

DERIVAÇÃO DE VALORES DE INTERVENÇÃO PARA CHUMBO, BENZENO E TETRACLOROETILENO, UTILIZANDO O MODELO DE AVALIAÇÃO DE RISCO C-SOIL, PARA CONTROLE DA CONTAMINAÇÃO DE SOLOS E ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DE SÃO PAULO.

Cláudio L. Dias¹, Mara M. G. Lemos¹, Andréa Capeleti² e
Dorothy C. P. Casarini¹

Resumo – O Setor de Qualidade de Solo e Águas Subterrâneas vem derivando, com base no modelo de avaliação de risco C-Soil, valores de intervenção para contaminantes no solo e água subterrânea, visando a proteção da qualidade e suporte às decisões no gerenciamento de áreas contaminadas. Os valores de intervenção são obtidos admitindo-se valores médios para as variáveis físicas e químicas do solo, das edificações, populacionais e toxicológicas do contaminante. Foi utilizado o critério de uso e ocupação do solo, sendo definidos 4 cenários: industrial, residencial, agrícola e área de proteção máxima. Neste trabalho é apresentada uma proposta de valores de intervenção para chumbo, benzeno e tetracloretoetileno para solo e água subterrânea nos 4 cenários.

Palavras-chave - C-Soil, avaliação de risco, valor de intervenção, chumbo, tetracloretoetileno e benzeno.

1 – INTRODUÇÃO

¹ Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB) – Setor de Qualidade de Solos e Águas Subterrâneas (EQSS) – Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 – CEP 05489-900 – São Paulo – SP – Fone: (011) 3030-6028 – Fax: (011) 3030-6067 – e-mail: dorothy@cetesb.br / claudiod@cetesb.br / maral@cetesb.br

² Mestranda da Faculdade de Saúde Pública da USP – Av. Dr. Arnaldo, 715 – CEP 01246-904 – São Paulo – SP – Fone: (011) 282-3842

No gerenciamento pela agência ambiental, de áreas contaminadas, faz-se necessária a definição de valores limites de concentração de contaminantes no solo e águas subterrâneas, denominados valores de intervenção, como um instrumento de suporte à decisão sobre a necessidade e urgência de uma possível intervenção no local (isolamento, contenção, remediação). Estes valores limites subsidiam assim, as ações de controle da contaminação.

O valor de intervenção indica o nível de contaminação acima do qual existe risco à saúde pública, requerendo uma intervenção na área.

Este trabalho apresenta uma metodologia de avaliação de risco à saúde pública baseada no modelo C-Soil, adaptado para as condições do Estado de São Paulo e sua aplicação para o estabelecimento de valores de intervenção para solos e águas subterrâneas no Estado.

Este modelo é aplicado a título ilustrativo na derivação de valores de intervenção para chumbo, benzeno e tetracloroetileno.

Os valores aqui apresentados deverão ser discutidos em comissão técnico-administrativa do Sistema de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, afim de se obter um consenso sobre sua aplicação, com viabilidade técnico-econômica e sustentabilidade.

2 – METODOLOGIA

A avaliação do risco de um contaminante envolve a comparação entre o nível de exposição máximo tolerável e a ingestão total estimada, ou seja, a soma das ingestões referentes a cada via de exposição. A premissa básica é que uma contaminação de solo ou água subterrânea não é aceitável se o risco para a saúde pública exceder o Risco Máximo Tolerável (RMT), o qual pode ser definido como a dose máxima de um contaminante ingerida pelo organismo exposto (no caso, o homem), sem que hajam efeitos adversos em períodos prolongados de exposição.

As diferentes metodologias para avaliação de risco disponíveis são similares no que diz respeito à necessidade de dados sobre a exposição da população afetada e sobre os efeitos do contaminante nesta população ou outros organismos indicadores.

Após revisão de literatura, apresentada no relatório “Estabelecimento de Padrões de Referência de Qualidade e Valores de Intervenção para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo” (CETESB, 1997), selecionou-se para o estabelecimento dos valores de intervenção no estado a Metodologia Holandesa, sendo adquirido o modelo matemático C-Soil.

