

9000 Avaliação de Risco à Saúde Humana

O objetivo principal da etapa de avaliação de risco é a identificação e quantificação dos riscos a saúde humana, decorrentes de uma área contaminada, uma vez que a saúde humana e a segurança da população devem ser priorizadas, dentre os bens a proteger expostos, na avaliação de risco em uma área contaminada.

Dependendo da situação, outros bens devem ser considerados, tais como os ecossistemas, a produção agrícola, as edificações e instalações de infraestrutura urbana.

As metodologias de avaliação de risco são baseadas em princípios de toxicologia humana e no conhecimento das propriedades físico-químicas e comportamento ambiental dos contaminantes.

A identificação e quantificação dos riscos, em uma determinada área contaminada, subsidiará a definição dos objetivos a serem atingidos na remediação e das medidas corretivas a serem adotadas.

A base inicial de dados para execução da avaliação de risco é constituída pelas informações coletadas na etapa de investigação detalhada e etapas anteriores, acrescidas de outras informações sobre a toxicologia dos contaminantes envolvidos, os cenários de uso e ocupação do solo e as variáveis de exposição configuradas na área.

As metodologias existentes de avaliação de risco a saúde humana em áreas contaminadas, seguem, em geral, a desenvolvida pela Agência de Proteção Ambiental Americana, a "United States Environmental Protection Agency - USEPA, em 1989. De acordo com esta metodologia, os seguintes trabalhos devem ser realizados, para quantificar os riscos :

- coleta e avaliação dos dados;
- avaliação de toxicidade;
- avaliação da exposição;

- caracterização e quantificação dos riscos;
- gerenciamento dos riscos.

A avaliação de risco levando-se em consideração outros bens a proteger, como o risco a ecossistemas aquáticos ou à fauna e flora segue, basicamente, os mesmos princípios utilizados para a avaliação dos riscos à saúde humana.

A coleta e avaliação de dados se inicia na avaliação preliminar e se estende na investigação confirmatória e na investigação detalhada, devendo propiciar a aquisição das informações relevantes sobre a área, para a execução da etapa de avaliação de risco. A identificação dos contaminantes presentes, sua distribuição espacial, concentrações e dinâmica no meio físico serão indicadores no processo de avaliação de risco.

A avaliação de toxicidade define a toxicidade específica para cada composto químico de interesse, considerando-se os efeitos adversos à saúde associados à exposição ao composto. Para tanto, é necessário avaliar a relação entre a magnitude da exposição, o tipo de efeito adverso e a possibilidade de um composto produzir câncer no indivíduo ao longo da exposição.

Nesta etapa, os bancos de dados toxicológicos servem como fonte de informações sobre a toxicologia dos compostos de interesse e os efeitos adversos à saúde. Esta etapa pode ser dividida em duas atividades principais:

- Identificação dos efeitos adversos - determinação do tipo e magnitude do efeito adverso à saúde que é causado pela exposição a um agente tóxico específico;
- Determinação da dose-resposta - processo de avaliação quantitativa da toxicidade, relacionando-se a dose do contaminante que foi recebida com a incidência de efeitos adversos à saúde em uma dada população exposta.

A avaliação de exposição é a determinação da intensidade, frequência, duração e caminhos da exposição humana, atual ou futura, a determinado contaminante. Esta estimativa pode ser fundamentada nos dados de monitoramento ambiental e

resultados da previsão da movimentação e atenuação dos contaminantes por meio de modelagem matemática.

A avaliação é desenvolvida observando-se os usos atuais e prevendo-se os usos futuros da área em estudo e seu entorno, sendo necessário :

- entender os mecanismos de liberação e transporte do contaminante no meio físico;
- identificar as populações expostas;
- identificar todas as vias potenciais de exposição;
- estimar as concentrações nos pontos de exposição, para cada via específica.

A avaliação das informações obtidas permite a elaboração dos cenários de exposição, onde são identificadas as várias possibilidades para que um contaminante, a partir da origem da contaminação, atinja as populações potencialmente receptoras. Os resultados da avaliação da exposição são os valores de ingresso dos compostos indicadores para cada via de exposição específica (atual ou futura).

A caracterização do risco integra todos os dados obtidos nas etapas anteriores, tendo como objetivo quantificar o risco. Neste momento, as concentrações do contaminante medidas nos pontos de exposição e as concentrações teóricas estimadas por meio de modelos de transporte de massa, são comparadas com os dados toxicológicos específicos do composto de interesse. Esta comparação serve para determinar se os níveis de contaminação atuais ou futuros da área podem produzir algum efeito adverso à saúde humana, segundo os índices toxicológicos utilizados.

A metodologia de avaliação de risco em áreas contaminadas constitui um procedimento tecnicamente defensável e conceitualmente sustentável para determinação das chances de ocorrência de efeitos adversos à saúde humana, decorrentes da exposição à áreas contaminadas por substâncias perigosas. A necessidade de sua realização, para uma área contaminada, está associada fundamentalmente aos seguintes aspectos:

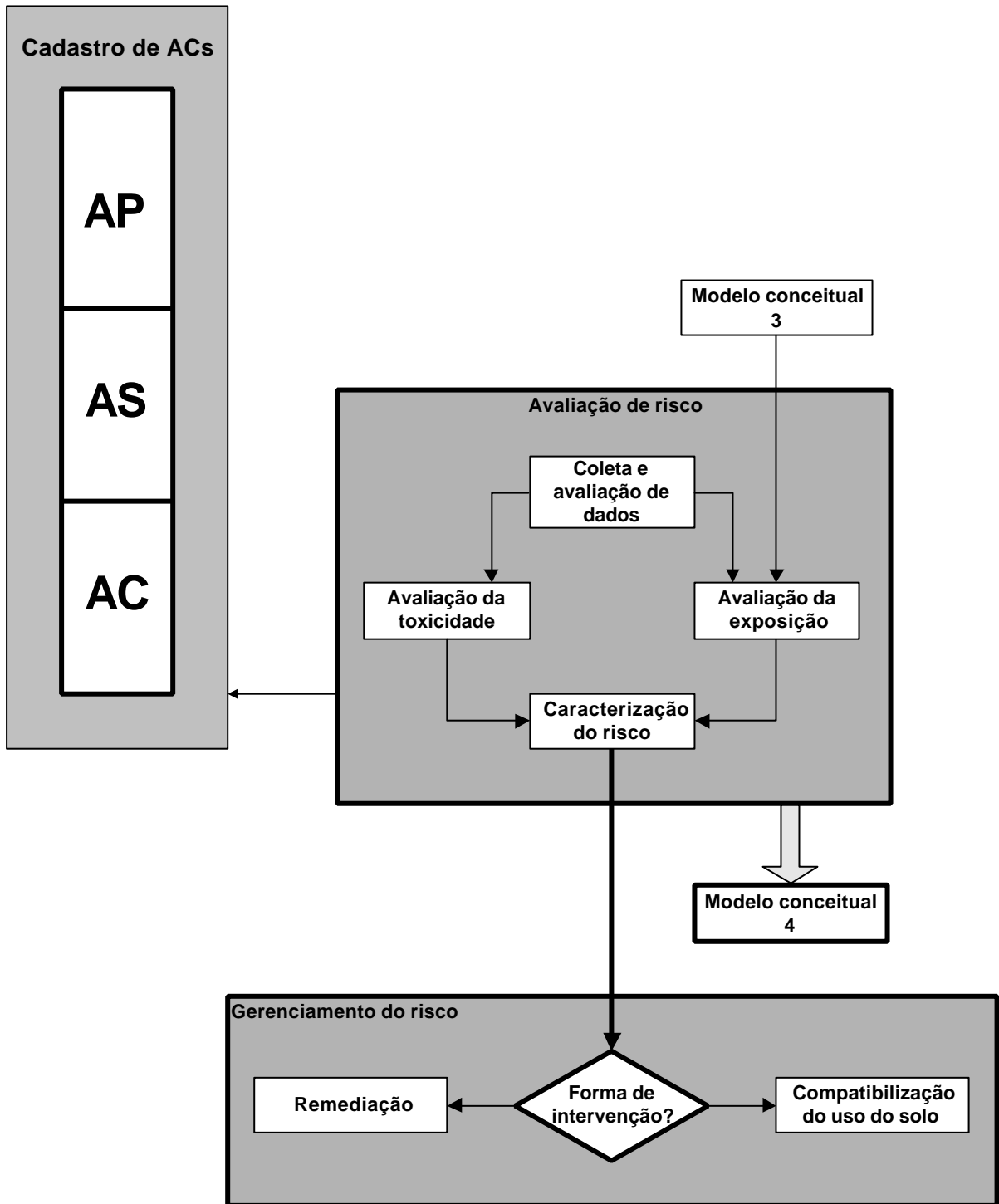
- Proteção a saúde humana;

9000 Avaliação de Risco Toxicológico a Saúde Humana

- Determinação do nível de remediação ambiental necessário;
- Estabelecimento de metas de remediação;
- Avaliação da viabilidade técnica da remediação;
- Determinação dos benefícios associados ao processo de remediação;
- Priorização de áreas contaminadas;
- Priorização de alocação de recursos;
- Gerenciamento ambiental integrado.
-

Esta metodologia é esquematicamente ilustrada pela figura 9000-1.

Figura 9000-1 Avaliação de Risco



Para melhor entendimento deste capítulo serão definidos a seguir alguns termos complementares aqueles constantes do capítulo 0200.

Fonte Primária de Contaminação

Área ou ponto onde ocorreu ou está ocorrendo o evento de contaminação ambiental (vazamentos em tanques ou tubulações, derrames propositais ou acidentais, descarte de resíduos, infiltração de despejos ou emissões atmosféricas)

Fonte Secundária de Contaminação

Parte do meio físico contaminado que atua como fonte secundária de contaminação para outra parte do meio físico, considerada no estudo de avaliação de risco. Como exemplos temos : solo contaminado por chumbo que é lixiviado para as águas subterrâneas; águas subterrâneas contaminadas que geram vapores de substâncias voláteis para a zona não saturada.

Composto Químico de Interesse (EPA,1989)

Composto ou substância química detectada no meio físico, que está relacionada à fonte primária ou secundária de contaminação, por exemplo a matéria-prima ou produto final do processo produtivo ou de suporte operacional na área de estudo. Deve possuir perfil toxicológico e físico-químico suficientes para ser utilizado na quantificação do risco toxicológico e no estabelecimento de metas de remediação. Como exemplos temos : chumbo no solo, benzeno ou cloreto de vinila nas águas subterrâneas, estireno no ar atmosférico.

Receptor (EPA, 1989)

Organismo, comunidade, habitat sensível ou ecossistema que esteja exposto direta ou indiretamente a um ou mais compostos químicos associados a um evento de contaminação ambiental. No caso do risco toxicológico, o receptor será o indivíduo humano ou comunidade/grupo de indivíduos.

Exposição (EPA, 1989)

Contato de um organismo receptor com um agente físico ou químico (contaminante). A exposição é quantificada como o montante do contaminante na interface de contato com o organismo (pele, pulmões, intestino) e disponível para absorção.

Evento de Exposição (EPA, 1989)

Incidente ou ocorrência de exposição de um receptor a um agente químico ou físico. Um evento de exposição pode ser definido por tempo (horas, dias, anos) ou como um evento isolado (comer peixe contaminado por metal pesado).

Evento Direto de Exposição (EPA, 1991a)

Quando o receptor está diretamente em contato com o meio contaminada ou fonte de contaminação (primária ou secundária), a exemplo da ingestão de água contaminada.

Evento Indireto de Exposição (EPA, 1991a)

Quando o receptor não está diretamente em contato com o meio contaminada ou fonte de contaminação (primária ou secundária), a exemplo da inalação de vapores provenientes da água subterrânea contaminada.

Caminho de Exposição (EPA, 1989)

Percurso do composto químico, da fonte ao receptor. Uma via de exposição descreve um único mecanismo pelo qual um indivíduo ou população está exposta a um agente químico. Cada caminho inclui uma fonte de contaminação, uma rota de exposição e um ponto de exposição. Se o ponto de exposição difere do ponto de localização da fonte, o meio físico de transporte do contaminante também é incluído.

Ponto de Exposição (EPA, 1989)

Localização do ponto de contato entre o receptor (organismo ou população exposta) e o composto químico.

Via de Exposição ou Via de Ingresso (EPA, 1989)

Modo como um composto químico entra em contato com o organismo exposto (ingestão, contato dérmico, inalação).

Ingresso (EPA, 1991a)

Medida da exposição expressa como a massa de uma substância em contato com a interface do organismo exposto por unidade peso corporal por unidade de tempo (exemplo : mg de naftaleno/kg-dia).

9100 Planejamento

Para o desenvolvimento adequado de um trabalho de avaliação de risco é necessário que inicialmente seja estabelecido um planejamento para coleta de dados pertinentes e necessários para quantificação e avaliação do perigo à saúde humana causado por uma exposição a um contaminante presente em uma área contaminada.

Para o planejamento das atividades associadas ao processo de avaliação de risco, devem ser considerados alguns pontos relevantes como :

- particularidades da fonte primária de contaminação;
- complexidade do meio físico;
- diversidade dos contaminantes;
- variações do nível de contaminação da área e
- caminhos potenciais de exposição a serem considerados.

