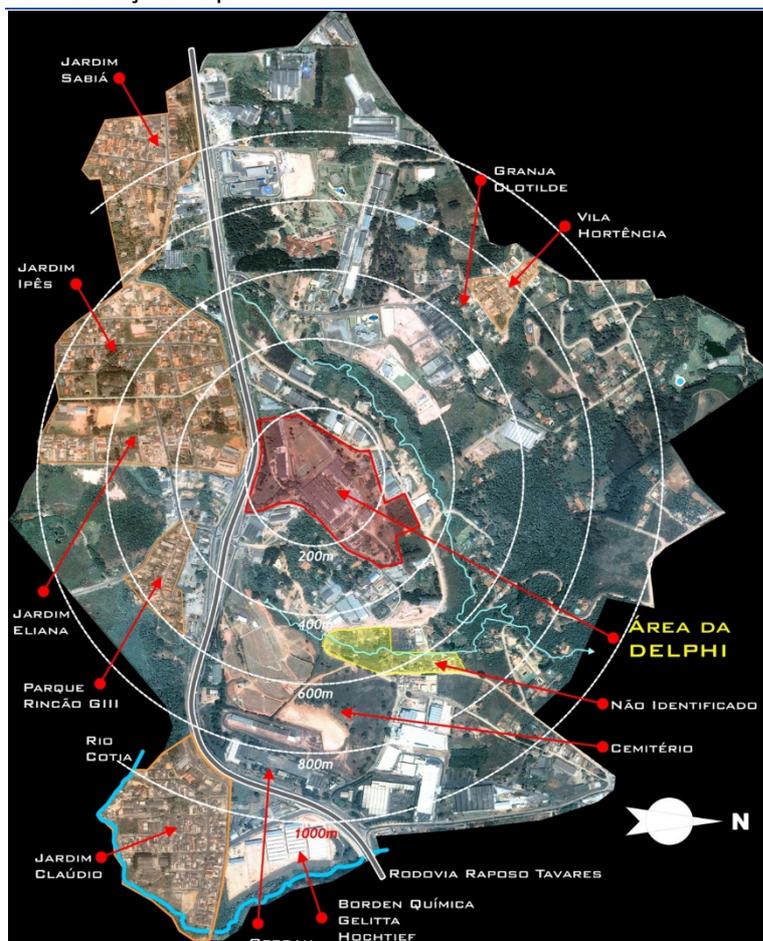


Figura 44- Região do entorno da empresa Delphi em Cotia/SP. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/fcampos

Muitos elementos de uma rota de exposição variam segundo a área, inclusive os níveis de contaminação ambiental, pontos de exposição potenciais e populações receptoras. O SIG poderá se mostrar uma ferramenta extremamente útil para analisar esses elementos simultaneamente e gerar representações visuais de dados. Os analistas do SIG poderão, por exemplo, elaborar mapas multimodais, com várias camadas de informação, tais como localização das fontes de contaminação, áreas com diferentes níveis de contaminação (plumas, p.ex.), densidades populacionais e outras características demográficas e pontos de exposição (poços particulares, residências supridas por sistemas municipais de abastecimento de água, p.ex.). Esses dados podem abranger áreas mais amplas, tais como municípios ou grandes cidades, e também locais pequenos, como terrenos ou

quarteirões recenseados. Os avaliadores deveriam consultar os especialistas em SIG a fim de discutir a viabilidade e adequação da utilização de mapas em áreas específicas.

O SIG também pode ser acoplado a dados temporais (modelos de reconstrução de doses) com vistas a avaliar possíveis exposições passadas, a definir onde serão necessárias amostragens adicionais, ou a prever os locais de exposições futuras.

#### Medidas que Poderiam Evitar as Exposições

---

Quando a presença de barreiras e controles físicos (cercas permanentes, portões, sistemas de filtragem de água, p.ex.) ou de controles institucionais (restrições escriturais, licenças de construção) evita o contato com o meio contaminado em questão, o avaliador poderá supor a inexistência de pontos de exposição. Entretanto, deve-se ter em mente que alguns desses controles nem sempre são efetivos. Em áreas cercadas, podem-se encontrar sinais de invasores; em áreas com alertas de pesca, o avaliador certamente ouvirá casos sobre moradores que pegaram peixes, mariscos, sapos ou tartarugas. Deve-se, sempre, ter uma visão crítica sobre o impacto dessas medidas que poderiam evitar as exposições.

3.1.5. Identificação da População Potencialmente Exposta	
	<b>Identificação da população →</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Populações residenciais</li> <li>• Populações em atividade recreativa</li> <li>• Populações de trabalhadores</li> <li>• Populações transeuntes</li> <li>• Populações potencialmente de “alto risco”               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Crianças</li> <li>○ Idosos</li> <li>○ Pessoas com problemas crônicos de saúde</li> </ul> </li> <li>• Populações especialmente vulneráveis</li> </ul>
	<b>Identificação de padrões de uso →</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de águas subterrâneas</li> <li>• Uso de águas de superfície</li> <li>• Consumo de peixe, mariscos e caças locais</li> <li>• Consumo e uso de alimentos cultivados localmente</li> </ul>
	<b>Outros fatores que potencialmente influenciam a exposição →</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condições climáticas</li> <li>• Acessibilidade do local</li> <li>• Controles institucionais</li> </ul>

### Identificação de Populações Potencialmente Expostas

A identificação de populações específicas que possam estar expostas a contaminantes, e a determinação das atividades que influenciarão a magnitude das exposições estudadas, estão dentre os principais objetivos de qualquer avaliação de rotas de exposição. Tanto as características quanto o tamanho de uma população potencialmente exposta devem ser determinados.