Este modelo foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Saúde Pública e Meio Ambiente da Holanda (RIVM) e simula o risco que sofre uma população exposta a um dado contaminante, presente no solo e água subterrânea, por diversas vias de exposição humana.

Para compostos não carcinogênicos, o modelo C-Soil utiliza como risco máximo a ingestão diária tolerável (“torelable daily intake” - TDI). Esta é definida como a quantidade de um contaminante, expressa com base no peso corpóreo, a qual pode ser absorvida pelo homem durante toda a sua vida (expectativa de vida) sem antecipar efeitos negativos sobre sua saúde, de acordo com o conhecimento científico atual. Quando o TDI não é conhecido, o modelo utiliza a ingestão diária aceitável (“acceptable daily intake”- ADI) que foi determinada para substâncias presentes em aditivos alimentares, pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e a dose de referência (“reference dose” - RfD), utilizado pela EPA. A concentração tolerável no ar (“toxicologically tolerable concentration in air” – TCL) tem sido utilizada para algumas substâncias voláteis. O modelo também compara a concentração do contaminante estimada no ar de ambientes fechados sobre locais contaminados, com os limites para segurança ocupacional (MAC) (BERG, 1994).

Estes limites são determinados, em sua maioria, com base em estudos toxicológicos com animais de laboratórios. Na extrapolação para seres humanos utiliza-se fatores de segurança, dependendo das incertezas existentes nestes estudos.

Para compostos carcinogênicos, considerando ser impossível estabelecer uma dose ou concentração abaixo da qual não ocorra nenhum risco de efeito adverso à saúde pública, o modelo C-Soil utiliza um risco máximo tolerável calculado com base em um fator de declinação (slope factor), específico para cada contaminante. Admitiu-se um risco de 10^{-4} , ou seja, a possibilidade de ocorrer um caso adicional de tumor letal em cada 10.000 pessoas (SWARTJES e BERG, 1993), para uma exposição de longo termo, considerando-se a expectativa média de vida da população de 64 anos (FIBGE, 1992).

Para a simulação do risco e adequação do modelo às condições do Estado de São Paulo, foram estabelecidos quatro cenários de uso e ocupação do solo: Industrial, Residencial, Agrícola e Área de Proteção Máxima, os quais são diferenciados por variáveis relacionada à população e tempo de permanência na área contaminada, detalhados em CAPELETI **et al** (1998).

Para a derivação dos valores de intervenção apresentados neste trabalho, foi admitido um local hipotético, para o qual foram assumidos alguns parâmetros de caracterização, com base em dados de literatura e análises de solo realizadas pela

Cetesb. Nem todos os dados necessários são, entretanto, disponíveis, devendo muitas vezes serem estimados. O grau de realismo destas estimativas determina a confiabilidade no resultado final da avaliação.

Foram escolhidos três contaminantes para exemplificar a utilização do modelo. Deste modo serão apresentados os valores de intervenção em solos e águas subterrâneas para chumbo, tetracloroetileno e benzeno. O chumbo representa os metais, naturalmente presentes no solo, o tetracloroetileno e benzeno representam os compostos orgânicos, naturalmente ausentes, sendo o primeiro, do grupo dos organoclorados considerado não carcinogênico e o segundo, do grupo dos hidrocarbonetos considerado carcinogênico.

2.1 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA CONTAMINADA

Para a caracterização do local hipotético foram admitidos valores médios para as características físicas e químicas do solo e especificações construtivas das edificações.

As propriedades do solo que afetam a adsorção e movimentação dos contaminantes e conseqüentemente sua biodisponibilidade, importantes para o modelo são: granulometria, conteúdo de matéria orgânica, densidade, porosidade e temperatura.

Com base nos resultados de análises de solo, realizadas em 84 amostras de diferentes tipos de solos do Estado de São Paulo, pelo Setor de Qualidade de Solo e Águas Subterrâneas da Cetesb, adotou-se os valores médios 2 % de matéria orgânica e 40 % de argila.