O foco principal do planejamento para o desenvolvimento de um projeto de Avaliação de Risco deverá ser reunir procedimentos, técnicas e ferramentas operacionais e interpretativas com os seguintes objetivos:

- caracterizar a distribuição da contaminação e suas concentrações nos meios físicos de interesse;
 - identificar e quantificar os parâmetros do meio físico que são fundamentais para o cálculo do risco;
- qualificar a toxicidade dos compostos químicos contaminantes, que serão de interesse para o projeto;
- identificar os caminhos e quantificar a exposição que ocorre associada aos contaminantes de interesse para a avaliação risco;
- Identificar as populações potencialmente expostas.

Muitas vezes o planejamento da Avaliação de Risco tem como base estudos ambientais desenvolvidos em etapas anteriores do gerenciamento da área contaminada como Avaliação Preliminar, Investigação Confirmatória e Investigação Detalhada. Nestes estudos são geradas informações passíveis de serem utilizadas na Avaliação de Risco. Entretanto, no planejamento deve ser levantado o grau de detalhamento que cada dado ou grupo de

informações deve ter para que o processo de Avaliação de Risco seja cumprido de forma satisfatória.

Muitas vezes em estudos preliminares são levantadas informações relevantes para a Avaliação de Risco, mas estas não estão disponibilizadas com o enfoque de quantificação do risco à saúde associado a um evento exposição. Neste caso, cabe ao consultor identificar previamente os dados em questão e tratá-los com foco na quantificação do risco à saúde humana.

O desenvolvimento de um planejamento para Avaliação de Risco usualmente começa logo após a etapa de Investigação Detalhada. No entanto, algumas vantagens podem ser obtidas, com um melhor direcionamento dos trabalhos, quando o planejamento da avaliação de risco é realizado concomitantemente com o planejamento da Investigação Detalhada, sendo esta conduzida em associação a etapa de Avaliação de Risco.

Alguns itens devem ser obrigatoriamente considerados na fase de planejamento, a saber:

- Compilação de dados e consolidação do histórico ambiental sobre a área;
- Identificação das fontes primárias e secundárias de contaminação;
- Identificação dos contaminantes de interesse;
- Identificação dos meios físicos contaminados e dos prováveis caminhos de exposição
- Identificação dos grupos de indivíduos e populações potencialmente expostas
- Identificação dos pontos de exposição
- Definição preliminar dos fatores de exposição
- Análise dos potenciais cenários de exposição
- Descrição da metodologia a ser empregada para o cálculo do transporte e atenuação de contaminantes no meio físico
- Descrição preliminar da metodologia a ser empregada para a Avaliação da Exposição e Caracterização do Risco.

Esta etapa, quando bem conduzida, pode reduzir a alocação de recurso e o tempo de investigação e levantamento de dados.

O produto final desta etapa é a definição de uma estratégia técnica para o levantamento e interpretação dos dados pertinentes para quantificação da exposição, bem como para a caracterização do risco e definição de metas de remediação.

Antes do início da etapa de Aquisição e Avaliação de Dados, a estratégia técnica, suposições e simplificações definidas e consideradas na etapa de planejamento, deverão ser formalmente submetidas ao corpo técnicos do órgão ambiental, para avaliação e adequação, caso necessário.

9200 Coleta e Avaliação de Dados

Nesta seção serão discutidos procedimentos de coleta e avaliação de dados sobre o meio físico, compostos químicos de interesse e processo de exposição, que sejam representativos para a Avaliação de Risco à Saúde Humana em Áreas Contaminadas.

1. Coleta de Dados

Os principais tópicos a serem abordados na etapa de Coleta de Dados são os seguintes:

- Revisão dos dados e informações ambientais existentes;
- Considerações sobre os parâmetros necessários para o modelamento matemático;
- Definição sobre a quantidade, distribuição e meios (solo superficial, solo subsuperficial, água subterrânea, água superficial e ar) a serem amostrados;
- Desenvolvimento da estratégia de amostragem;
- Definição dos critérios de segurança e controle de qualidade (QA/QC);
- Avaliação da necessidade de procedimentos analíticos especiais;
- Definição das atividades a serem desenvolvidas durante a coleta de dados.

Em geral, os tipos de dados a serem obtidos nesta etapa, necessários para o desenvolvimento de um trabalho de Avaliação de Risco à Saúde Humana em Áreas Contaminadas são os seguintes:

- Comportamento dos contaminantes no meio físico;
- Perfil físico-químico dos contaminantes;
- Concentrações dos contaminantes nas fontes de contaminação e nos meios de interesse;

- Características das fontes como dimensão, distribuição espacial e informações relacionadas ao evento que gerou a contaminação;
- Características sobre o meio físico que podem afetar o transporte, atenuação natural e persistência dos contaminantes.

Uma parte dos dados citados acima podem ter sido obtidos nas etapas anteriores do gerenciamento da área contaminada. Por esse motivo é fundamental a análise criteriosa dos dados disponíveis sobre a área, visando verificar a coerência das informações e as necessidades de complementação.

1.1 Revisão de Dados Disponíveis

A revisão e compilação de dados disponíveis sobre a área deve ser conduzida com os objetivos de identificar os caminhos e pontos de exposição e auxiliar na determinação de quais dados serão necessários para o desenvolvimento da avaliação de risco, incluindo dados para o modelamento matemático.

Algumas fontes de informações são descritas abaixo:

- Relatório da Avaliação Preliminar;
- Relatório da Investigação Confirmatória;
- Relatório da Investigação Detalhada;
- Relatórios de auditorias para identificação de não conformidades ambientais;
- Fichas de segurança dos produtos e matérias primas manipulados na área;
- Descrição dos processos produtivos e operacionais desenvolvidos na área de interesse;
- Histórico fotográfico e antigas plantas da área de interesse;
- Registros sobre ampliações e modificações do processo operacional e produtivo;
- Informações sobre o processo de geração, disposição e gerenciamento dos resíduos gerados no processo produtivo.

Nesta etapa, deve atualizado o modelo conceitual da área, que enfoque todas as fontes potenciais de contaminação, tipos e concentrações de contaminantes previamente detectados na área, meios potencialmente contaminados, e potenciais caminhos de exposição, incluindo receptores e pontos de exposição.

O modelo conceitual é fundamental para determinação dos dados necessários para Avaliação de Risco, bem como o estabelecimento da quantidade, distribuição e extensão da investigação.

1.2 Valoração dos Parâmetros Necessários para Modelamento

Alguns parâmetros necessários para o desenvolvimento, calibração e validação de modelos matemáticos de fluxo e transporte de contaminantes no meio físico, devem ser obtidos na etapa de Coleta de Dados.

A Tabela 9200-1 apresenta os principais parâmetros que devem ser obtidos em campanhas de levantamento de campo, agrupados por meio.

Alguns parâmetros necessários para o modelamento matemático podem ser encontrados em bibliografias disponíveis para consulta. Entretanto deve-se dar preferência para a aquisição de valores específicos da área de interesse.

Caso o modelo a ser utilizado não seja sensível a um parâmetro em particular e existe um valor conhecido disponível na literatura para este parâmetro, então este pode ser utilizado. A determinação dos parâmetros a serem obtidos especificamente para a área será função do tipo de modelo matemático a ser utilizado, ou seja, os parâmetros sensíveis ao modelamento deverão ser específicos da área.

TABELA 9200-1: Parâmetros Necessários para Modelamento

MODELO	PARÂMETROS NECESSÁRIOS
Características da Fonte	Geometria, dimensões, condições físico-químicas, taxas de emissão, intensidade de emissão, localização.
Solo - zona insaturada	Granulometria, pH, potencial redox, fração de carbono orgânico, conteúdo de argila, densidade do solo, umidade, porosidade total e efetiva.
Águas Subterrâneas- Zona saturada	Cargas hidráulicas, condutividade hidráulica, espessura saturada, gradiente hidráulico, fração de carbono orgânico, pH, potencial redox.
Ar	Direção preferencial do vento, velocidade do vento, topografia, profundidade da contaminação, concentrações retidas e no ar intersticial do solo.
Água Superficial	Dureza, pH, potencial redox, oxigênio dissolvido, salinidade, temperatura, sólidos totais em suspensão, taxa de fluxo, profundidade do rio, maré.
Contaminante	Coeficientes de partição entre meios.
Sedimento	Distribuição do tamanho de partículas, conteúdo orgânico, pH, condições de oxigenação e conteúdo de água.

1.3 Identificação da Exposição Humana

Visando quantificar a exposição humana, a partir de uma área contaminada, devem ser levantados dados que possibilitem a identificação e descrição dos seguintes elementos :

- áreas de interesse (localização e extensão total);
- meios afetados (distribuição dos meios a serem amostrados);
- compostos químicos de interesse;
- caminhos potenciais de transporte dos contaminantes no meio físico.

Em projetos de avaliação de risco à saúde humana, em áreas contaminadas, deve-se considerar :

- todo meio contaminado, pelo qual um contaminante pode ser transportado até a um ponto de exposição e um indivíduo ou população pode ser exposto (solo, água subterrânea, água superficial e ar);

- todo meio não contaminado que pode vir a ser contaminado e servir como meio de transporte de contaminantes.

A coleta de amostras para quantificação das concentrações dos contaminantes deve ser conduzida de forma a mapear todos os meios de interesse. Logo, se amostras de solo superficial não forem coletadas, a quantificação da exposição associada a esse meio não poderá ser realizada. O modelo conceitual da área, elaborado com base no conhecimento que já se tem sobre ela, deve orientar a coleta de amostras por meio de interesse. Esta coleta será melhor detalhada no item avaliação de exposição.

Os pontos de interesse para coleta de amostras, determinados em função do modelo conceitual da área podem estar localizados :

- dentro dos limites da área contaminada, junto as fontes de contaminação;
- dentro dos limites da área contaminada, em locais situados entre as fontes e os receptores;
- fora dos limites da área contaminada, nos pontos de exposição;
- fora da área contaminada, em locais situados entre a fonte e os pontos de exposição.

Os pontos de interesse são locados com o propósito de detalhamento da investigação sobre a ocorrência de contaminação nos vários meios. A escolha dos pontos de interesse pode ser orientada a partir dos seguintes critérios:

- localização das fontes de contaminação atuais e existentes no passado;
- ocorrência dos diferentes contaminantes;
- mapeamento espacial e temporal da contaminação nos meios de interesse.

Os compostos químicos de interesse são aqueles associados as matérias primas, produtos e e resíduos relacionadas ao processo operacional e produtivo da área de estudo, que potencialmente possam ocorrer como contaminantes nos meios afetados.

Devem ser considerados, também, os compostos resultantes da decomposição ou degradação biológica dos contaminantes originais.

O caminho de transporte dos contaminantes entre a fontes de contaminação e o ponto de exposição, pode ocorrer de duas formas distintas:

- Intra meios: quando o transporte ocorre em um único meio;
- Inter meios: quando o transporte ocorre em meios distintos (por exemplo solo e águas subterrâneas ou solo e ar).

Em ambos os casos, o caminho de transporte deve ser mapeado por meio de coleta e análises químicas de amostras em cada meio de interesse, considerando sempre a fonte de contaminação, o ponto de exposição e pontos intermediários.

No caso do transporte inter meios, deve-se coletar e analisar amostras do meio onde está localizada a fonte secundária de contaminação e do ponto de exposição. As concentrações finais no ponto de exposição podem ser estimadas utilizando-se modelamento matemático (como exemplo temos a estimativa das concentrações de benzeno no ar do interior de uma casa, originado a partir de concentrações dissolvidas na água subterrânea).

No caso de transporte intra meio, os resultados das análises químicas de amostras coletadas entre a fonte e o receptor potencial, podem auxiliar na previsão de concentrações futuras do contaminante no ponto de exposição.

1.4 Considerações Sobre a Investigação do Solo

O solo representa um meio de contato direto em situações de exposição. Neste meio estão, freqüentemente, localizadas as fontes de contaminação (primárias e secundárias). Logo, o número, distribuição, localização e tipo de amostras de solo podem influenciar significativamente os resultados da Avaliação de Risco.

A heterogeneidade natural do solo representa um complicador no estabelecimento de um plano de amostragem que gere dados representativos para a Avaliação de Risco. Entretanto, um número adequado de amostras de solo pode ser definido com auxílio do modelo conceitual da área de estudo. Neste caso deve-se prever todas as possibilidades para o cálculo de concentrações dos contaminantes em pontos de exposição, em função das heterogeneidades do solo.

Os trabalhos de Avaliação de Risco devem prever a coleta de dados de concentrações de contaminantes em cada fonte ou local previamente identificado com alta concentração de contaminante no solo. O mapeamento quantitativo destas áreas de interesse deverá ser realizado de forma a gerar um entendimento da distribuição espacial das concentrações, bem como identificar os limites e a extensão do impacto. Caso estes objetivos não tenham sido atingidos na etapa de investigação detalhada, deverão ser complementados nesta etapa.

O estabelecimento da profundidade de coleta das amostras de solo é fundamental para o cálculo das concentrações de exposição. Deve-se coletar amostras do solo superficial e/ou subsuperficial, considerando os cenários de exposição estabelecidos no modelo conceitual.