As populações a serem consideradas incluem moradores, pessoas envolvidas em atividades recreativas, trabalhadores, transeuntes, populações potencialmente de "alto risco" e outras populações especificamente **vulneráveis**. Populações potencialmente expostas deveriam ser identificadas com o maior grau de precisão e especificidade possível. A seguir listam-se alguns exemplos mais comuns:



Se a única rota de exposição existente for por meio do solo contaminado de uma zona residencial, ao longo do perímetro norte de um determinado local, a população de interesse daquela via de exposição particular estará composta pelos moradores e demais pessoas que frequentam a área específica, e não por todos os moradores que vivem em um raio de um quilometro do local investigado.

Foto 65- Entorno da base da Shell Carioca. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/eprete



Todos os usuários de um sistema municipal de abastecimento de água poderiam constituir a população de interesse se a água da torneira do sistema estivesse contaminada. Entretanto, um único poço municipal contaminado no âmbito de todo um sistema de abastecimento de água composto por inúmeros poços que servem diferentes porções do sistema não resultaria em exposição para a totalidade dos usuários, e sim apenas para os que estão conectados ao poço contaminado.

Foto 66- Poço amazonas. Fonte: <http://informativorural.blogspot.com.br/2013/04/acoes-de-convivencia-com-seca-avancam.html>



Se os poços particulares estiverem contaminados, nesse caso a população exposta estaria constituída apenas pelos usuários daqueles poços particulares.

Foto 67- Água de poço particular contaminado e lacrado pela VS de Santo Antônio de Posse → Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/eprete

**Caracterização das Populações Potencialmente Expostas**

Cada área de estudo é única em si mesma e o avaliador deve considerá-la individualmente de modo a determinar os fatores que poderiam estimular ou reduzir a frequência e a magnitude da exposição humana no local. Mediante uma análise criteriosa, será possível identificar as populações que estiveram, estão ou provavelmente estarão expostas a uma contaminação e, simultaneamente, determinar a extensão das exposições por diferentes vias. É importante ser o mais explícito possível quanto à probabilidade de uma população específica entrar ou não em contato com um meio ambiental contaminado.

Um exame do uso e ocupação do solo e do uso dos recursos naturais na área estudada e adjacências fornecerão informações valiosas sobre as atividades das populações locais e a possibilidade de maior exposição humana. O uso e ocupação do solo irão afetar, de modo significativo, os tipos e a frequência das atividades antrópicas da área e, conseqüentemente, o grau e a intensidade do contato das pessoas com a água, o solo, o ar, os resíduos expostos ou as plantas e animais comestíveis. O acesso e o uso da área (trabalho, lazer, equitação, atividades recreativas, caça, pesca, p.ex.) devem ser examinadas cuidadosamente. Esse tipo de informação pode ser obtido durante as visitas ao local, ou em documentos sobre a área ou, ainda, em contatos com os membros da comunidade e autoridades estaduais e municipais.

**Ao caracterizar a população potencialmente exposta, é importante saber:**

- Quem está exposto?
- Que tipo de atividade ocorre na área?
- Onde estão sendo realizadas essas atividades?
- Quando ocorreu a exposição (passada, presente, futura)?

- Qual sua duração?
- Como as pessoas estão expostas?
- Qual o uso e ocupação do solo?
- Alguma situação especial de exposição?



Foto 68- Pulverização de produtos vegetais: Os alimentos vendidos no mercado norueguês devem cumprir os limites de resíduos de pesticidas. Foto: AP. Fonte: [https://www.nrk.no/nordland/\\_-lite-rester-av-plantevernmidler-1.11785705](https://www.nrk.no/nordland/_-lite-rester-av-plantevernmidler-1.11785705)

A seguir, é apresentado um resumo dos principais elementos necessários à identificação das populações potencialmente expostas, seus padrões de atividade e outros fatores que poderiam influenciar sua exposição aos contaminantes. Grande parte dessas informações será utilizada, igualmente, na avaliação dos efeitos sobre a saúde.

#### Identificação das populações

##### **Populações residenciais.**



Devem-se identificar casas, *trailers*, edifícios de apartamentos e outros complexos residenciais situados na área ou próximos a ela. Com o passar do tempo, esses moradores constituem a população com maior probabilidade de exposição.