A temperatura do solo admitida foi de 25°C ou seja 298K (EMBRAPA, 1985). A densidade aparente utilizada foi de 1,3 Kg/dm³ e a porosidade total 40 %, sendo 20 % o volume de ar e 20 % o volume preenchido por água.

Para a água subterrânea o modelo calcula o valor de intervenção usando a teoria do equilíbrio de partição solo água admitindo-se uma profundidade média do aquífero freático de 3 m.

Baseando-se na experiência da Cetesb, no controle das áreas contaminadas, e nas metodologias de monitoramento de plumas de contaminação, esta simulação foi efetuada admitindo-se uma contaminação pontual, em uma área de 10m x 10m até a profundidade de 1,5m, para o cálculo dos valores de intervenção para o solo e o nível do lençol freático a 3,0m de profundidade para o cálculo dos valores de intervenção para as águas subterrâneas.

Um contaminante presente no solo pode, se volátil, evaporar e atingir a população que está sobre o local contaminado e seus arredores. A caracterização do tipo de edificações existentes na área contaminada, deverá ser a mais representativa possível, estabelecendo as vias importantes de exposição. O modelo C-Soil utiliza os submodelos Jury e Hesp para cálculo da evaporação de contaminantes voláteis (BERG,1994 e JURY et al,1983).

Tendo em vista que as áreas contaminadas geralmente localizam-se na periferia das cidades, as edificações admitidas nos cenários residencial, agrícola e área de proteção máxima, são casas de população de baixa renda. O piso é de concreto, com uma espessura de 0,1 m, a altura do pé direito igual a 2 m e a área construída é de 50 m². A taxa de ventilação, isto é, a frequência na qual o volume total de ar (V) de dentro da construção é totalmente renovado, é de 1,25 V/h, tal como adotado do modelo. Os encanamentos de água para abastecimento são de plástico (PVC).

Para o cenário industrial, a construção avaliada é a indústria onde o piso é de concreto, com espessura de 0,1m, a altura do pé direito é de 2,5m e a área construída é de 200m². Os demais parâmetros foram mantidos como os admitidos para o cenário industrial.

2.2 – CARACTERIZAÇÃO DOS CONTAMINANTES

O primeiro passo de uma avaliação de risco utilizando modelagem matemática, é a definição da fonte de contaminação, a partir da qual a exposição pode ocorrer. Esta fonte se refere à concentração total do contaminante na fase sólida, na água intersticial ou no vapor do solo, bem como suas características físicas, químicas e toxicológicas.

O modelo C-Soil calcula a concentração (em Kg de matéria seca) em todas essas fases, pela lei de equilíbrio, usando o submodelo Mackay (BERG,1994), que requer informações sobre os contaminantes descritas a seguir:

- **peso molecular**, específico para cada contaminante;
- **solubilidade em água**, que influencia o potencial de distribuição do contaminante no solo e representa a máxima concentração de um composto dissolvido na água, a uma dada temperatura;

- **Coeficiente de partição do contaminante entre solo-água (Kd)**, quanto maior o Kd, maior a tendência do contaminante de se adsorver ao solo ou sedimento, sendo ajustado em função da fração de carbono orgânico (Foc) presente no solo pela fórmula $Kd = Koc \times Foc$;
- **coeficiente de partição do contaminante entre solo-água corrigido pela fração de matéria orgânica (Koc)**, quanto maior o Koc, maior a tendência do contaminante se adsorver ao solo ou sedimento, sendo a indicação do potencial de um contaminante orgânico de se acumular ou se adsorver à matéria orgânica presente no solo;
- **coeficiente de partição octanol-água (Kow)**, quanto maior o Kow, maior a tendência do contaminante de se fixar no octanol em lugar de permanecer na água, sendo o octanol usado como um substituto de lipídios (gordura);
- **pressão de vapor**, quanto maior a pressão de vapor, maior a tendência do contaminante estar no estado gasoso, sendo a pressão exercida pelo vapor de um contaminante em equilíbrio com sua fase sólida ou líquida a uma dada temperatura; utilizada para calcular a taxa de volatilização de uma substância pura ou estimar a Constante da Lei de Henry para compostos com baixa solubilidade em água;
- **coeficiente de difusão no ar**, que representa a taxa de distribuição de um contaminante no ar, como resultado da difusão molecular; e
- **fator de bioconcentração (BCF)**, quanto maior o BCF, espera-se maior acumulação em organismos vivos, sendo a medida da partição de um composto em equilíbrio entre o meio biológico (tecido vegetal por exemplo) e um meio externo como a água.