O plano de amostragem deve contemplar parâmetros físicos do solo que irão influenciar diretamente o modelamento matemático de transporte de contaminantes.

As técnicas utilizadas para a realização da amostragem, preservação e análises químicas de solo devem ser descritas no relatório final de Avaliação de Risco.

1.5 Considerações Sobre a Investigação da Água Subterrânea

Os principais objetivos da coleta de dados hidrogeológicos é a caracterização hidráulica e hidrodinâmica dos aquíferos e o mapeamento e quantificação de concentrações dos contaminantes na água subterrânea.

Neste caso, usualmente as informações são geradas a partir da instalação de poços de monitoramento, os quais devem ser instalados considerando o modelo conceitual da área de estudo. Tanto o perfil construtivo dos poços de monitoramento, quanto sua quantidade e distribuição nas áreas de interesse, devem ser definidos em função dos seguintes objetivos:

- Mapeamento total das fontes de contaminação;
- Mapeamento total espacial das plumas de contaminação dissolvida nas águas subterrâneas;
- Quantificação das concentrações nos pontos de exposição;
- Estabelecimento de pontos de controle e monitoramento da contaminação entre a fonte e o receptor;

- Estabelecimento de pontos de monitoramento para auxiliar na calibração e validação dos modelos de transporte de contaminantes.

Propriedades hidrogeológicas dos aquíferos como condutividade hidráulica, porosidade, densidade de grãos, fração de carbono orgânico, podem influenciar diretamente nos resultados da Avaliação de Risco.

Propriedades hidrogeológicas são freqüentemente utilizadas em estudos de Avaliação de Risco para quantificação de concentrações dos contaminantes em pontos de exposição (atuais e futuras), por meio da utilização de modelos matemáticos de transporte.

A distribuição da malha de poços de monitoramento deve ser dimensionada visando o mapeamento total em extensão horizontal e vertical da contaminação nas águas subterrâneas.

As técnicas utilizadas para a realização da amostragem de água subterrânea devem ser descritas no relatório final de Avaliação de Risco.

2. Avaliação de Dados

Após a etapa de Coleta de Dados, estes devem ser analisados, interpretados e organizados, visando confirmar as suposições e considerações estabelecidas no modelo conceitual preliminar da área de estudo. Os seguintes passos devem ser observados na etapa de avaliação de dados :

- Agrupar todas as informações geradas por meio investigado;
- Avaliar os métodos analíticos utilizados;
- Avaliar a qualidade dos dados e os limites de quantificação;
- Avaliar a qualidade dos dados com relação aos qualificadores analíticos;
- Avaliar a qualidade dos dados com relação aos brancos de laboratório;
- Avaliar as tentativas de identificar os compostos de interesse;
- Comparar as concentrações de contaminantes com os valores de "background";
- Elaborar um conjunto de informações a serem utilizadas na avaliação de risco.

O primeiro passo para organização sistemática dos dados de concentrações de contaminantes é o agrupamento dos mesmos por meio afetado, considerando cada área de interesse. A Tabela 9200-2 apresenta um formato para agrupamento de dados por meio, considerando uma determinada área.

TABELA 9200-2: Agrupamento de Dados por Meio de Interesse

ÁREA DE INTERESSE						
OFICINA DE MANUTENÇÃO DE PEÇAS (RECEPTOR II)						
	Solo			Solo		
IDENTIFICAÇÃO	ST-01			ST-02		
PROFUNDIDADE (metros)	0,5			1,0		
DATA DE AMOSTRAGEM	12/dez/2002			12/dez/2002		
UNIDADE	ug/kg			ug/kg		
BRANCO/ DUPLICATA	-			Duplicata		
COMPOSTO	L	CONCENTRAÇÃO	QUALIFICADOR	LQ	CONCENTRAÇÃO	QUALIFICADOR
Benzeno	5	15	J	5	30	J
Tolueno	5	28	J	5	45	J
Etilbenzeno	5	14	J	5	10	R
Xilenos	5	-	ND	5	-	ND
Naftaleno	10	210	J	10	-	ND

Após o agrupamento de dados por meio e área de interesse, deve ser realizada uma análise crítica dos dados procurando abordar os seguintes aspectos:

- Analisar se as concentrações dos compostos químicos de interesse, estão coerentes com o modelo conceitual preliminar;
- Analisar se as concentrações dos compostos químicos de interesse são distribuídas de maneira a caracterizar devidamente a contaminação e são representativas do ponto de exposição;
- Identificar e justificar as concentrações a serem utilizadas para quantificação da exposição;
- Identificar e justificar as concentrações a serem utilizadas para o modelamento matemático de transporte de contaminantes, quando for o caso.

9300 Avaliação da Exposição

O principal objetivo da Avaliação da Exposição é estimar o tipo e magnitude da exposição humana à compostos químicos de interesse, que estão presentes no meio físico (EPA, 1989). Os resultados quantitativos da Avaliação da Exposição são as doses de ingresso de um composto químico de interesse, calculadas para um determinado evento de exposição de um receptor.

A etapa de Avaliação da Exposição pode ser dividida em três passos distintos, a saber (Figura 9300-1) :

- Caracterização da Exposição;
- Identificação dos Caminhos de Exposição;
- Quantificação da Exposição.

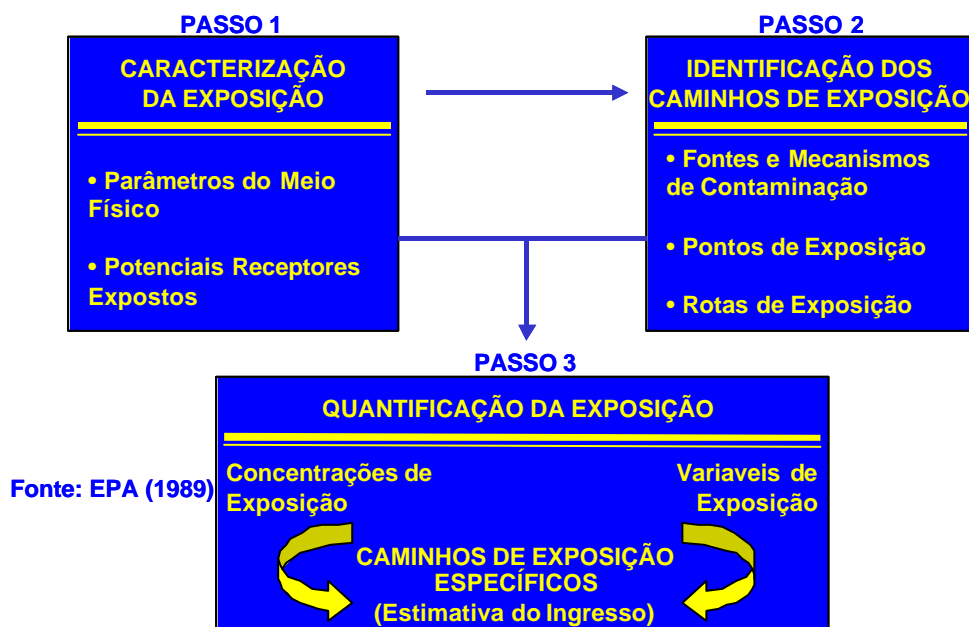


FIGURA 9300-1: Estágios da avaliação de exposição (modificado de EPA, 1989)

1. Caracterização da Exposição

O primeiro passo da Avaliação da Exposição é a Caracterização da Exposição que consiste na análise de dados sobre o meio físico e das populações potencialmente expostas dentro e fora da área de interesse, visando definir em detalhe as características associadas ao processo de exposição toxicológica.

O resultado deste passo é uma análise qualitativa das populações localizadas na área de estudo e em suas proximidades, considerando as características que irão influenciar sua potencial ou real exposição.

As características básicas sobre o meio físico a serem avaliadas são o clima, vegetação, hidrogeologia, geologia, e hidrologia. O primeiro passo é a realização de um levantamento regional, considerando como área de interesse aquela que apresenta um raio adicional em torno de 300 metros, a partir da área contaminada. Quando as dimensões da área forem muito grandes ou a contaminação for muito intensa, este raio adicional deverá ser aumentado. O mesmo se aplica para os casos em que a propagação da contaminação se deu via ar atmosférico, podendo-se chegar até raios adicionais de 1.000 metros.

Em geral, os seguintes aspectos devem ser considerados:

- Presença, características e utilização de cursos d'água superficiais;
- Presença, características e utilização do sistema aquífero regional;
- Presença, características e utilização de poços de abastecimento público;
- Presença, características e utilização de poços particulares;
- Identificação, descrição e caracterização dos tipos de solo e tipos litológicos predominantes associados a geologia da região;
- Descrição e análise das condições climáticas e sua variação segundo o ciclo hidrológico;
- Direções predominantes de ventos.

As populações potencialmente expostas (dentro e fora da área de estudo) devem ser identificadas e descritas no que se refere as características que influenciam direta ou indiretamente o processo de exposição. Os seguintes aspectos devem ser considerados para caracterização das populações potencialmente expostas:

- Uso e ocupação do solo (agrícola, residencial, comercial, recreacional, ou industrial);
- Posição dos receptores em relação as fontes e plumas de contaminação;
- Atividades desenvolvidas;
- Densidade e freqüência de ocupação;
- Presença de sub-populações sensíveis (creches, hospitais, escolas, etc.);
- Presença de estruturas subterrâneas de utilidades pública (galerias de gás, telefone, esgoto, etc).

Neste passo é fundamental que se determine os seguintes aspectos exposicionais:

- Período no qual a(s) população(ões) exposta(s) permanece(m) nos pontos de exposição;
- Tipo de ambientes em que ocorre a exposição (ambientes fechados e/ou espaços abertos);
- Forma e freqüência da exposição;
- Acesso ou isolamento das populações expostas às fontes e plumas de contaminação;
- Características específicas das populações que podem influenciar diretamente na exposição.

A análise e compilação das informações descritas acima, darão origem a um grupo de dados chamados Parâmetros de Exposição.

A valoração dos Parâmetros de Exposição será apresentada e discutida por caminho de exposição no item de Quantificação da Exposição.

Este passo deve considerar características atuais sobre as populações, bem como potenciais variações que poderão ocasionar no futuro uma exposição toxicológica.

2. Identificação dos Caminhos de Exposição

Nesta etapa são definidos todos os caminhos pelos quais cada população identificada no item anterior pode ser exposta. Cada caminho de exposição deverá descrever um único mecanismo pelo qual cada população pode ser exposta aos compostos químicos de interesse, considerando o ponto de exposição dentro ou fora da área de estudo.

Um caminho de exposição deve descrever o curso de um composto químico ou contaminante partindo da fonte até chegar ao ponto de exposição para uma determinada via de ingresso.

Os caminhos de exposição são identificados com base em considerações sobre os seguintes itens:

- Fontes e mecanismos de contaminação;
- Meio onde está retida e/ou é transportada a contaminação;
- Tipo e localização do compostos químicos de interesse na área de estudo;
- Comportamento dos compostos químicos de interesse no meio físico (persistência, particionamento, transporte, atenuação e transferência entre meios);
- Pontos de Exposição;
- Vias de Ingresso.

Para cada caminho de exposição devem ser identificados os pontos de exposição e vias de ingresso (ingestão, inalação e contato dérmico).

2.1 Identificação das fontes de contaminação

A identificação de fontes e mecanismos de contaminação deve ser realizada a partir da compilação e revisão de informações sobre o processo operacional e produtivo da área de interesse.

Normalmente estas informações podem ser obtidas a partir de relatórios das etapas anteriores do gerenciamento de áreas contaminadas, como a Avaliação Preliminar e a Investigação Confirmatória. Uma fonte adicional de informações são os relatórios de auditorias para identificação de não conformidades ambientais.

As seguintes informações devem ser obtidas na fase de identificação das fontes de contaminação :

- Localização dos pontos de contaminação;
- Tipos de contaminantes;
- Meios diretamente contaminados;
- Meios que podem ser contaminados secundariamente;
- Tempo e montante da contaminação.

Estas informações devem ser compiladas e distribuídas em plantas contendo a locação e características básicas das fontes de contaminação. Adicionalmente deve ser realizado um levantamento fotográfico de campo.

2.2 Transporte e atenuação natural

Para definir o transporte dos contaminantes pode ser utilizada como ferramenta a modelagem matemática.

Para definição da estratégia de modelagem, inicialmente deve ser realizada a avaliação das características das fontes de contaminação e das características dos compostos químicos de interesse que podem afetar o transporte e atenuação natural no meio físico.

Os seguintes aspectos devem ser avaliados para definição da estratégia de modelamento matemático:

- Transporte do contaminante no meio físico;
- Particionamento do contaminante no meio físico;
- Transformações químicas do contaminante no meio físico;
- Transformações biológicas do contaminante no meio físico;
- Retenção e Retardação do contaminante no meio físico.

Nesta etapa devem ser compilados os dados físico-químicos e propriedades relativas ao comportamento dos contaminantes no meio físico.