Foto 69- Favela nas proximidades da base Shell Carioca em São Paulo/SP → Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/eprete

**Populações em atividade recreativa.**



Deve ser dada especial atenção a locais situados em áreas contaminadas ou em suas adjacências e que são sabidamente utilizados para atividades de lazer. Os mais óbvios incluem campos esportivos, parques, *playground*, margens lacustres e praias. Cabe observar, entretanto, que as crianças geralmente gostam de brincar também em outros lugares, tais como valas, cursos d'água e sarjetas. Recomenda-se avaliar, igualmente, os perigos físicos de tais cenários.

Foto 70- Parque público → Fonte: Arquivo Digital

**Populações de trabalhadores.**



Foto 71- Área de mineração → Fonte: Arquivo Digital

Devem ser considerados os trabalhadores que atuam na área de interesse e em suas proximidades. É preciso identificar qualquer atividade de trabalho que possa resultar no aumento da exposição ao contaminante (trabalho de escavação em solos contaminados, trabalhos de obras públicas em áreas infiltradas por gás do solo contaminado, p.ex.). As famílias dos trabalhadores devem ser, também, consideradas nos casos em que exista o potencial de que os contaminantes possam ser transportados para fora da área (roupas, sapatos, p.ex.). Tal como mencionado anteriormente, o mandato da ATSDR não inclui a saúde dos trabalhadores que atuam na área de interesse, exceto no que se refere a exposições indiretas que possam estar associadas à contaminação ambiental ou à emissão em estudo (contaminação do lençol subterrâneo potável, contato eventual com solos contaminados, p.ex.). Entretanto, dependendo da natureza da exposição dos trabalhadores, a ATSDR poderá recomendar ações de saúde pública, ou trabalhar em colaboração com as agências pertinentes no sentido de proteger a saúde das populações de trabalhadores.



Foto 72- Pátio de obras interditado pela VS de Campinas (Mansões Santo Antônio) → Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/epret

**Populações transeuntes.**



Foto 73- Poço Suão, nascente no Vale do Ribeira.

Cabe identificar as populações que possam visitar a área. Locais com praias, atrações turísticas, hotéis, deverão ser considerados, pois as populações transeuntes possivelmente estarão expostas apenas durante sua estada no local. O avaliador deve ter em mente que as populações de veranistas podem incluir as mesmas pessoas, ano após ano. Trabalhadores temporários também devem ser lembrados quando da identificação das populações em trânsito.

**Populações potencialmente de "alto risco" (crianças, idosos, pessoas com problemas crônicos de saúde).**



Foto 74 - Idosos → Fonte: Arquivo Digital

É essencial determinar se existem escolas, creches, playground, asilos de idosos ou instalações e atendimento à saúde próxima à área. A idade da população afeta o tipo, nível e frequência das atividades no local e em suas adjacências. Crianças, por exemplo, passam mais tempo ao ar livre e, como costumam levar as mãos à boca com frequência, tendem a ingerir mais solo do que as populações adultas. Além disso, algumas crianças desenvolvem uma perversão do apetite e passam a comer terra, o que pode resultar na ingestão de quantidades ainda maiores de solo (contudo, a duração desse tipo de comportamento em uma criança é desconhecida - ATSDR 2001). Outras populações de "alto risco" incluem aquelas que apresentam diferentes graus de susceptibilidade a efeitos tóxicos, tais como crianças susceptíveis a toxinas de desenvolvimento ou têm reações asmáticas devido a vários contaminantes presentes no ar.

**Populações especialmente vulneráveis.**



Deve-se identificar as populações que possam apresentar maior sensibilidade ou vulnerabilidade devido a dietas, atividades ou práticas culturais. Pescadores de caniço, indivíduos que dependem de práticas de subsistência, ou praticantes de certas religiões ou atividades culturais podem experimentar um grau maior de exposição aos contaminantes.

Foto 75- Palafitas na região do estuário de Santos → Fonte: Arquivo Digital

**Populações Potencialmente Expostas**

***Por que potencialmente?***

Cabe recordar que a presença de uma população nas proximidades de um local não significa, necessariamente, que esteja ocorrendo ou tenha ocorrido uma exposição. O avaliador deve determinar qual a possibilidade de alguém entrar em contato com um meio contaminado. Quanto mais específica à determinação de quem está ou poderá estar exposto, mais fácil será avaliar a existência de uma exposição nociva e recomendar as ações correspondentes de saúde pública.

**Identificação de Padrões de Uso**

- **Uso de águas subterrâneas.** Deve-se determinar o uso presente e passado das águas subterrâneas. É imprescindível verificar a localização e o uso das nascentes e dos poços públicos e particulares no perímetro da área e em locais adjacentes. Não se deve supor que como o sistema municipal de água abastece as residências, os moradores não utilizarão poços particulares.



Foto 76- Caixa d'água interdita do Residencial Auriverde próximo da base Shell Carioca. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/eprete

O avaliador deverá definir se os poços particulares estão sendo usados para todos os fins residenciais, inclusive para beber ou para o banho, ou se são apenas empregados para uso externo (regar o jardim, p.ex.). Durante as visitas ao local, é recomendável contatar funcionários locais, tais como os encarregados dos departamentos de águas e saneamento e os moradores da área, a fim de determinar o número e o uso de poços particulares que estão ou possam estar contaminados. Se necessário, deve-se solicitar às autoridades municipais ou estaduais, ou recomendar que estas solicitem, um levantamento dos poços. Cabe, ainda, consultar a repartição responsável pela emissão de licenças para a construção de poços a fim de saber mais sobre o assunto (a maioria dos estados da costa oeste exige licenças para a perfuração de poços ou para outros usos da água).