A Tabela 1 apresenta a caracterização química, física e toxicológica dos contaminantes a serem avaliados.

Tabela 1 – Caracterização física, química e toxicológica dos contaminantes.

PARÂMETROS	CONTAMINANTES		
	Chumbo	Tetracloroetile	Benzeno
Peso Molecular (g/mol)	207,2	165,8	78,1
Pressão de vapor (Pa)	N/D	1870	10100
Solubilidade em Água (mg/L)	N/D	150	1780
Log Kow	N/D	2,6	2,13
Log Koc	N/D	2,2	1,9
Coeficiente de Partição (m/d)	N/D	77×10^{-7}	$1,4 \times 10^{-}$
Coeficiente de Difusão no Ar (m ² /h)	N/D	0,0251	0,0295
Kd (L/Kg)	2400	N/D	N/D
Fator de Bioconcentração em	0,001	N/D	N/D
Fator de Bioconcentração em	0,03	N/D	N/D
TDI (mg/Kg/dia)	0,0036	0,016	0,0043
MAC (mg/m ³)	N/D	2400	30
TCL (µg/m ³)	N/D	2500	30

N/D: não disponível , ou seja, a informação não existe ou não é aplicável.

2.3 - VIAS DE EXPOSIÇÃO

O ser humano pode ser exposto a contaminantes por uma ou várias vias de exposição. Há então, a necessidade de quantificar essa exposição, tanto no que se refere à concentração do contaminante presente em cada uma das diversas vias, quanto à sua duração (tempo que o indivíduo está exposto ao contaminante). A importância relativa de cada uma das vias de exposição depende das características físicas, químicas e toxicológicas do contaminante, das propriedades do solo e do comportamento do contaminante no solo. As vias de exposição consideradas pelo modelo C-Soil são:

- **ingestão**, de água (IA), direta de solo (IS) e de tubérculos, folhas e frutos cultivados na área contaminada (ITF);
- **inalação**, de material particulado originado de um solo contaminado (IP) e de vapores (IV); e
- **contato dermal**, com o solo/poeira (CDS) e com a água durante banhos (CDA).

A quantificação total da exposição diária detalhada em RIVM (1994), é dada pela somatória das exposições (ED) em cada uma das vias, como descrito na equação,

$$ED = IS + IA + ITF + IP + IV + CDS + CDA$$

A exposição de longo termo (TE), ou seja, a exposição considerando o tempo total de permanência no local é dada pela equação,

$$TE = (Tc \times EDc + Ta \times EDa) / Tc + Ta$$

Tc = período de vida do indivíduo considerado como criança

EDc = Exposição diária para crianças

Ta = Tempo de permanência no cenário como adulto

EDa = Exposição diária para adultos

A **ingestão de água** inclui aquela tratada e distribuída à população através de tubulações bem como em certas localidades, o consumo de água subterrânea sem tratamento utilizando poços tipo cacimba, que extraem água do aquífero freático. No primeiro caso, compostos orgânicos voláteis podem contaminar a água pelo processo de permeação. Se essa contaminação ocorre, a exposição poderá ser pela inalação de vapores, contato dermal durante a higiene pessoal (banho) e pela ingestão de água. No segundo caso, o poluente pode atingir o homem principalmente por ingestão de água e contato dermal. O grau de exposição desta via depende do consumo diário e do grau de contaminação dessa água.

Outra via importante é a **ingestão de solo** (partículas), que ocorre principalmente quando se leva a mão à boca. O cálculo é feito, considerando exposição pelo tempo de vida, devendo ser determinada a média de ingestão por crianças e adultos. O modelo C-Soil considera que o contaminante é completamente adsorvido no trato gastrointestinal, o que significa que pode haver uma superestimativa para muitos poluentes.