As principais características e parâmetros a serem levantados sobre os contaminantes de interesse são as seguintes:

- Coeficiente de Partição entre o Carbono Orgânico e Água (K_{oc});
- Coeficiente de Partição entre o Solo/Sedimento e Água (K_d);
- Coeficiente de Partição entre Octanol e Água (K_{ow});
- Solubilidade do Contaminante na Água (S);
- Constante da Lei de Henry (H);
- Pressão de Vapor (Pv);
- Coeficiente de Difusão na Água (Dw);
- Coeficiente de Difusão no Ar (Da);
- Fator de Bioconcentração (BCF);
- Meia Vida do Contaminante no Meio Ambiente.

Os dados coletados nesta fase serão utilizados na etapa de quantificação das concentrações de exposição (item 3.3.1).

2.3 Identificação de Pontos de Exposição e Vias de Ingresso

Após a identificação dos meios contaminados ou potencialmente contaminados, devem ser identificados os pontos de exposição para que seja determinado se as populações potencialmente expostas entram em contato com os meios de interesse.

O estabelecimento da relação entre a fonte de contaminação e os pontos de exposição é fundamental, ou seja, devem ser identificados quais pontos de exposição estejam associados a uma determinada fonte de contaminação. Adicionalmente, devem ser estimadas as distâncias entre os pontos de exposição e as fontes de contaminação, bem como quais os contaminantes envolvidos no evento de exposição e quais meios potencialmente contaminados nos pontos de exposição.

Nesta etapa devem ser estabelecidas as vias de ingresso pelas quais os contaminantes podem ingressar nos organismos potencialmente expostos.

De maneira geral, as vias de ingresso que são consideradas em estudos de Avaliação de Risco à Saúde Humana em áreas Contaminadas são as seguintes:

- Inalação;
- Ingestão;
- Contato Dérmico.

2.4 Integração e Sumarização dos Resultados

O resultado da integração e sumarização dos dados levantados nas etapas anteriores é a definição dos Caminhos de Exposição que podem ocorrer em uma área de estudo.

Um caminho de exposição é considerado completo quando são identificados os seguintes aspectos:

- fonte ou mecanismo de contaminação;
- ponto de exposição;
- Meio físico potencialmente contaminado pelo qual o contamineado pode ser transportado;
- via de ingresso.

9400 Quantificação da Exposição

Nesta etapa, são quantificadas a magnitude, a frequência e a duração da exposição, para cada caminho de exposição identificado na etapa anterior. A quantificação da exposição pode ser dividida em dois estágios: estimativa das concentrações de exposição e cálculo do ingresso.

A estimativa das concentrações de exposição corresponde a quantificação das concentrações dos compostos químicos de interesse que estarão em contato com o receptor durante o período de exposição. As concentrações de exposição são estimadas usando dados de monitoramento ambiental (ver coleta de dados) e/ou modelos matemáticos de transporte de contaminantes. O modelamento matemático pode ser utilizado para estimar futuras concentrações em pontos de exposição, que já tenham contaminação; em pontos ainda não contaminados ou em pontos onde não existem dados de monitoramento.

A exposição é definida como o contato de um organismo com um composto químico ou contaminante. Se a exposição ocorre ao longo do tempo, a exposição total pode ser dividida por um período de tempo de interesse, para ser obtida uma taxa de exposição média por unidade de tempo. A taxa de exposição média também pode ser expressa em função da massa corporal.

O cálculo do ingresso corresponde a quantificação das concentrações dos compostos químicos de interesse que potencialmente ingressaram no organismo exposto por uma determinada via de ingresso, considerando cada caminho de exposição identificado.

As doses de ingresso são expressas em termos da quantidade do composto que está em contato com o organismo humano por unidade de tempo por kilo de peso corporal(exemplo : mg/kg.dia de cloreto de vinila).

As doses de ingresso também podem ser encontradas na literatura expressas pelos seguintes termos:

- Taxa de Exposição Normalizada;
- Dose Administrada;

- Dose Aplicada;
- Dose Absorvida.

O ingresso deve ser estimado por população potencialmente exposta. Nesta etapa devem ser avaliadas e sumarizadas as fontes de incerteza como: variação dos dados analíticos, resultado dos modelos e pressuposições assumidas.

O resultado da avaliação das incertezas associadas ao cálculo do ingresso deverá ser utilizado no processo de tomada de decisão com base no risco.

O cálculo do ingresso é baseado no conceito de Exposição Máxima Razoável, que se espera ocorrer para cenários de uso atual e futuro da área de estudo. A Exposição Máxima Razoável pode ser definida como o máximo valor de exposição que pode ser aceito em uma determinada área.

No Quadro 9400-1 é apresentada a equação genérica para o cálculo do ingresso de um composto químico, segundo alguns parâmetros de exposição. Três categorias de parâmetros de exposição são utilizados para o cálculo do ingresso:

- Parâmetros relacionados ao composto químico;
- Parâmetros que descrevem a exposição das populações;
- Parâmetros relacionados ao período de exposição.

QUADRO 9400-1: Equação Genérica para o Cálculo do Ingresso

$I = C \times \frac{IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$		
<i>I</i>	mg/kg-dia	Ingresso ou quantidade de contaminante que ingressa no organismo humano por um Caminho de Exposição
<i>C</i>	mg/L ou mg/kg	Concentração do contaminante no meio focado
<i>IR</i>	L/dia ou kg/dia	Taxa de contato com o meio focado
<i>EF</i>	dias/ano	Frequência de Exposição
<i>ED</i>	Ano	Duração da Exposição
<i>BW</i>	kg	Peso Corporal
<i>AT</i>	Dias	Período de Exposição

1. Estimativa das concentrações nos Pontos de Exposição

As concentrações dos compostos químicos de interesse para a avaliação de risco podem ser estimadas das seguintes formas :

- Usando somente dados de monitoramento;
- Usando dados de monitoramento associados a resultados de modelos matemáticos de transporte de contaminantes.

1.1- Utilização de Dados de Monitoramento

O uso direto de dados de monitoramento para estimar a concentração de compostos químicos de interesse em pontos de exposição é normalmente utilizada quando a exposição envolve o contato direto com o meio monitorado (ex. contato direto com o solo superficial contaminado), ou quando o monitoramento ocorre diretamente no ponto de exposição (ex. monitoramento no poço cacimba de água para consumo humano localizado em uma residência). Para os casos citados acima, é sugerido que sejam utilizados dados de monitoramento para quantificação das doses de ingresso.

Os dados de monitoramento deverão ser compilados considerando sempre as características da área de interesse e os caminhos de exposição a serem avaliados. Para tanto os dados sobre os compostos químicos deverão ser divididos por meio de interesse, considerando subgrupos por localização dos pontos de amostragem e caminhos de exposição.

Caso o ponto de amostragem seja coincidente com o ponto de exposição, este dado deve ser tratado separadamente para quantificação da Dose de Ingresso associada ao cenário de exposição específico. Não entendi.

Uma outra abordagem é considerar a maior concentração obtida do composto químico de interesse para um determinado meio, como a concentração no ponto de exposição para os caminhos de exposição associados a este meio. Neste caso a Dose de Ingresso a ser quantificada refletirá um cenário de máxima exposição possível para um tempo médio de avaliação, logo, mais conservadora.

1.2 Utilização de Modelamento Matemático

Na maior parte dos projetos de avaliação de risco, dados de monitoramento não são suficientes para estimar as concentrações nos pontos de exposição. Nestes casos é necessária a utilização de modelos matemáticos de transporte de contaminantes.

A utilização de modelos matemáticos para quantificação de concentrações em pontos de exposição é necessária quando:

- Os pontos de exposição estão espacialmente separados dos pontos de monitoramento. Em alguns casos é necessária a simulação de concentrações em pontos de exposição onde não existem pontos de monitoramento.
- Quando não existe distribuição temporal dos dados de monitoramento. Muitas vezes quando o projeto de Avaliação de Risco foi desenvolvido em período de monitoramento restrito;
- Quando é difícil ou não representativa a medição realizada em um determinado meio, como por exemplo a concentração de compostos voláteis no ar, quando então se opta por calcular este valor utilizando-se modelos a partir de resultado de monitoramento do solo ou água subterrânea.

O modelamento matemático de transporte e atenuação natural de contaminantes poderá simular uma concentração em um ponto de exposição, a partir de uma fonte secundária de contaminação. A fonte secundária de contaminação pode ser a fase dissolvida do contaminante na água subterrânea ou na água intersticial do solo, ou ainda a fases retida e vapor localizadas no solo. Os modelos matemáticos a serem utilizados podem ser de dois tipos, a saber:

- **MODELOS INTERMEIOS:** Modelos de partição e equilíbrio de massa para determinar o fluxo ou as concentrações de transferência de um meio para outro (a exemplo da volatilização do cloreto de vinila a partir da água subterrânea para a zona de respiração em ambientes abertos);
- **MODELOS INTRAMEIOS:** Modelos de Atenuação e Transporte de Contaminantes ao longo de um único meio (a exemplo do transporte de PCE na zona saturada).

A Tabela 9400-1 apresenta alguns modelos matemáticos utilizados para simulação de concentrações de compostos químicos de interesse em pontos de exposição.

TABELA 9400-1: Modelos Matemáticos de Transporte e Atenuação

INTER-MEIOS		INTRA-MEIOS	
ANALITICOS	NUMERICOS	ANALITICOS	NUMERICOS
Johnson & Etinger	TSDF®	DOMENICO	MODFLOW®
EMSOFT®	ISC-ST®	PRINCE®	MT3D®
JURY	VIP®	BIOSCREEN®	RT3D®
EL-JURY	MULTIMED®	BIOCHLOR®	BIOPLUME®
BAN-JURY	SESOIL®	MYGRT®	HYDRUS®
FMD®	VLEACH®	AIR BOX	PRZM-2
RITZ	SUTRA	AQUIFER BOX	MOC
SUMMERS®	HST3D	CMLS®	

A escolha do modelo matemático a ser utilizado será função do tipo e quantidade de dados disponíveis, bem como do nível de detalhamento esperado no projeto de Avaliação de Risco. Em geral, a estimativa de concentrações em pontos de exposição envolvem a análise de dados de monitoramento, associada a aplicação de modelos analíticos simples.

2 Cálculo do Ingresso por Caminho de Exposição

O Ingresso é expresso como a quantidade do composto químico que está na interface de contato com o organismo exposto (pele, pulmões, intestino) e disponível para absorção.

Nesta etapa é estimado o Ingresso para todos os caminhos de exposição possíveis para uma determinada área de estudo.

2.1 Ingresso Pela Água Subterrânea ou Água Superficial Contaminada

Um receptor humano pode ser exposto à um composto químico de interesse presente na água subterrânea e na água superficial pelas seguintes vias de ingresso:

- Ingestão de água subterrânea ou água superficial usada para consumo;
- Ingestão de água superficial durante a natação/recreação;
- Contato dérmico com água subterrânea ou água superficial.

A exposição humana associada a volatilização de compostos químicos a partir da água subterrânea e superficial será discutida na seção 2.3.

Nos casos de exposição por ingestão e contato dérmico, considerando como meio contaminado a água (subterrânea ou superficial), devem ser considerados cenários de exposição direta, ou seja, o receptor encontra-se em contato com o meio contaminado.

O Quadro 9400-2 apresenta a equação utilizada para o cálculo do **Ingresso a partir da ingestão de água contaminada**.

QUADRO 9400-2: Ingresso a partir da Ingestão de Água Contaminada

$I = C_w \times \frac{IR \times EF \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT}$		
I	mg/kg-dia	Ingresso por Ingestão de Água Contaminada
C_w	mg/L	Concentração do Composto Químico na Água
IR	L/dia	Taxa de Ingestão de Água
EF	dias/ano	Frequência de Exposição
ED	Ano	Duração da Exposição
BW	Kg	Peso Corpóreo
AT	Dias	Período de Exposição

É importante ressaltar que, nas avaliações de risco, devem ser utilizados, como parâmetros, para quantificação das variáveis da população e do tempo de permanência na área de risco, dados realísticos, que representem efetivamente as condições brasileiras.

Para estabelecimento dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo, a CETESB realizou um levantamento bibliográfico, para quantificação destas variáveis, utilizando como fontes de informação estudos de avaliação de risco realizados para as condições do Brasil, bem como de outros países. A quantificação das variáveis da população e do tempo de permanência na área contaminada está consubstanciada no "Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo", editado pela CETESB em 2001 (CETESB, 2001)

Na Tabela 9400-2 são apresentados os Parâmetros de Exposição sugeridos para Ingestão de Água Contaminada.

Tabela 9400-2 Parâmetros de Exposição sugeridos para Ingestão de Água Contaminada

PARÂMETRO	FONTE	INDUSTRIAL		RESIDENCIAL		AGRICOLA	
		ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA
IR	CETESB, 2001	1	0,5	1	1	2	1
EF	CETESB, 2001	288	5	365	365	365	365
ED	CETESB, 2001	25	6	24	6	58	6
BW	CETESB, 2001	60	15	60	15	60	15
ATn	EPA, 1997	12775	12775	12775	12775	12775	12775
ATc	EPA, 1997	25550	25550	25550	25550	25550	25550

O Quadro 9400-3 apresenta a equação utilizada para o cálculo do Ingresso a partir da ingestão de água superficial contaminada durante a natação/recreação.