Foto 77- Catadores de marisco



Foto 78- Natação esportiva em rio

- **Uso de águas de superfície.** Deve-se verificar o uso dado aos corpos de água de superfície e identificar quem são as autoridades competentes nesse setor e determinar se as fontes públicas de abastecimento de água provêm de lagos ou rios da área, ou se os corpos de água de superfície são apenas utilizados para atividades recreativas (natação, navegação, p.ex.). Mesmo que alguns desses corpos de água não sejam definidos como locais recreativos, os moradores locais, especialmente as crianças, poderão ir lá brincar, especialmente em se tratando de pequenos cursos de água e riachos em dias de muito calor. Um outro padrão de uso que deverá ser considerado é o que diz respeito aos fazendeiros locais que poderão utilizar as águas de superfície para irrigação, alimentação do gado ou aquicultura.
- **Consumo de peixes, mariscos e caças locais.** As autoridades municipais e estaduais do departamento de saúde ou dos departamentos de caça e pesca deverão ser consultadas a respeito da prática da caça e da pesca, recreativa e comercial, na área estudada ou em locais adjacentes. Os supervisores de caça poderão ser capazes de estimar o número de pessoas que rotineiramente pesca em locais suspeitos.



Foto 79- Pescadores. Fonte: Arquivo Digital

O avaliador deverá buscar diferenciar entre a contaminação de peixes e mariscos locais ocorrida na área e a contaminação provocada por outras fontes (especialmente outras fontes à montante). Cabe observar, no entanto, que é responsabilidade da ATSDR recomendar ações de saúde pública sempre que necessário, independentemente de que as exposições detectadas sejam relacionadas à área em questão (recomendar que as autoridades sanitárias locais emitam um alerta de pesca,

p.ex.).



Foto 80- Irrigação com água contaminada → Fonte: Arquivo Digital



Foto 81- Manter horta em casa pode ajudar a reduzir custos no mercado. Foto: Reprodução/TV TEM

**Consumo e uso de alimentos cultivados localmente.** A taxa de consumo de vegetais e animais pode divergir acentuadamente das médias nacionais para certas populações. As famílias, por exemplo, poderão ter nos vegetais cultivados na horta de casa sua principal fonte de vegetais, ou poderão depender da pesca local como principal fonte de proteínas. Uma pesquisa local ou um estudo adequado sobre hábitos alimentares regionais poderá determinar a quantidade e frequência da ingestão de alimentos contaminados.

Outros Fatores que Potencialmente Influenciam a Exposição

**Condições climáticas.**



Um exame das condições climáticas fornecerá valiosas informações sobre os diferentes tipos e a frequência das atividades recreativas da população local. As condições da temperatura podem desencorajar as pessoas a permanecerem ao ar livre, diminuindo, assim a frequência do contato com meios externos contaminados, mas, simultaneamente, aumenta sua exposição a ambientes fechados contaminados.

Foto 82- Enchente em época das chuvas → Fonte: Arquivo Digital

**Acessibilidade do local.**



Foto 83- Placa indicando área de risco, mas sem a proteção devida. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/eprete

As pessoas poderão entrar em contato com um local contaminado se o acesso não for restrito ou limitado. A presença de uma cerca nem sempre é indicação suficiente de que o local está inacessível. A fim de determinar a acessibilidade do local, o avaliador deverá verificar as condições da cerca e a disponibilidade de outros tipos de barreiras físicas, buscar sinais de entrada de invasores e determinar se há um sistema de segurança em funcionamento. Cabe recordar que áreas com instalações abandonadas, águas paradas ou cursos de água poderão atrair crianças em busca de um lugar para brincar. Deve-se identificar a presença de materiais contaminados (barris ou tambores, p.ex.) no local, bem como as zonas de contaminação, com vistas deixar claro se a área contaminada é acessível ou não.

**Controles institucionais.**



Um estudo das posturas municipais poderá revelar medidas implementadas para minimizar a exposição, tais como proibição de perfurar poços em áreas onde existam águas subterrâneas contaminadas.

Foto 84- Perfuração de poço raso. Fonte: Arquivo Digital

### **Estimativa do Número de Pessoas em Populações Potencialmente Expostas**

A ATSDR recomenda que o número de pessoas potencialmente expostas seja registrado nos documentos de avaliação de saúde pública para cada uma das vias de exposição. A presente seção descreve os diversos enfoques existentes para obter e calcular as referidas estimativas.