Para a **ingestão de vegetais**, há duas importantes vias: absorção dos contaminantes presentes na solução do solo pelas raízes e a deposição de partículas de solo sobre as folhas. A absorção pelas raízes a partir da água intersticial (solução do solo) pode ser calculada por meio de coeficientes de distribuição entre a água e a planta

e expressa em fatores de bioacumulação (BCF's). É feita uma distinção entre as partes subterrâneas e aéreas das plantas. No caso dos metais, o modelo C-Soil distingue os valores BCF para folhas e tubérculos. Para outros contaminantes inorgânicos, é assumido que suas concentrações na solução do solo são iguais às encontradas no vegetal. Para compostos orgânicos, a concentração no vegetal é calculada por meio do Kow. A quantidade ingerida de contaminante é dependente da quantidade presente no vegetal e da quantidade diária de vegetal consumida pela população. Considera-se somente o vegetal produzido e consumido no local contaminado.

Pode ocorrer a **inalação de material particulado** presente nos aerossóis, principalmente daqueles menores de 10 µm. É assumido que 75% do total do número de partículas inaladas permanecem nos pulmões e que todo o contaminante presente nestas partículas é absorvido pelo organismo.

Na **inalação de vapor**, os contaminantes presentes no ar do interior, ou fora da construção, sobre o local (residência ou indústria) podem ser absorvidos pelo ser humano como resultado da evaporação. O vapor pode desprender diretamente do solo contaminado e a partir da água contaminada, durante o banho. Os períodos durante os quais crianças e adultos estão presentes dentro e fora da construção e seus volumes de respiração são levados em consideração nos cálculos de quantidade absorvida.

O **contato dermal** significa a absorção de contaminantes através da pele descoberta. Em locais abertos, a exposição pode ocorrer devido ao contato com o solo (atividades de jardinagem, por exemplo). Em ambiente fechado, apenas pode ocorrer exposição devido ao contato com poeira e água, que não contribui significativamente para a ingestão total. É assumido que as pessoas não estão expostas enquanto dormem. O modelo C-Soil não contempla exposições eventuais como trabalhadores instalando tubulações em áreas contaminadas, e sim procura avaliar as exposições diárias em um dado tempo de permanência sob estas condições.

2.4 - LIMITAÇÕES DO MODELO

Algumas vias de exposição não foram levadas em consideração pelo modelo C-Soil tal como, o consumo de peixes, carne, leite, ovos e águas superficiais. Entretanto, se em um local algumas dessas vias se mostrarem significativamente importantes, a quantidade do contaminante presente em cada via e absorvida pela população deve ser mensurada e somada ao total das outras vias.

O modelo C-Soil não considera a degradação do contaminante ao longo do tempo. O modelo distingue dois grupos de entidades expostas: crianças e adultos. Porém não faz distinção de sub-populações como por exemplo mulheres grávidas ou pessoas asmáticas. Este modelo não considera as fontes de contaminação originadas fora do local avaliado. Por exemplo, a ingestão de vegetais se refere àqueles cultivados e consumidos pela população afetada pela contaminação. O consumo de outros vegetais produzidos em áreas diferentes da do estudo não é levado em consideração. Isto ocorre porque é virtualmente impossível quantificar vias de exposição esporádicas.

Como todo modelo de avaliação de risco, o C-Soil não avalia o efeito de misturas, já que cada contaminante tem características físico-químicas e toxicológicas específicas. Pode-se estimar o risco de uma combinação de substâncias toxicologicamente semelhantes somando o risco individual de cada uma delas.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra os dados, tal como são apresentados no modelo, para o benzeno, que é cancerígeno, nas concentrações e cenários de interesse. A parte inicial (até a linha 17), é relativa às vias de exposição que estão agrupadas em ambientes interno e externo, sendo expressas em mg/Kg.dia (colunas D e G) e suas relações com a exposição total, expressas em porcentagem (colunas E e H), para adultos e crianças, respectivamente. A coluna C desta planilha, indica quais as vias que estão sendo consideradas no cálculo da exposição total.