QUADRO 9400-3: Ingresso para Ingestão de Água Durante a Natação/Recreação

$I = C_w \times \frac{CR \times ET \times EF \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT}$		
I	mg/kg-dia	Ingresso por Ingestão de Água Contaminada
Cw	mg/L	Concentração do Composto Químico na Água
CR	L/hora	Taxa de Contato
ET	horas/dia	Tempo de Exposição
EF	dias/ano	Freqüência de Exposição
ED	Ano	Duração da Exposição
BW	Kg	Peso Corpóreo
AT	Dias	Período de Exposição

Na Tabela 9400-3 são indicados os parâmetros de exposição sugeridos para Ingestão de Água Durante a Natação/Recreação

Tabela 9400-3 Parâmetros de Exposição sugeridos para Ingestão de Água Durante a Natação/Recreação

PARÂMETRO	FONTE	INDUSTRIAL		RESIDENCIAL		AGRICOLA	
		ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA
CR	EPA, 1997	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
ET	-	Específico para o cenário de exposição avaliado					
EF	CETESB, 2001	288	5	365	365	365	365
ED	CETESB, 2001	25	6	24	6	58	6
BW	CETESB, 2001	60	15	60	15	60	15
Atn	EPA, 1997	12775	12775	12775	12775	12775	12775
Atc	EPA, 1997	25550	25550	25550	25550	25550	25550

Para aplicação das equações devem ser conceituados cenários de exposição específicos para cada caminho de exposição, sendo que **C_w** é a concentração do composto químico de interesse na água no ponto de exposição, a qual pode ser obtida por análise química a partir de amostras significativas ou modelada por meio da utilização de modelos de transporte e atenuação de contaminantes no meio físico.

O Quadro 9400-4 apresenta a equação utilizada para o cálculo do **Ingresso a partir do contato dérmico com água contaminada**.

QUADRO 9400-4: Ingresso para Contato Dérmico com Água Contaminada

$I = C_w \times \frac{SA \times PC \times ET \times EF \times ED \times CF}{BW} \times \frac{1}{AT}$		
I	mg/kg-dia	Ingresso por contato dérmico com Água Contaminada
C _w	mg/L	Concentração do Composto Químico na Água
SA	cm ²	Superfície da pele Disponível para Contato
PC	cm/hora	Constante de Permeabilidade Dérmica
ET	horas/dia	Tempo de Exposição
EF	dias/ano	Frequência de Exposição
ED	Ano	Duração da Exposição
CF	1l/1000 cm ³	Fator de Conversão
BW	Kg	Peso Corpóreo
AT	Dias	Período de Exposição

A tabela 9400-4 apresenta os parâmetros de exposição para contato dérmico com água contaminada.

Tabela 9400-4 Parâmetros de Exposição sugeridos para Contato Dérmico com Água Contaminada

PARÂMETRO	FONTE	INDUSTRIAL		RESIDENCIAL		AGRICOLA	
		ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA
SA	CETESB, 2001	0,2	0,14	0,86	0,32	0,86	0,32
PC	CETESB, 2001	0,005	0,01	0,005	0,01	0,005	0,01
ET	-	Específico para o cenário de exposição avaliado					
EF	CETESB, 2001	288	5	365	365	365	365
ED	CETESB, 2001	25	6	24	6	58	6
BW	CETESB, 2001	60	15	60	15	60	15
Atn	EPA, 1997	12775	12775	12775	12775	12775	12775
Atc	EPA, 1997	25550	25550	25550	25550	25550	25550

2.2 Ingresso a partir do Solo, Sedimento ou Poeira Contaminada

Um receptor humano pode ser exposto à um composto químico de interesse presente no solo, sedimento ou poeira pelas seguintes vias de ingresso:

- Ingestão;
- Contato Dérmico.

As Doses de Ingresso associadas a inalação de compostos químicos a partir do solo superficial serão discutidas na seção 2.3.

Nos casos de exposição por ingestão e contato dérmico considerando como meio contaminado o solo superficial, devem ser considerados cenários de exposição direta, ou seja, o receptor encontra-se em contato com o meio contaminado.

O Quadro 9400-5 apresenta a equação utilizada para o cálculo do **Ingresso a partir da ingestão de solo contaminado**.

QUADRO 9400-5: Ingresso para Ingestão de Solo Contaminado

$I = C_s \times \frac{IR \times FI \times EF \times ED \times CF}{BW} \times \frac{1}{AT}$		
I	mg/kg-dia	Ingresso pela Ingestão de solo Contaminado
Cs	mg/kg	Concentração do Contaminante no Solo
IR	mg/dia	Taxa de Ingestão de Solo
FI	-	Fração Ingerida da Fonte
EF	dias/ano	Frequência de Exposição
ED	Ano	Duração da Exposição
CF	10 ⁻⁶ kg/mg	Fator de Conversão
BW	Kg	Peso Corpóreo
AT	Dias	Período de Exposição

A Tabela 9400-5 apresenta os Parâmetros de Exposição sugeridos para ingestão de solo contaminado.

Tabela 9400-5 Parâmetros de Exposição para Ingestão de Solo Contaminado

PARÂMETRO	FONTE	INDUSTRIAL		RESIDENCIAL		AGRICOLA	
		ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA
IR	CETESB, 2001	50	100	100	200	150	300
FI	-	Específico para o cenário de exposição avaliado					
EF	CETESB, 2001	288	5	365	365	365	365
ED	CETESB, 2001	25	6	24	6	58	6
BW	CETESB, 2001	60	15	60	15	60	15
ATn	EPA, 1997	12775	12775	12775	12775	12775	12775
ATc	EPA, 1997	25550	25550	25550	25550	25550	25550

O Quadro 9400-6 apresenta a equação utilizada para o cálculo do **Ingresso a partir do contato dérmico com solo contaminado**.

QUADRO 9400-6 Ingresso a partir do Contato Dérmico com Solo Contaminado

$I = C_s \times \frac{SA \times AF \times ABS \times EF \times ED \times CF}{BW} \times \frac{1}{AT}$		
I	mg/kg-dia	Dose de Ingresso Ingestão de Água Contaminada
Cs	mg/L	Concentração do Composto Químico no Solo
SA	cm ²	Superfície da pele Disponível para Contato
AF	mg/cm ³	Fator de Aderência do Solo na Pele
ABS	-	Fator de Absorção
EF	dias/ano	Frequência de Exposição
ED	Ano	Duração da Exposição
CF	10 ⁻⁶ mg/kg	Fator de Conversão
BW	Kg	Peso Corpóreo
AT	Dias	Período de Exposição

A Tabela 9400-6 apresenta os Parâmetros de Exposição sugeridos para Contato Dérmico com Solo Contaminado.

Tabela 9400-6 Parâmetros de Exposição sugeridos para Contato Dérmico com Solo

PARÂMETRO	FONTE	INDUSTRIAL		RESIDENCIAL		AGRICOLA	
		ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA
SA	CETESB, 2001	0,2	0,14	0,86	0,32	0,86	0,32
AF	EPA, 1997	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
ABS	-	Específico para o composto químico					
EF	CETESB, 2001	288	5	365	365	365	365
ED	CETESB, 2001	25	6	24	6	58	6
BW	CETESB, 2001	60	15	60	15	60	15
ATn	EPA, 1997	12775	12775	12775	12775	12775	12775
ATc	EPA, 1997	25550	25550	25550	25550	25550	25550

Para aplicação das equações devem ser definidos cenários de exposição específicos para cada caminho de exposição, sendo que **Cs** é a concentração do composto químico de interesse no solo superficial no ponto de exposição, a qual deve ser obtida por análise química a partir de amostras significativas do meio investigado.

No caso do cálculo da Dose de Ingresso para contato dérmico com solo, esta será uma estimativa da Dose Absorvida por esta via de exposição e não do montante do composto químico que está em contato com a pele.

2.3 Ingresso a partir do Ar Contaminado

Um receptor humano pode ser exposto à um composto químico de interesse presente no ar pelas seguintes vias de ingresso:

- Inalação de vapores;
- Inalação de partículas.

O ingresso via absorção dérmica de compostos químicos na fase vapor é considerado muito menor que o ingresso via inalação. Por isso esta via de exposição normalmente não é computada para efeito de cálculo.

Nos casos de exposição por inalação de vapores presentes no ar atmosférico, provenientes de solos ou águas contaminadas, devem ser considerados cenários de exposição indireta, ou seja, o receptor não encontra-se em contato direto com o meio contaminado. Neste contexto, deve ser calculada, utilizando-se modelos, a concentração do contaminante no ar, a partir da concentração do contaminante no solo ou nas águas.

No caso da exposição via inalação de partículas, deve ser considerado como meio contaminado o solo superficial.

O Quadro 9400-7 apresenta a equação utilizada para o cálculo do **Ingresso a partir da Inalação de Vapores presentes no ar**.

QUADRO 9400-7 Ingresso para Inalação de Vapores Presentes no Ar

$I = C_A \times \frac{IR \times ET \times EF \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT}$		
I	mg/kg-dia	Ingresso a partir da inalação de vapores presentes no ar
C _A	mg/m ³	Concentração do Composto Químico no ar
IR	m ³ /hora	Taxa de Inalação de Ar
ET	horas/dia	Tempo de Exposição
EF	dias/ano	Frequência de Exposição
ED	Ano	Duração da Exposição
BW	Kg	Peso Corpóreo
AT	Dias	Período de Exposição

A Tabela 9400-7 apresenta os Parâmetros de Exposição sugeridos para Inalação de Vapores Presentes no Ar.

Tabela 9400-7 Parâmetros de Exposição para Inalação de Vapores Presentes no Ar

PARÂMETRO	FONTE	INDUSTRIAL		RESIDENCIAL		AGRICOLA	
		ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA
IR	CETESB, 2001	22	15	22	15	22	15
ET	-	Específico para o cenário de exposição avaliado					
EF	CETESB, 2001	288	5	365	365	365	365
ED	CETESB, 2001	25	6	24	6	58	6
BW	CETESB, 2001	60	15	60	15	60	15
Atn	EPA, 1997	12775	12775	12775	12775	12775	12775
Atc	EPA, 1997	25550	25550	25550	25550	25550	25550

O Quadro 9400-8 apresenta a equação utilizada para o cálculo do **Ingresso a partir da Inalação de Partículas presentes no ar.**

QUADRO 9400-8 Ingresso para Inalação de Partículas Presentes no Ar

$I = C_s \times \frac{IP \times FR \times FA \times ET \times ER \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT}$		
I	mg/kg-dia	Ingresso a partir da inalação de vapores presentes no ar
C _s	mg/kg	Concentração do contaminante no solo
IP	Kg/hora	Taxa de Inalação de Partículas
FR	-	Fator de retenção de partículas no pulmão
FA	-	Fator de absorção relativa
ET	horas/dia	Tempo de Exposição
EF	dias/ano	Frequência de Exposição
ED	Ano	Duração da Exposição
BW	Kg	Peso Corpóreo
AT	Dias	Período de Exposição

A Tabela 9400-8 apresenta os Parâmetros de Exposição sugeridos para Inalação de partículas presentes no ar.

Tabela 9400-8 Parâmetros de Exposição para Inalação de Partículas Presentes no Ar

PARÂMETRO	FONTE	INDUSTRIAL		RESIDENCIAL		AGRICOLA	
		ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA	ADULTO	CRIANÇA
IP		Específico para o cenário de exposição avaliado					
FR	CETESB, 2001	0,75					
FA	CETESB, 2001	1					
ET	-	Específico para o cenário de exposição avaliado					
EF	CETESB, 2001	288	5	365	365	365	365
ED	CETESB, 2001	25	6	24	6	58	6
BW	CETESB, 2001	60	15	60	15	60	15
ATn	EPA, 1997	12775	12775	12775	12775	12775	12775
ATc	EPA, 1997	25550	25550	25550	25550	25550	25550

2.4 Combinação de Doses de Ingresso por Caminho de Exposição

Ao final do cálculo das doses de ingresso individuais, deve ser considerado que um determinado grupo de indivíduos podem estar potencialmente expostos à um composto químico de interesse a partir de varias vias de ingresso. Por exemplo, moradores de residências podem estar expostos a concentrações de um compostos químico dissolvido na água subterrânea, considerando a ingestão e inalação de vapores, simultaneamente.

Para uma estimativa razoável da exposição, para vários caminhos, devem ser combinadas a doses de ingresso considerando típicas exposições que potencialmente podem ocorrer associadas, segundo o modelo conceitual definido para a área de estudo.

Nesta etapa da Avaliação de Risco as Doses de Ingresso não são calculadas para múltiplos ingressos. O risco associado a exposição por múltiplos ingressos é quantificado na etapa de Quantificação do Risco. Entretanto, neste momento as Doses de Ingresso calculadas individualmente deverão ser agrupadas, considerando os caminhos de exposição e cenários que levem a múltiplos ingressos definidos no modelo conceitual de exposição.

9500 Análise de Toxicidade

O propósito da Análise de Toxicidade é a compilação e interpretação das evidências de ocorrência de efeitos adversos à saúde humana, associadas a exposição de um receptor a um composto químico, segundo um evento de exposição, bem como estimar a relação entre a extensão da exposição e o incremento da probabilidade de efeitos adversos à saúde.