O nível de análise necessário à elaboração de estimativas demográficas adequadas variará de um local para outro. O trabalho envolvido irá desde pesquisas nos dados de censos de modo a estimar o número de pessoas residentes em determinado local de interesse, até análises sofisticadas por meio de ferramentas de SIG. Há uma variedade de técnicas de SIG voltadas para a identificação de populações potencialmente expostas a contaminantes particulares. Os especialistas em SIG da ATSDR, por exemplo, realizam avaliações espaciais que integram dados ambientais (plumas de águas subterrâneas, p.ex.) e demográficos (dados de censo, p.ex.) de modo a identificar, especificamente, uma população que reside em cima de uma pluma. No caso da maioria dos locais investigados, a preparação de um mapa com informações, demográficas referentes à área geográfica em questão, dentro de um determinado raio de distância, será suficiente.

O número de pessoas potencialmente expostas pode ser quantificado mediante uma contagem populacional (enumeração) ou por meio de uma estimativa do total de pessoas que reside ou frequenta a área. Em geral, ao realizar uma contagem ou uma estimativa, o avaliador deve:

- Rever todos os dados de monitoramento ambiental disponível a fim de determinar a extensão da área geográfica em termos de rotas de exposição.
- Obter os mapas dos logradouros, dos resultados de censo e de dados topográficos e sobrepor a eles a área geográfica identificada para cada rota de exposição.
- Avaliar as informações referentes às rotas de exposição e examinar dados compilados durante as visitas ao local a fim de identificar as áreas com maior potencial de exposição (uma subdivisão situada no sopé da área investigada, p.ex.).
- Após a completa identificação das rotas potenciais, o avaliador deverá estimar a quantidade de pessoas expostas ou potencialmente expostas a cada uma das rotas. Se, por exemplo, as águas subterrâneas forem identificadas como uma rota de exposição completa, caberá determinar o uso dessas águas, o número de pessoas que utiliza o sistema municipal de abastecimento de água e o número de pessoas que usa poços particulares contaminados ou possivelmente contaminados.
- Deve-se recordar que ao estimar o número provável de pessoas que entrará em contato com um meio contaminado, é preciso igualmente considerar a distância da área e o acesso a ela. A probabilidade de que as pessoas penetrem em um lugar de livre acesso cujo solo esteja contaminado, por exemplo, é obviamente maior se o local for limítrofe a um bairro residencial do que se estiver separado por uma rodovia de quatro pistas ou por uma área de floresta.

**3.2. CATEGORIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO SOBRE ROTAS DE CONTAMINAÇÃO**

3.2.1. Categoria de exposição

**Identificação da rota →**

- Rota de exposição completa
- Rota de exposição potencial
- Rota de exposição eliminada

**Categorização da Informação sobre Rotas de Exposição**

A integração de todas as informações avaliadas permitirá determinarmos as rotas de exposição que exigirão análises complementares durante o processo de avaliação de saúde pública. Mais uma vez, as exposições passadas, presentes e futuras deverão ser consideradas. A presente seção descreve os critérios que devermos utilizar para categorizar e documentar os tipos de rotas de exposição.

Em termos gerais, iremos considerar três categorias de exposição:

- **Rotas de exposição completas.** Quando os cinco elementos estão presentes.
- **Rotas de exposição em potencial.** Quando um ou mais elementos podem não estar presentes, mas a insuficiência de informações não permite eliminar ou excluir o elemento.
- **Rotas de exposição eliminadas.** Quando um ou mais elementos estão ausentes.

A rota de exposição completa exige análise adicional a fim de determinar se a magnitude e frequência dessas exposições reais são suficientes para causar efeitos adversos à saúde. O alcance da avaliação de uma rota de exposição geralmente é considerado caso a caso e depende do grau de incerteza associado aos elementos desconhecidos da rota. Rotas de exposição eliminadas, quando um ou mais elementos estão ausentes, não requerem avaliações ulteriores.

As subseções a seguir descrevem os critérios necessários à seleção das categorias correspondentes. O quadro ao final da seção ilustra a seleção de categorias de exposição segundo um cenário específico de um local de interesse.

**Rotas de Exposição Completa**



Figura 45- Exposição através do Ar  
Solo superficial: Inalação de vapores e ingestão de particulados. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/fcampos



Figura 46- Exposição através da água subterrânea  
Lixiviação do solo para água subterrânea – Ingestão. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/fcampos

Uma rota de exposição existe quando é comprovado que os contaminantes alcançaram as pessoas, ou provavelmente as alcançarão, futuramente, no local de trabalho ou de residência na área de interesse ou adjacências. Em outras palavras, as pessoas estabeleceram ou provavelmente estabelecerão contato com o contaminante da área em um ponto de exposição particular, através de uma rota de exposição identificada. As exposições passadas, presentes e futuras devem ser consideradas.

A partir do momento em que uma rota de exposição passada ou presente é identificada, devem ser compiladas informações sobre sua extensão por meio de uma **investigação de exposição**. Em alguns casos, por exemplo, dados históricos podem não estar disponíveis ou serem limitados. Nesses casos, técnicas de reconstrução de doses são empregadas com vistas a ajudar a caracterizar a extensão de possíveis exposições passadas. Já para as exposições presentes, a compilação adicional de dados ambientais em pontos de exposição (amostragens de água da torneira, p.ex.) ou a coleta de amostras biológicas na população "exposta" (sangue, urina, cabelo, p.ex.) poderão dar maior sustentação à avaliação.