A parte final destas tabelas (da linha 18 em diante), é relativa às exposições totais para adultos (célula D18) e crianças (célula G18), bem como a média ponderada entre ambos (“lifetime exposure”, célula D19). O valor da ingestão diária tolerável (TDI) é apresentado na célula D20, enquanto que o fator de inclinação (“slope factor”), quando disponível, é apresentado na célula D22. As células E18, E19 e H18, apresentam as relações diretas entre as exposições e o TDI (exposição/TDI). O risco de câncer, quando existir, é apresentado na célula D23.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	EXPOSURE AT THE SITE		3 mg Benzene /kg dm						
2	Soil use		industrial						
3									
4			ADULTS			CHILDREN			
5	OUTSIDE		[mg/kg.day]	[%]		[mg/kg.day]	[%]		
6	Soil ingestion	1	3,3E-07	0		2,3E-08	0		
7	Dermal application	1	4,4E-07	0		2,9E-09	0		
8	Inhalation of particles	1	4,5E-07	0		4,5E-11	0		
9	Inhalation vapours	1	1,3E-05	0		6,2E-07	0		
10	Ingestion of vegetables	1	1,2E-03	37		4,8E-03	96		
11	INSIDE								
12	Dermal application	1	2,1E-08	0		7,7E-10	0		
13	Inhalation of particles	1	9,1E-09	0		1,6E-10	0		
14	Inhalation of vapours	1	2,0E-03	61		3,5E-05	1		
15	Ingestion of ground water	0							
16	Ingestion of drinking water	1	4,2E-05	1		8,3E-05	2		
17	Showers and bathing from pipes	1	4,0E-05	1		1,0E-04	2		
18	Exposure		3,3E-03	0,76	[x TDI]	5,0E-03	1,16	[x TDI]	
19	Lifetime exposure		3,6E-03	0,84	[x TDI]				
20	TDI		4,3E-03						
21									
22	Oral slope factor		2,9E-02						
23	Cancer risk		1,0466E-04						
24									

Figura 1 - Planilha final do modelo C-Soil, mostrando as vias de exposição para o benzeno, no cenário industrial, as comparações com o TDI e o risco de câncer.

A Tabela 2 apresenta os valores de intervenção, calculados pelo modelo C-Soil, para chumbo, benzeno e tetracloroetileno em solos e em águas subterrâneas, nos quatro cenários estabelecidos.

Tabela 2 – Valores de Intervenção para Chumbo, Benzeno e Tetracloroetileno para solos e águas subterrâneas, por cenário.

CONTAMINANTE	SOLO (mg/Kg)				ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (µg/L)			
	APM	AGR.	RES.	IND.	APM	AGR.	RES.	IND.
Chumbo	125	160	485	1170	35	55	55	110
Benzeno	0,6	1,2	1,1	3,0	70	90	120	170
Tetracloroetileno	1,7	3,2	2,5	10,0	255	360	435	715

APM – Área de Proteção Máxima; AGR – Agrícola; RES – Residencial; IND - Industrial

Para o chumbo, como há efeitos agudos irreversíveis e por ser este contaminante bioacumulativo, considerou-se a criança como indicador de proteção, tendo como principais vias, a ingestão de solo, com 52% de participação, no cenário agrícola e 24% no residencial, e a ingestão de vegetais com 47% de participação no agrícola e 76% no residencial.

O benzeno, é considerado carcinogênico para o homem. Neste trabalho, considerou-se como indicador de proteção o risco de câncer. As principais vias de exposição foram inalação de vapores (90%) e ingestão de vegetais (10%).

Para o tetracloroetileno há insuficiência de informações conclusivas sobre seu efeito carcinogênico para o ser humano, e os efeitos agudos são reversíveis, quando cessada a fonte de contaminação (WHO, 1984). Neste trabalho, considerou-se como não carcinogênico e utilizou-se como indicador de proteção, a exposição total. As principais vias de exposição foram inalação de vapores (95%) e consumo de vegetais (5%).