A análise de toxicidade deve ser desenvolvida em duas etapas: Identificação do Perigo Toxicológico e Avaliação de Dose-Resposta.

O primeiro passo, **Identificação do Perigo Toxicológico**, é o processo de avaliação se a exposição a um composto químico pode causar um incremento na incidência de um determinado efeito adverso a saúde (câncer, náuseas, etc.) e se o efeito adverso pode ocorrer em humanos.

A **Identificação do Perigo Toxicológico** envolve a caracterização da natureza e intensidade do efeito, com base em evidências científicas sobre o potencial de uma substância química causar efeitos adversos a saúde (carcinogênicos e não carcinogênicos) em humanos. A fonte de informações são os estudos epidemiológicos, estudos clínicos, e estudo de experimentos em animais.

O segundo passo, **Avaliação de Dose-Resposta**, é o processo de avaliação quantitativa das informações toxicológicas e a caracterização da relação entre a dose do contaminante administrado ou recebido e a incidência do efeito adverso a saúde em eventos de exposição. A partir desta avaliação quantitativa, valores toxicológicos são quantificados, os quais podem ser utilizados para estimar a incidência ou potencial de efeitos adversos em função da exposição humana à um composto químico.

1. Estudos de Dose-Resposta

Em vista da população estar exposta a diferentes tipos de substâncias químicas, os efeitos produzidos podem ser relacionados com substâncias não carcinogênicas ou carcinogênicas.

Para as substâncias carcinogênicas não há, teoricamente, um nível de exposição que seja isento de risco. Entretanto, para as substâncias não carcinogênicas a exposição tem que ocorrer acima de um determinado valor, denominado dose limiar, antes que os riscos para os humanos se tornem uma preocupação.

Devido a estas diferenças, o avaliador de risco deve relatar de forma diferente os efeitos carcinogênicos e os não carcinogênicos. Quando se estima o risco de câncer, procura-se prever um nível de risco para a vida toda, para um indivíduo exposto e qual o número adicional de casos de câncer que podem ocorrer numa população de pessoas expostas. Estes casos de câncer podem ou não ocorrer mas, se ocorrerem, estariam somados aos casos de câncer por outras causas, como por exemplo a fumaça do tabaco.

Para a toxicidade dos não carcinogênicos, estima-se um nível de exposição diária que representa uma dose segura para não ocorrer efeitos deletérios à saúde humana.

2 Análise Toxicológica para Efeitos não Carcinogênicos

A Dose de Referência (RfD), é um parâmetro toxicológico usado freqüentemente para avaliar efeitos não carcinogênicos resultantes de um evento de exposição. Vários tipos de RfD podem ser utilizadas em projetos de Avaliação de Risco, dependendo da via de ingresso (inalação, ingestão, contato dérmico), de efeitos críticos e extensão da exposição (crônica, subcrônica ou eventos simples).

A **RfD Crônica** é definida como a estimativa (com incerteza de uma ordem de magnitude ou mais) de um nível de exposição diária de uma população humana, incluindo subpopulações sensíveis, que possa ocorrer sem que exista o risco de efeitos adversos a saúde durante o tempo de vida. **RfD Crônicas** são desenvolvidas especificamente para avaliação de exposição de longa duração. Os períodos de exposição avaliados com **RfD Crônicas** variam entre sete anos e o Tempo de Vida Máximo.

A **RfD SubCrônica** é utilizada para caracterizar efeitos não carcinogênicos potenciais associados a eventos de exposição de curta duração e exposições simples.

2.1 Determinação das Doses de Referência

A Dose de Referência deve ser determinada para as vias de ingresso a serem avaliadas no estudo de Avaliação de Risco, como se segue:

- Dose de Referência para Inalação (**RfDo**), determinada visando a caracterização de efeitos adversos a saúde causados segundo um evento de exposição onde a via de ingresso avaliada é a **Inalação**;
- Dose de Referência para Ingestão (**RfDi**), determinada visando a caracterização de efeitos adversos a saúde causados segundo um evento de exposição onde a via de ingresso avaliada é a **Ingestão**;
- Dose de Referência para Contato Dérmico (**RfDd**), determinada visando a caracterização de efeitos adversos a saúde causados segundo um evento de exposição onde a via de ingresso avaliada é o **Contato Dérmico**.

Para determinação das Doses de Referências, inicialmente deve-se realizar um estudo de doses críticas, seguido da determinação dos efeitos tóxicos associados às doses selecionadas e da identificação de níveis de exposição experimentais que representaram a mais alta concentração para não ocorrência de efeitos adversos, ou seja, a Dose de Referência.

O primeiro passo, estudo de doses críticas, é a determinação do **Menor Nível Efeito Adverso Observado (MNEO)**. O MNEO é determinado em curvas de Dose-Resposta e demonstra o ponto da curva onde ocorre o primeiro efeito adverso a saúde. A partir do MNEO é determinado o **Maior Nível Efeito Adverso não Observado (MNEN)**.

A **RfD** é determinada a partir do MNEO ou MNEN para efeitos tóxicos críticos considerando a aplicação de **Fatores de Incerteza (FI)** e **Fatores de Modificação (FM)**. Os FI geralmente consistem em valores múltiplos de 10. A base para aplicação dos diferentes FI são descritas a seguir:

- Um FI de 10 é utilizado para quantificar as variações nas populações a serem avaliadas no Estudo de Avaliação de Risco, visando a proteção de subpopulações mais sensíveis;
- Um FI de 10 é utilizado quando os valores do estudo de Dose-Resposta foi realizado em animais e está sendo extrapolado para humanos;
- Um FI de 10 é utilizado quando o MNEN foi determinado para condições de exposição sub crônica e é utilizado para determinação de RfD crônicas;

- Um Fi de 10 é utilizado quando um MNEO é utilizado no lugar de um MNEN.

Adicionalmente aos Fi listados acima, um FM deve ser aplicado, como se segue:

- Um FM variando de >0 a 10 pode ser incluindo para refletir uma análise qualitativa do consultor que pode julgar, segundo uma abordagem tecnicamente defensável, que alguma incerteza associada a quantificação da RfD não foi previsto ou é específica para o composto químico de interesse.

Para calcular as RfD pode ser utilizada a equação apresentada no quadro 9500-1.

QUADRO 9500-1 Cálculo da Dose de Referência para Efeitos não Carcinogênicos

$RfD = \frac{MNEN}{(FI_1 \times FI_2 \times FI_n \times FM)} \therefore RfD = \frac{MNEO}{(FI_1 \times FI_2 \times FI_n \times FM)}$		
RfD	mg/kg-dia	Dose de Ingresso Ingestão de Água Contaminada
MNEN	mg/kg-dia	Maior Nível Efeito Adverso não Observado
MNEO	mg/kg-dia	Menor Nível Efeito Adverso Observado
UFI	-	Fator de Incerteza
FM	-	Fator de Modificação

3. Análise Toxicológica para Efeitos Carcinogênicos

A análise toxicológica para efeitos carcinogênicos é realizada com base na determinação do Fator de Carcinogenicidade (SF) acompanhado do peso da evidência de câncer.

O primeiro passo da análise para efeitos carcinogênicos é a determinação do peso da evidência de ocorrência de câncer, a qual pode ser determinada em estudos em animais e humanos. A evidência de câncer pode ser classificada a partir do seguinte sistema:

- Grupo A: Reconhecidamente Carcinogênicos;
- Grupos B1: Carcinogenicidade apontada com base em estudos limitados para humanos;
- Grupos B2: Carcinogenicidade apontada com base em evidências suficientes para animais, e insuficientes para humanos;

- Grupo C: Possibilidade de causar câncer em humanos;
- Grupo D: Não classificável como causador de câncer em humanos;
- Grupo E: Evidência de não ser carcinogênico para humanos.

O segundo passo para efeitos carcinogênicos, com base na avaliação que o composto químico é conhecidamente ou provavelmente gerador de câncer em humanos, um valor de toxicidade que defina quantitativamente a relação entre a dose e a resposta carcinogênica, ou seja, o Fator de Carcinogenicidade (SF).

O SF é utilizado, em estudos de Avaliação de Risco, para estimar a probabilidade de ocorrência de um caso adicional de cancer, em uma determinada população, decorrente de um evento de exposição a contaminantes carcinogênicos.

Valores toxicológicos para efeitos carcinogênicos podem ser expressos em termos de risco por unidade de concentração do composto presente em um meio, quando o contato com o ser humano ocorre. Esta medida é chamada de unidade de risco e é calculadas pela divisão do SF pelo peso corpóreo, multiplicado pela taxa de inalação ou pela taxa de ingestão de água, respectivamente para riscos associados a concentrações no ar ou na água.

$$UR = SF \times \frac{IR}{BW}$$

4. Fontes de Dados Toxicológicos

As seguintes fontes de dados podem ser utilizadas para obtenção de dados toxicológicos não carcinogênicos e carcinogênicos:

- Integrated Risk Information System (IRIS);
- Health Effects Assessment Summary Tables (HEAST);
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR);
- EPA's Environmental Criteria and Assessment Office (ACAO).

9600 Caracterização do Risco

Na etapa **Caracterização do Risco** as etapas de **Avaliação de Exposição** e **Análise de Toxicidade** são sumarizadas e integradas em expressões quantitativas, visando a determinação do risco a saúde humana.

A caracterização do potencial de efeitos não carcinogênicos é realizada a partir da comparação entre as Doses de Ingresso calculadas na Avaliação de Exposição e os valores toxicológicos identificados na Análise de Toxicidade.

A caracterização do potencial de efeitos carcinogênicos é realizada a partir da determinação da probabilidade de um indivíduo desenvolver câncer durante o tempo de vida segundo um evento de exposição, a qual é calculada com base em doses de ingresso calculadas na Avaliação de Exposição e os valores toxicológicos identificados na Análise de Toxicidade.

A etapa de caracterização do risco marca o início da geração de informações quantitativas que poderão ser utilizadas no processo de **Gerenciamento do Risco**, quando as partes envolvidas no processo de **Gerenciamento da Área Contaminada**, deverão decidir a respeito das etapas posteriores a serem cumpridas, visando a eliminação ou minimização do risco a saúde humana.

Nesta etapa deverão ser calculados o risco carcinogênico e não carcinogênico. Um projeto de **Avaliação de Risco** só poderá ser considerado completo quanto as quantificações dos riscos são realizadas, sendo que estas devem ser acompanhadas da interpretação e da análise de sensibilidade.

1. Quantificação do Risco

A quantificação do risco deve ser realizada inicialmente individualmente para efeitos carcinogênicos e não carcinogênicos, considerando cada contaminante e cada caminho de exposição identificado no **Modelo Conceitual de Exposição** da área de estudo.

Os seguintes passos devem ser cumpridos:

- Quantificação do Risco associado a exposições individuais para cada composto químico de interesse;
- Quantificação do Risco associado a exposições simultâneas para múltiplos compostos químicos de interesse.

1.1 Risco para Efeitos Carcinogênicos

Para compostos químicos que gerem efeitos carcinogênicos, o risco é estimado a partir do fator de carcinogenicidade (SF), como um incremento da probabilidade de um indivíduo desenvolver câncer ao longo do tempo de sua vida, como resultado de um evento de exposição a um composto químico de interesse que potencialmente gere câncer.

Por estarmos tratando, em geral, com baixas doses de ingresso de contaminantes, pode-se assumir o SF na porção linear da curva de Dose-Resposta, ou seja, porção da curva onde é possível assumir uma relação linear para quantificação do Risco Carcinogênico, como apresentado no Quadro 9600-1.

QUADRO 9600-1 - Equação Linear para Quantificação do Risco Carcinogênico

$Risco = I_n \times SF$		
Risco	-	Risco Carcinogênico
I	mg/kg-dia	Dose de Ingresso para o Cenário de Exposição "n"
SF	(1/ mg/kg-dia)	Fator de Carcinogenicidade

A equação do QUADRO 9600-1 é utilizada para quantificação do Risco Carcinogênico associado a um cenário de exposição específico para um determinado composto químico de interesse.

1.2 Risco Carcinogênico para Múltiplos Compostos Químicos

A equação apresentada no Quadro 9600-2 é utilizada para estimar o incremento de ocorrência de câncer ao longo do tempo de vida, a partir de exposições simultâneas à múltiplos compostos químicos carcinogênicos. Representa uma aproximação para determinação do **Risco** a partir da somatória de probabilidades de um mesmo indivíduo desenvolver câncer como consequência da exposição a dois ou mais compostos químicos carcinogênicos.

QUADRO 9600-2: Equação Para Quantificação do Risco Carcinogênico para Múltiplos Compostos Químicos

$Risco_T = \sum Risco_i$		
RiscoT	-	Risco Carcinogênico Total
Riscai	-	Risco Carcinogênico estimado para o Composto "i"

Para aplicação da equação apresentada no QUADRO 9600-2 deve ser assumido que:

- Pequenas Doses de Ingresso diário para cada composto químico avaliado;
- Independência de ação toxicológica entre os compostos químicos avaliados;
- Todos os compostos químicos avaliados produzem o mesmo efeito, ou seja, câncer.