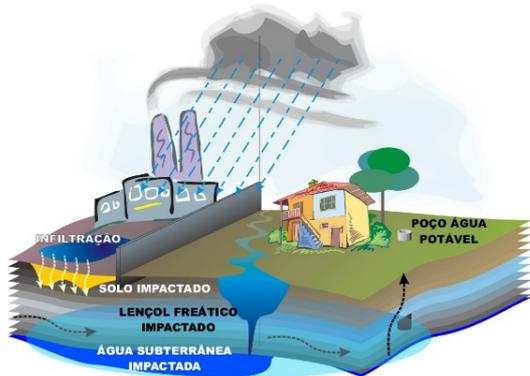


Figura 47- Exposição através da água superficial  
Lixiviação do solo para água subterrânea: consumo de peixes. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/fcampos

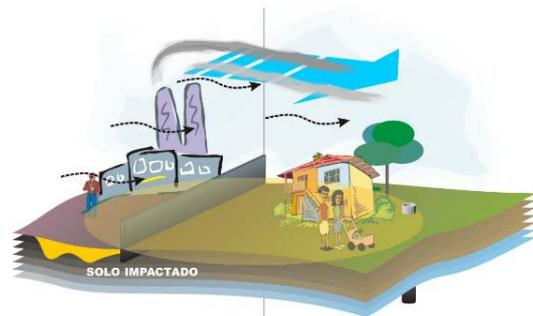


Figura 48- Exposição através do solo  
Solo superficial ou sedimentos: contato dermal e/ou ingestão. Fonte: CVS/SAMA/GTSolo/fcampos

Exposições completas envolvem tanto as exposições presentes como as exposições com grande probabilidade de concretização no futuro. **Futuras** rotas de exposição completas surgem quando:

- Existe, no momento em questão, contaminação no ponto de exposição ou em um local com grandes probabilidades de se tornar um ponto de exposição em um futuro próximo (lotes residenciais ainda não-incorporados ou terrenos residenciais vagos cujo solo está, sabidamente, contaminado, p.ex.).
- Os membros da comunidade têm acesso irrestrito a um ponto de exposição ou participam de atividades que os deixarão expostos ao contaminante (construção de um *playground* residencial em um terreno cujo solo está contaminado, p.ex.).
- Controles institucionais e restrições de zoneamento, ou outras posturas municipais não estão em vigor para evitar o contato com os contaminantes ora detectados em pontos já existentes ou
- Prováveis de exposição (uma residência ou uma residência planejada em um lote de terreno situado em cima de um aquífero contaminado onde é impossível efetuar ligações hidráulicas municipais e não existem restrições quanto à perfuração de um poço no aquífero contaminado, p.ex.)

Caso estejam planejadas ou em curso ações de remediação, tais como tratamento das águas subterrâneas ou escavações do solo, futuras exposições se tornarão menos prováveis. Deve-se confirmar que as medidas de remediação incluem monitoramento e estabelecimento de restrições a fim de evitar as exposições até que as metas de descontaminação sejam alcançadas.

### **Rotas de Exposição Potenciais**

As rotas de exposição potenciais indicam que a exposição a um contaminante **pôde** ter ocorrido no passado, **pode** estar ocorrendo atualmente ou **poderá** ocorrer no futuro. Uma exposição potencial existe quando as informações sobre um ou mais dos cinco elementos de uma rota de exposição serem

insuficientes ou incertas. Geralmente, devemos categorizar a rota como sendo "**potencial**" quando houver o desconhecimento se pessoas entraram em contato com o ambiente ou tiveram acesso a ele.

Uma futura rota de exposição potencial inclui situações nas quais a contaminação não está presente em um ponto de exposição, mas é esperada no futuro. De maneira geral, as discussões sobre vias de exposição potenciais devem ser breves. Devemos usar o senso crítico profissional, com base nas condições específicas do local, a fim de determinarmos até que ponto a exposição deve ser avaliada. Uma pluma subterrânea altamente contaminada, por exemplo, à montante do sistema público de abastecimento de água deverá merecer maiores estudos.

### Rotas de Exposição Eliminadas

Rotas de exposição suspeitas ou possíveis poderão ser descartadas se as características do local demonstrarem que exposições passadas, presentes ou futuras são altamente improváveis. Se as pessoas não têm acesso às áreas contaminadas, as rotas são eliminadas de avaliações complementares. Por outro lado, se o monitoramento do local revelar que os meios ambientais acessíveis não estão contaminados pode-se, igualmente, eliminar essa rota de exposição. É essencial, contudo, que nenhuma rota seja descartada até que a qualidade e representatividade dos dados sejam confirmadas e o potencial de exposições futuras seja cuidadosamente examinado.