Para todos os contaminantes, as vias de exposição inalação de partículas, inalação de vapores durante o banho e contato dermal, contribuem de forma não significativa, quando comparados ao total de exposição, que é determinado principalmente pelas vias ingestão de solo, inalação de vapores e consumo de vegetais para contaminações no solo e consumo de água subterrânea e ingestão de vegetais, para contaminações na

água. A via ingestão de vegetais pode estar sendo superestimada, por falta de estatística de consumo.

Para compostos voláteis, o cenário residencial pode ser mais restritivo que o cenário agrícola, considerando que no primeiro, ocorre uma maior exposição em ambientes internos (concentração do contaminante no ar x tempo de permanência) e, portanto, um maior risco de efeito adverso à saúde pública.

4 – CONCLUSÕES

Uma lista de valores de intervenção para solos e águas subterrâneas, derivados com base em avaliação de risco, apresenta-se como uma importante ferramenta para o suporte à decisão, no gerenciamento de áreas contaminadas, agilizando as ações de controle.

Para a avaliação de risco efetuada neste trabalho, utilizou-se valores médios para caracterizar a população exposta e a área contaminada, criando-se cenários hipotéticos de uso e ocupação do solo.

Não existe um procedimento único para a derivação dos valores de intervenção. Assim, é necessário considerar as características físicas, químicas e toxicológicas de cada contaminante, para determinar se o indicador de proteção será o a exposição total, a exposição infantil ou o risco de câncer. Para o chumbo, que é bioacumulativo e provoca efeitos agudos irreversíveis à saúde, considerou-se como alvo de proteção a criança. Para o benzeno, que é um composto carcinogênico, considerou-se o risco de câncer (10^{-4}), e para o tetracloroetileno, considerou-se a exposição total.

No solo, os valores de intervenção para o chumbo variaram de 125 a 1170 mg/Kg, para o benzeno de 0,6 a 3,0 mg/Kg e para o tetracloroetileno de 1,7 a 10 mg/Kg, enquanto que na água subterrânea, para chumbo, variaram de 35 a 110 µg/L, para o benzeno de 70 a 170 µg/L e para o tetracloroetileno, de 255 a 715 µg/L.

Os valores de concentração calculados em cada via de exposição e os valores de intervenção obtidos, deverão ser comparados a outras normas nacionais e internacionais, como por exemplo potabilidade, saúde ocupacional, concentrações máximas em alimentos, limites de detecção e padrões internacionais de intervenção, de modo a fornecer subsídios a um debate técnico-administrativo, objetivando o estabelecimento oficial dos valores de intervenção.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERG, R. van den. **Human exposure to soil contamination a qualitative and quantitative analyses towards proposals for humam toxicological intervention values**. Netherlands: RIVM, 1994. 93p. (Report n. 725201011)
- CETESB. **Estabelecimento de padrões de referência de qualidade e valores de intervenção para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo**: 1997. São Paulo: CETESB, 1997b. 110p.
- CAPELETI, A.R.; LEMOS, M.M.G.; DIAS, C.L., CASARINI, D.C.P. Quantificação das variáveis para cálculo da exposição populacional utilizando o modelo de avaliação de risco C-Soil para gerenciamento de qualidade de solos e águas subterrâneas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. 10, ABAS, São Paulo, SP, set. 1998.
- EMBRAPA. **Boletim agrometereológico**. Campo Grande, MS: CNPGC, 1985, 42p.
- FIBGE. **Anuário estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.
- JURY, W.A.; SPENCE, W.F.; FARMER, W.J. Behaviour assessment model for trace organics in soil: I. Model description. **J. Environ. Qual.** N.12, p558-564, 1983.
- SWARTJES, F.A.; BERG, R. van den. Remediation of contaminated soil and groundwater: proposols for criteria and priority setting. In: WORKSHOP ON CONTAMINATED SOIL, Department of Chemical Enginiering at the Royal Institute of Technology, Stocholm, Sweden, out. 1993.
- WHO. **Tetrachloroethyleno**. Geneve: WHO, 1984. 48p. (Environmental Health Criteria 31)