O **Risco Carcinogênico Total** deve ser calculado para cada caminho de exposição descrito no modelo conceitual da área, considerando todos os compostos químicos carcinogênicos que potencialmente possam ocorrer no evento de exposição.

O Risco Carcinogênico Total ao qual um determinado indivíduo pode estar exposto, deve ser calculado pela somatória de todos os riscos carcinogênicos totais estimados para cada caminho de exposição. Logo, o Risco Cumulativo Total da Área é a somatória do **Risco** para cada composto químico, dentro de cada caminho de exposição, e para todos os meios que ocorrem dentro dos mesmos cenários de exposição, simultaneamente.

1.3 Risco para Efeitos não Carcinogênicos

A medida usada para descrever o potencial de ocorrência de efeitos não carcinogênicos associado a um evento de exposição em áreas contaminadas não é expresso como uma probabilidade de ocorrência de efeitos adversos a saúde. Os efeitos não carcinogênicos são avaliados por meio da comparação de um nível de exposição por período de tempo (Dose de Ingresso) com uma Dose de Referência para um período de exposição similar. Esta comparação é representada pelo Quociente de Perigo não Carcinogênico (HQ), conforme apresentado no QUADRO 9600-3.

QUADRO 9600-3: Equação para Quantificação do Quociente de Perigo não Carcinogênico

$HQ = \frac{I_n}{RfD_i}$		
RfD	-	Quociente de Perigo não Carcinogênico
I	mg/kg-dia	Dose de Ingresso para o Cenário de Exposição "n"
RfD	mg/kg-dia	Dose de Referência para a Via de Ingresso "i"

O HQ assume que existe um nível de exposição (RfD) abaixo do qual provavelmente não ocorrem efeitos adversos a saúde de populações ou indivíduos expostos a uma concentração de um composto químico de interesse para a **Avaliação de Risco**. Se o nível de exposição quantificado para um cenário de exposição (Dose de Ingresso) excede a RfD, ou seja, a relação do QUADRO 9600-3 é maior que 1, existe um perigo de ocorrência de efeitos não carcinogênicos adversos a saúde humana.

Para quantificação de efeitos não carcinogênicos, devem ser considerados três períodos de tempo para avaliação:

- Crônico – Duração da exposição variando de sete anos ao tempo de vida;
- Subcrônico – Duração da exposição variando de duas semanas a sete anos;
- Curta Duração – Duração da exposição menor que duas semanas.

Para determinação de Quocientes de Perigo não Carcinogênico apropriados, a Dose de Ingresso, deve ser quantificada na etapa de Avaliação da Exposição para um tempo de exposição (crônico, subcrônico ou curta duração) compatível com a RfD e o modelo conceitual de exposição definido para a área.

A equação apresentada no QUADRO 9600-4 é utilizada para estimar o potencial de efeitos não carcinogênicos adversos a saúde a partir de exposições simultâneas à múltiplos compostos químicos não carcinogênicos. O **Índice de Perigo** é igual a somatória dos **Quocientes de Perigo**, onde a **Dose de Ingresso** e a **Dose de Referência** devem ser compatíveis para o mesmo tempo de exposição (crônico, subcrônico ou curta duração).

QUADRO 9600-4: Equação Para Quantificação do Índice de Perigo não Carcinogênico para Múltiplos Compostos Químicos

$HI = \sum \frac{I_n}{RfD_i}$		
HI	-	Índice de Perigo
I _n	mg/kg-dia	Dose de Ingresso para o Cenário de Exposição “n”
RfDi	mg/kg-dia	Dose de Referência para a Via de Ingresso “i”

A equação do QUADRO 9600-4 assume que:

- Exposições simultâneas à vários compostos químicos podem potencialmente resultar em efeitos adversos a saúde;
- A magnitude do efeito adverso é proporcional a somatória aos níveis de exposição aceitáveis calculados (Quociente de Perigo).

Quando o **Índice de Perigo** excede a unidade, existe um potencial para ocorrência de efeitos não carcinogênicos adversos a saúde. O Índice de perigo deve ser calculado para cada caminho de exposição do modelo conceitual, considerando-se sempre os tempos de exposição (crônico, subcrônico ou curta duração).

O Índice de Perigo pode ser segregado por efeito e/ou mecanismo de ação tóxica no organismo exposto, quando todos os efeitos adversos significativos por órgão (pulmão, fígado, etc.) para cada composto químico e então classificar/agrupar os **Quocientes de Perigo** em função dos órgãos expostos e mecanismos de ação. Esta análise pode ser complexa e demorada por isso deve ser realizada por um toxicologista.

1.4 Identificação do Risco pela Combinação de Caminhos de Exposição

Existem dois passos para determinar qual o Risco total e o Índice de Perigo ??para dois ou mais caminhos de exposição que podem ser combinados para avaliação de um evento de exposição de um indivíduo ou grupo de indivíduos. O primeiro passo é a identificação de uma combinação razoável entre os caminhos de exposição a serem avaliados. O segundo passo é a análise da probabilidade dos mesmos indivíduos irão estar submetidos Doses de Ingresso consistentes do ponto de vista dos valores adotados para os parâmetros de exposição.

A identificação de múltiplos caminhos de exposição que potencialmente signifiquem uma exposição final para um determinado indivíduo ou grupo de indivíduos deve ser realizada a partir da identificação de área de interesse de máxima exposição para cada caminho, considerando o uso atual e futuro destas áreas.

Para cada caminho de exposição deve ser calculado o Risco Total e o Índice de Perigo, considerando os pontos de exposição e os períodos de exposição, conforme descrito nos itens anteriores. Se dois caminhos de exposição não afetam o mesmo receptor (indivíduo ou grupo de indivíduos), o Risco Total e o Índice de Perigo associados a estes caminhos não devem ser combinados.

Neste contexto, somente caminhos de exposição que descrevam a exposição de mesmos indivíduos ou grupo de indivíduos devem ser combinados, tanto para o Risco Carcinogênico Total, como para o Índice de Perigo não Carcinogênico.

Uma combinação razoável de caminhos de exposição deve ser validada pela análise da consistência entre as diferentes Doses de Exposição que o indivíduo ou grupo de indivíduos pode estar exposto. Ou seja, parâmetros de exposição como taxa de contato, tempo de exposição, frequência de exposição, etc, devem ser compatíveis para os diferentes caminhos de exposição a serem combinados.

QUADRO 9600-5: Equação Para Quantificação do Risco Carcinogênico para Múltiplos Caminhos de Exposição

$Risco_{ET} = \sum Risco_{CaminhoExposi\tilde{c}a(i)}$		
RiscoET	-	Risco Carcinogênico para Exposição Total
Risco(caminhoi)	-	Risco Carcinogênico estimado para cada Caminho de Exposição
		“i”

QUADRO 9600-6: Equação Quantificação do Risco não Carcinogênico para Múltiplos Caminhos de Exposição

$HI_{ET} = \sum HI_{CaminhoExposi\tilde{c}a\tilde{o}(i)}$		
HIET	-	Índice de Perigo não Carcinogênico para Exposição Total
HI(caminhoi)	-	Índice de Perigo não Carcinogênico para cada Caminho de Exposição "i"

2 Incertezas

Deverá ser apresentada no relatório de Avaliação de Risco uma análise descritiva das incertezas identificadas durante o tratamento e interpretação dos dados.

A incerteza é parte de todo projeto de Avaliação de Risco, haja visto que na maioria dos casos não estão disponíveis todas as informações suficientes sobre a exposição e a forma como as substâncias químicas podem prejudicar os indivíduos. A incerteza pode vir de muitas fontes, como as seguintes:

- Dados de amostragem inadequados ou insuficientes;
- Informações incompletas relativas à forma como as pessoas podem entrar em contato com o local contendo substâncias químicas;
- Falta de informações relativas à forma como as substâncias químicas podem prejudicar as pessoas;
- Necessidade do uso de estudos com animais de experimentação para estimar os riscos em humanos.

A avaliação das incertezas deverá ser realizada para as seguintes etapas do processo de Avaliação de Risco:

- Amostragem e aquisição de dados;
- Modelamento Matemático de Transporte e Atenuação natural de Contaminantes;
- Estimativas dos Fatores de Exposição e Quantificação das Doses de Ingresso;
- Toxicidade do Contaminantes e seus efeitos adversos.

A incerteza está diretamente associada a falta de conhecimento suficiente sobre alguma etapa da Avaliação de Risco, logo esta será inversamente proporcional ao grau de conhecimento sobre a área a ser estudada. Deve-se avaliar a aquisição de dados adicionais quando as incertezas forem muito grandes.

Visando minimizar os efeitos das incertezas no processo de avaliação de risco, deve-se adotar uma abordagem conservadora, considerando margens de segurança na avaliação a exposição, na análise de toxicidade, e na caracterização de risco.

9700 Metas de Remediação com Base no Risco

No processo de Avaliação de Risco a Saúde Humana, pode-se estimar quais seriam as máximas concentrações dos compostos químicos de interesse no meio físico que não causem risco a saúde humana, caso ocorra uma situação de exposição de um indivíduo ou uma população. Estas concentrações aceitáveis são chamadas **Metas de Remediação com Base no Risco (MRBR)**.

As Metas de Remediação com Base no Risco devem ser estabelecidas a partir do modelo conceitual desenvolvido para a Avaliação de Risco, considerando as seguintes premissas:

- Toda MRBR deve ter como base um estudo de Avaliação de Risco;
- Toda MRBR deve ser quantificada a partir de um Risco Aceitável

A MRBR deve ser calculada considerando a etapa de avaliação de exposição e o modelamento matemático de transporte a atenuação natural de contaminantes. Para o cálculo da MRBR devem ser consideradas as seguintes hipóteses:

- Cálculo da MRBR para um determinado composto químico de interesse, considerando somente um caminho de exposição;
- Cálculo da MRBR para um determinado composto químico de interesse, considerando todos os caminhos de exposição válidos para um determinado receptor ou grupo de receptores, ou seja, exposições simultâneas.

A MRBR é calculada a partir da fixação de uma Meta de Risco Aceitável (MR) ou da Meta de Quociente de Perigo (MHQ), logo esta pode ser expressa a partir associação das equações utilizadas para o cálculo do ingresso e para o cálculo do risco.

A Dose de Ingresso é calculada pela multiplicação da concentração do compostos no ponto de exposição (C_{POE}) por um fator de ingresso (IF) que será compostos pelos parâmetros de exposição associados a um cenário de exposição. Logo, a partir da equação da Tabela 9000-4, temos que:

$$I = C_{POE} \times \frac{IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad \text{ou ainda,} \quad I = C_{POE} \times IF$$

No caso de compostos carcinogênicos, podemos substituir a equação acima na equação da Tabela 9000-12, como se segue:

$$Risco = C_{POE} \times IF \times SF$$

Se na equação acima, fixarmos o *Risco* com um valor que represente uma Meta de Risco Aceitável (ex. 10^{-6}) e isolarmos a concentração “ C_{POE} ”, teremos que:

$$MRBR = \frac{MR}{IF \times SF}$$

onde: MRBR – Meta de Remediação com Base no Risco para Compostos Carcinogênicos; MR – Meta de Risco Aceitável; IF – Fator de Ingresso; SF – Fator de Carcinogenicidade.

De maneira análoga, para compostos não carcinogênicos, substituindo a equação para cálculo da Dose de Ingresso na equação da Tabela 9000-14, temos que:

$$MRBR = \frac{MHQ \times Rfd_i}{IF}$$

onde: MRBR – Meta de Remediação com Base no Risco para Compostos não Carcinogênicos; MR – Meta de Risco Aceitável; IF – Fator de Ingresso; SF – Fator de Carcinogenicidade.

A MRBR para compostos químicos carcinogênicos considerando exposições simultâneas pode ser calculada a partir da seguinte equação:

$$MRBR = \frac{MR}{(IF_{cam1} \times SF_{cam1}) + (IF_{cam2} \times SF_{cam2}) + \dots + (IF_{camN} \times SF_{camN})}$$

A MRBR para compostos químicos não carcinogênicos considerando exposições simultâneas pode ser calculada a partir da seguinte equação:

$$MRBR = \frac{THI}{\left(\frac{IF_{cam1}}{RfD_{cam1}}\right) + \left(\frac{IF_{cam2}}{RfD_{cam2}}\right) + \dots + \left(\frac{IF_{camN}}{RfD_{camN}}\right)}$$

Fator de Atenuação Natural (NAF)

O Fator de Atenuação Natural (NAF) descreve o decaimento das concentrações do composto químico de interesse entre a fonte de contaminação secundária e o ponto de exposição, ou seja:

$$C_{POE} = NAF \times C_I \quad \text{ou ainda,} \quad NAF = \frac{C_{POE}}{C_I}$$

onde: NAF – Fator de Atenuação Natural; C_{POE} – Concentração no Ponto de Exposição; C_I – Concentração Inicial.

O NAF pode ser calculado a partir de modelos matemáticos de transporte e atenuação natural de contaminantes que relacionem uma concentração inicial a uma concentração final, considerando as características do meio físico e do composto químico de interesse. Alguns exemplos de modelos matemáticos são apresentados na Tabela 9000-5.