Elemento das Vias de Exposição						
Nome da Via	Fonte	Meio ambiental	Ponto de exposição	Rota de exposição	População potencialmente exposta	Período cronológico
Ar ambiente	Tambores	Ar	Ar	Inalação	Moradores locais	Passado Presente Futuro
Solo superficial	Tambores	Solo	Quintais de residências	Inalação	Crianças e moradores locais	Passado Presente Futuro
Sistema público de abastecimento de água	Tambores	Água municipal	Residências e empresas – torneiras	Ingestão	Usuário do sistema municipal de abastecimento de água	Passado Presente Futuro
Poços particulares	Tambores	Água subterrânea (poços particulares)	Residenciais - torneiras	Ingestão, inalação, contato dérmico	Moradores nas proximidades da fonte	Passado Presente Futuro
Cadeia alimentar (Biota)	Tambores	Alimentos	Alimentos	Ingestão	Moradores de residências com horta	Passado Presente Futuro

### Necessidade de Coleta Adicional de Dados de Exposição

Sempre que uma avaliação de rotas de exposição revelar a necessidade de uma coleta adicional de dados a fim de possibilitar uma melhor avaliação da exposição humana e dos possíveis efeitos à saúde relacionados a ela, uma investigação da exposição deverá ser considerada. Uma **investigação de exposição** é um enfoque utilizado pela ATSDR como parte do processo de avaliação de saúde pública com vistas a determinar de forma precisa exposições passadas, presentes e possivelmente futuras a substâncias perigosas presentes no meio ambiente, e a avaliar, de maneira mais aprofundada, efeitos à saúde existentes e potenciais relacionados a essas exposições. O avaliador deve consultar os especialistas pertinentes, integrantes da equipe de campo (toxicologistas, médicos, p.ex.) de modo a estabelecer a necessidade e viabilidade de uma investigação da exposição. Estas devem ser

considerações rotineiras quando do planejamento e implementação de qualquer avaliação de saúde pública.

### Definições de Investigações de Exposição



Foto 85- Amostra de solo contendo substratos de combustível em fase livre. Fonte: CETESB

A ATSDR define uma investigação de exposição como a coleta e análise de informações de um local específico a fim de determinar se populações humanas estiveram expostas a substâncias perigosas<sup>41</sup>. As informações sobre a área podem incluir amostragens ambientais, reconstrução de dose de exposição, testes biológicos ou biomédicos e/ou avaliação de informações médicas. As informações amealhadas por meio de uma investigação de exposição são incluídas nas avaliações de saúde pública, nas consultas públicas e nos alertas de saúde pública. Uma investigação de exposição pode envolver a compilação de informações mediante a utilização, dentre outros, de:

- **Testes ambientais (água, solo, ar, cadeia alimentar [biota]).** Os testes estão voltados, normalmente, para os locais onde as pessoas moram, passam o tempo e brincam ou podem, de qualquer outra maneira, vir a entrar em contato com os contaminantes investigados. As amostragens ambientais realizadas pela CETESB geralmente contêm dados suficientes para a avaliação das rotas de exposição e, portanto, esse tipo de teste não é de todo necessário.

- **Exames biomédicos.** Nos casos em que exista um marcador biológico de exposição (ou biomarcador), pode-se considerar a possibilidade de coletar material de amostra de

biomarcador), pode-se considerar a possibilidade de coletar material de amostra de pessoas da comunidade para confirmar ou descartar a ocorrência de exposição aos contaminantes investigados. Um biomarcador é definido como uma substância exógena, ou seu metabolito, passível de mensuração nos seres humanos (através da urina ou sangue, p.ex.). **Ao contrário das amostras ambientais, os marcadores biológicos têm a vantagem de medir as concentrações reais de um contaminante no organismo.** Contudo, esses exames muitas vezes apresentam certas limitações: os resultados representam apenas uma imagem instantânea das condições existentes, retratando somente exposições recentes; os exames não identificam uma fonte específica de exposição (o local de interesse, p.ex.); existe apenas um número limitado de biomarcadores conhecidos; e é incerta a importância dos biomarcadores existentes para a saúde.

- **Reconstrução de doses de exposição.** Quando não houver disponibilidade de dados amostrados, nem for possível obtê-los para determinar as concentrações de

<sup>41</sup> Uma **investigação de exposição** é considerada um serviço, e não um estudo de saúde. Os resultados da investigação são específicos para cada área e dizem respeito apenas aos participantes da investigação; não são passíveis de generalização em relação a outros indivíduos ou populações. Não são utilizadas comparações entre populações. Em última análise, os resultados são usados para identificar ações adequadas de acompanhamento sanitário a serem implementadas no local de interesse.

contaminantes nos pontos de exposição, pode-se considerar a possibilidade de analisar as informações da amostragem ambiental e utilizar modelos computadorizados para estimar níveis de exposição passados, ou possíveis níveis de exposição futuros. As reconstruções de doses de exposição dão sustentação às avaliações de exposição mediante o desenvolvimento de métodos analíticos e de ferramentas computadorizadas empregadas para quantificar o destino e a dispersão dos contaminantes. A partir daí, esses métodos e modelos podem ser utilizados para prever os níveis e os padrões de distribuição passados, presentes e futuros dos contaminantes, e identificar populações potencialmente expostas.