Para o cálculo da MRBR utilizado o NAF teremos as seguintes equações:

- **Compostos Carcinogênicos**

$$MRBR = \frac{MR}{IF \times SF \times NAF}$$

- **Compostos não Carcinogênicos**

$$MRBR = \frac{MHQ \times RfD_i}{IF \times NAF}$$

O NAF representa nas equações acima as variáveis do meio físico e o comportamento do contaminante na área de estudo. Logo, os modelos de transporte utilizados para o cálculo do NAF, deverão ser alimentados com dados específicos da área de estudo.

9800 Escopo Mínimo de Projetos de Avaliação de Risco

Neste item será apresentado o escopo mínimo necessário para um estudo de Avaliação de Risco a Saúde Humana em Áreas Contaminadas.

I – RESUMO

Deverá ser descrita de forma sucinta as características gerais da área, a metodologia e modelos utilizados, os resultados quando ao risco e as metas de remediação. Também deverão constar do resumo as conclusões e recomendações mais importantes.

II – INTRODUÇÃO

Deverão ser descritos os seguintes itens:

- Identificação das partes envolvidas, como empresa contratante, empresa consultora, órgãos ambientais e legais;
- Motivação inicial do estudo;
- Datas de início e finalização do projeto considerando as principais etapas envolvidas na avaliação;
- Localização da área e identificação de aspectos fisiográficos gerais.

II.1 – OBJETIVOS

Deverão ser descritos de forma direta e clara os principais objetivos do Projeto de Avaliação de Risco, bem como a identificação do objeto de cada etapa e produto gerado no estudo.

II.2 – HISTÓRICO AMBIENTAL

Deverão ser abordados os seguintes aspectos:

- Histórico do Processo Industrial e Operacional da Área de Estudo;
- Eventos que geraram impactos ambientais;
- Acidentes e Incidentes ambientais;
- Relatórios ambientais anteriores;

- Intervenções e acompanhamentos pelo órgão ambiental ou gerenciador;

As conclusões e recomendações de todos os relatórios ambientais e acompanhamentos do órgão ambiental deverão constar resumidamente neste e deverão ser comentadas visando o estabelecimento da base de entendimento histórico, fundamental para a Avaliação de Risco.

Deverão ser apresentadas as plantas históricas da área que evidenciem as ampliações e os diferentes processos historicamente operados na área de estudo.

II.3 – ABORDAGEM

Deverão ser descritas as etapas desenvolvidas para aquisição de dados de campo, bem como para obtenção e tratamento de dados em escritório.

Deverá ser apresentada a equipe técnica que desenvolveu o projeto de Avaliação de Risco, bem como os profissionais que acompanharam os trabalhos por parte da empresa contratante e pelo órgão ambiental.

II.4 – MODELO CONCEITUAL PRELIMINAR

Neste item, deverá ser apresentado o modelo conceitual para a área, com base no histórico ambiental descrito.

Este modelo deverá refletir o entendimento inicial sobre a área, tomando como base os dados preliminares (segundo a seqüência do Gerenciamento, seria utilizado o modelo conceitual desenvolvido após a investigação detalhada), o qual foi utilizado como orientador para o desenvolvimento do projeto.

O Modelo conceitual, deverá ser o apresentado e discutido com os técnicos do órgão ambiental ou gerenciador, e deverá refletir o entendimento técnico entre as partes envolvidas no projeto.

III – METODOLOGIAS UTILIZADAS

Neste item, deverão ser apresentadas e descritas as metodologias utilizadas para aquisição e tratamento de dados, bem como para o cálculo do transporte de contaminantes, para quantificação da exposição e para a quantificação do risco e metas de remediação.

Deverão ser apresentados, discutidos e justificados os seguintes aspectos:

- Equações matemáticas utilizadas para os diferentes cálculos envolvidos no projeto;
- Metodologia para aquisição de dados e locação dos pontos de amostragem, segundo o modelo conceitual previamente definido;
- Valores utilizados nos parâmetros das equações de modelamento matemático, cálculo das exposições e quantificação do risco e metas de remediação;
- Conceitos, suposições e simplificações adotadas para o desenvolvimento da avaliação de risco;
- Incertezas associadas as equações e valores utilizados no projeto de avaliação de risco;
- Pontos sensíveis do modelo conceitual da área.

O presente item deverá ser organizado com os seguintes sub itens:

- III.1 – AQUISIÇÃO DE DADOS
- III.2 – MODELAMENTO MATEMÁTICO
- III.3 – AVALIAÇÃO DE RISCO
- III.4 – METAS DE REMEDIAÇÃO

IV – CARACTERIZAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO

Neste item, deverão ser apresentados os resultados da etapa de caracterização ambiental da área de estudo (obtidos na etapa de investigação detalhada), conforme descrito na seção "**Aquisição e Avaliação de Dados**".

IV.1 – PROCESSO OPERACIONAL

Deverão ser identificados e descritos os processos produtivos e operacionais desenvolvidos na área de estudo.(estes dados podem ter sido coletados na etapa de avaliação preliminar).

Deverão ser identificados e descritos os processos de armazenamento, bem como todos os processos operacionais secundários ou de apoio aos processos industriais principais.

Deverão ser identificados as matérias primas e produtos acabados envolvidas nos diferentes processos produtivos.

Neste item, o modelo conceitual da área deverá ser modificado e detalhado, caso necessário, considerando os aspectos associados às fontes primárias e secundárias de contaminação.

IV.2 – MEIO FÍSICO

Deverão ser apresentados os resultados das investigações de campo desenvolvidas visando a caracterização dos meio físico, considerando cada meio de interesse para a Avaliação de Risco.

Deverão ser apresentados e discutidos os dados e características sobre a hidrogeologia, hidrologia, geologia e climatologia da área, que possam eventualmente influenciar no comportamento das fontes de contaminação e dos compostos químicos de interesse no meio físico.

Neste item, o modelo conceitual preliminar da área deverá ser modificado e detalhado, caso necessário, considerando os aspectos associados aos meio de interesse para a avaliação de risco.

IV.3 – USO E OCUPAÇÃO

Deverão ser apresentados e discutidos os resultados relativos aos levantamentos de campo e escritório, conduzidos visando a qualificação dos aspectos relativos ao uso e ocupação do entorno da área de estudo.

Deverão ser apresentadas as variações quanto ao tipo, densidade e freqüência de ocupação, bem como destacados as particularidades que potencialmente possam influenciar no projeto de Avaliação de Risco.

Neste item deverão ser apresentados os pontos de exposição potenciais associados ao mapeamento do uso e ocupação.

Neste item, o modelo conceitual preliminar da área deverá ser modificado e detalhado, caso necessário, considerando o tipo de exposição e a locação dos pontos de exposição.

IV.4 – CONTAMINAÇÃO

Neste item, deverão ser apresentados e discutidos os resultados da investigação de campo conduzida visando a caracterização da contaminação nos meios de interesse para a Avaliação de Risco.

Deverão ser apresentadas as concentrações obtidas em laboratório para cada meio e composto químico de interesse, considerando o modelo conceitual de exposição.

Deverão ser apresentadas e discutidos os resultados e critérios para cubagem, detalhamento e delimitação dos compostos químicos de interesse nos diferentes compartimentos do meio físico.

Deverão ser apresentados os seguintes resultados:

- Cubagem e dimensionamento das fontes de contaminação;
- Dimensionamento da extensão da contaminação no solo e água subterrânea;
- Relação entre as fontes de contaminação primária e fontes de contaminação secundárias.

Deverão ser identificadas as concentrações dos compostos químicos de interesse em cada meio que sejam significativas para cada receptor dentro e fora da área de estudo.

Neste item, o modelo conceitual preliminar da área deverá ser modificado e detalhado, caso necessário, considerando a distribuição quantitativa dos contaminantes nos diferentes compartimentos do meio físico.

V – MODELO CONCEITUAL DE EXPOSIÇÃO

Deverá ser apresentado e discutido o modelo conceitual revisado considerando os levantamentos de campo e escritórios desenvolvidos visando a caracterização ambiental a ser utilizada como base para cálculo do risco à saúde humana e das metas de remediação.

VI – AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO

Neste item, deverão ser apresentados, discutidos e interpretados os resultados da quantificação da exposição para cada caminho de exposição identificado.

Deverão ser apresentados, discutidos e justificados tecnicamente todos os valores utilizados nos cálculos das concentrações nos pontos de exposição e das doses de ingresso.

VI.1 – QUANTIFICAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE EXPOSIÇÃO

Neste item deverão ser apresentados as equações e os parâmetros utilizados para o desenvolvimento do modelamento matemático de transporte e atenuação de contaminantes entre as fontes secundárias de contaminação e os pontos de exposição.

Deverão ser discutidas as limitações e simplificações adotadas na etapa de modelamento, bem como as incertezas associadas a esta etapa.

Deverão ser apresentadas as concentrações obtidas analiticamente e matematicamente para cada para cada ponto de exposição, bem como a justificativa técnica de cada concentração a ser adotada na etapa de Quantificação das Doses de Ingresso.

VI.2 – QUANTIFICAÇÃO DAS DOSES DE INGRESSO

Neste item, deverão ser apresentadas as equações e os parâmetros utilizados para quantificação das doses de ingresso nos pontos de exposição.

Deverão ser discutidas as limitações e simplificações adotadas na etapa de quantificação das doses de ingresso, bem como as incertezas associadas a esta etapa.

Deverão ser apresentadas os parâmetros de exposição utilizados, as fontes de dados e premissas assumidas.

Deverão ser apresentadas as doses de ingresso para cada ponto de exposição e composto químico de interesse, considerando o modelo conceitual previamente definido.

VII – ANÁLISE DE TOXICIDADE

Neste item deverão ser apresentados os dados toxicológicos a serem utilizados para quantificação do risco.

Deverá ser apresentada o perfil toxicológico de cada composto químico de interesse, por meio da compilação e interpretação das evidências de ocorrências de efeitos adversos à saúde humana para estes compostos.

Deverá ser apresentada a caracterização da natureza toxicológica e intensidade da evidência deste efeito para cada composto químico de interesse.

Deverão ser apresentadas as fontes bibliográficas dos dados toxicológicos escolhidos para quantificação do risco.

As informações toxicológicas e a caracterização da relação entre a dose do contaminante administrado ou recebido e a incidência do efeito adverso a saúde em eventos de exposição deverão ser discutidos e interpretados, considerando as particularidades do modelo conceitual desenvolvido para a área de estudo..

VIII – CARACTERIZAÇÃO DO RISCO

Deverão ser apresentados os critérios e equações utilizadas para o cálculo do risco carcinogênico e não carcinogênico, bem como as incertezas associadas a esta etapa.

Os riscos carcinogênico e não carcinogênico deverão ser discutidos separadamente, sendo que os resultados deverão ser apresentados na forma de tabelas de sumário de risco, que estabelecerão a relação entre cada cenário de exposição válido para o modelo conceitual da área e o risco calculado.

Os resultados deverão ser discutidos para cada cenário de exposição, considerando o risco para exposições isoladas e para múltiplas exposições, conforme apresentado na seção **‘5 Caracterização do Risco’**.

Em função do risco quantificado, deverão ser avaliados os cenários de exposição para os quais deverão ser desenvolvidas metas de remediação com base no risco.

IX – METAS DE REMEDIAÇÃO

Neste item, deverão ser apresentados os resultados dos cálculos das metas de remediação com base no risco.

Deverão ser apresentadas as equações e os parâmetros utilizados para o cálculos das metas de remediação, bem como as limitações e simplificações da metodologia utilizada.

As incertezas associadas ao cálculo das metas de remediação deverão ser discutidas e interpretadas para cada cenários de exposição e composto químico de interesse válidos no modelo conceitual desenvolvido para a área de estudo.

Deverá ser desenvolvida uma análise de sensibilidade, associada à variação espaço-temporal, dos parâmetros do meio físico utilizados para o cálculo. Desta forma, para cada variável associada aos meios de interesse, será estabelecida sua faixa de variação específica para a área de estudo e, a partir desta, a influência desta variação no valor final das metas de remediação.

As metas de remediação deverão ser avaliadas e validadas a partir da análise comparativa com padrões ambientais disponíveis na literatura. As metas de remediação também deverão ser validadas quanto a sua aplicabilidade durante o processo de remediação ambiental.

XI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Deverá ser descrita de forma sucinta as conclusões sobre o estudo desenvolvido, considerando os riscos carcinogênicos e não carcinogênicos quantificados, bem como as metas de remediação calculadas.

Deverá ser apresentada uma avaliação sucinta da aplicabilidade das metodologias utilizadas, considerando as particularidades da área de interesse.

9900 Bibliografia

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), *Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo*; CETESB;2001.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA). (1989). *Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume I, Human Health Evaluation Manual (Part A)*, Interim Final. EPA/ 540/1-89/003. Washington, D.C. December.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA). (1996). *Soil screening guidance: Technical background document*. Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA/540/R-95/128. Washington, D.C. May.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA). (1988) *Must for USTs – A summary of the new regulations for underground storage tank systems*. Washington. 38 p.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA). (1995) *Conducting risk-base corrective action for federally regulated ust petroleum releases*. Washington. 15 p.