### **Quando Deve ser Considerada a Realização de Uma Investigação da Exposição**

A ATSDR elaborou os quatro critérios apresentados a seguir visando a determinar se uma investigação de exposição deve ou não ser realizada:

- É provável que as pessoas tenham sido expostas a um contaminante? É possível identificar a população exposta?
- Existe uma lacuna nos dados que afete a capacidade do avaliador de determinar a existência de um perigo à saúde pública? Serão necessárias informações adicionais sobre a exposição ao contaminante?
- Uma investigação da exposição fornecerá a informação que falta? Uma investigação da exposição poderá preencher essa lacuna de dados?
- Uma investigação de exposição afetará as decisões de saúde pública? Qual será o impacto de uma investigação da exposição sobre as decisões de saúde pública?

Os avaliadores deverão valer-se desses quatro critérios para decidir se a investigação é apropriada para o local de interesse. Sem dúvida, a principal pergunta a ser formulada será: Testes adicionais, ambientais ou biológicos, ou modelagens computadorizadas ajudarão o avaliador a tomar uma melhor decisão de saúde pública?

### **Apresentação de Informações sobre Rotas de Exposição**

Esta seção descreve como integrar e apresentar os resultados da avaliação das rotas de exposição. A discussão sobre rotas de exposição deve descrever, claramente, como e até que ponto as pessoas entraram em contato com contaminantes existentes nos locais de interesse e que populações foram avaliadas durante o processo.

O texto deve incluir, no mínimo:

- Uma descrição de todas as rotas de exposição completas e potenciais, e se elas ocorreram no passado, estão ocorrendo atualmente ou podem ocorrer no futuro.
- Uma breve descrição de todas as rotas eliminadas e as razões pelas quais certas rotas foram eliminadas (nenhuma ou remota possibilidade de contato com o meio contaminado), especialmente aquelas que foram motivo de preocupação de parte da comunidade.
- A localização e o tamanho das populações potencialmente expostas.
- Uma breve descrição dos padrões relevantes de atividade das populações potencialmente expostas.
- A probabilidade de ocorrência de exposição, inclusive fatos ou estimativas referentes à sua duração e frequência. Essa informação fornecerá o contexto para a avaliação e discussão dos efeitos à saúde.

Além das discussões sobre o texto em si, deve-se resumir e tabular os resultados da avaliação das rotas de exposição, indicando os meios contaminados em questão, os pontos de exposição, as rotas de exposição e as populações potencialmente expostas. Uma tabela assim elaborada poderá servir como ferramenta de registro das informações decorrentes da avaliação das rotas de exposição. Devem constar, igualmente, os números estimados de pessoas expostas através de cada rota, embora na maioria das vezes esses dados sejam incluídos em mapas demográficos.

Recomenda-se discutir cada rota e a respectiva explicação sobre o modo pelo qual os contaminantes migraram da fonte até o ponto de exposição. Na medida do possível, deve-se descrever como ocorreram as exposições humanas no ponto de exposição e delinear as áreas de potencial exposição. Ao examinar, por exemplo, as exposições associadas a águas de poços particulares contaminados, é preciso explicar qual a fonte da contaminação; como e até que ponto os contaminantes migraram para fora da área; e por que os usuários dos poços poderiam estar expostos ao utilizar as águas subterrâneas contaminadas para beber, tomar banho ou para outros usos residenciais. Deve-se indicar, ainda, a probabilidade de ocorrerem novas exposições futuras associadas às águas subterrâneas contaminadas.

Cabe mencionar, também, as rotas eliminadas. As águas subterrâneas, por exemplo, estão contaminadas, mas não são utilizadas como fonte de água potável. Ou, se membros da comunidade manifestarem preocupação sobre os poços particulares situados à montante da área, é preciso explicar a inexistência de rotas de exposição (i.e., contaminantes não migraram nem migrarão naquela direção).

As discussões sobre o destino e a dispersão ambientais devem fornecer apenas as informações necessárias para que o leitor compreenda como os contaminantes migram. Não será preciso incluir todos os dados geológicos, topográficos, hidrogeológicos, climáticos e ambientais. Da mesma forma, discussões sobre propriedades físicas e químicas dos contaminantes e dos meios ambientais deverão limitar-se a apoiar as conclusões de cunho geral sobre o destino último dos contaminantes do local ou para dar sustentação a uma recomendação de coleta adicional de amostras. Se o tricloroetileno (TCE) fosse detectado, por exemplo, em concentrações muito altas (i.e. acima de 100ppm) em um aquífero raso e arenoso, os fatores que poderiam afetar sua possível migração para o ar em ambientes fechados deveriam ser assinalados: Devido às condições de subsuperfície, à profundidade do lençol subterrâneo e à volatilidade do TCE, é possível que ocorra migração, através das fundações, para o ar em ambientes fechados.

Discussões sobre qualquer análise de dispersão quantitativa (uso de modelos para prever as concentrações de ar em ambientes fechados) devem ser apresentadas, de modo resumido, em apêndices.

Para concluir, deve-se descrever qualquer lacuna de dados existente e a forma como ela pode vir a afetar a avaliação.