ESCOLA POLITÉCNICA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

MANOEL PAULO DE TOLEDO

PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA ESTABELECIMENTO DE USO
E OCUPAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS CONTAMINADAS

SÃO PAULO
2007

ESCOLA POLITÉCNICA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

MANOEL PAULO DE TOLEDO

PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA ESTABELECIMENTO DE USO
E OCUPAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS CONTAMINADAS

SÃO PAULO
Exemplar Original 2007
Exemplar Revisado 2007

FOLHA DE APROVAÇÃO

Manoel Paulo de Toledo
Avaliação da contaminação do solo como um
parâmetro para zoneamento territorial baseado
na análise de risco à saúde humana

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
como parte dos requisitos para o título de
Mestre em Engenharia.

Área de concentração:

Engenharia Hidráulica e Sanitária

Orientador: Prof. Dr. Pedro Alem Sobrinho

Aprovado em:

Banca examinadora

Prof. Dr.		
Instituição	Assinatura	
Prof. Dr.		
Instituição	Assinatura	
Prof. Dr.		
Instituição	Assinatura	

MANOEL PAULO DE TOLEDO

PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA ESTABELECIMENTO DE USO
E OCUPAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS CONTAMINADAS

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
como parte dos requisitos para o título de
Mestre em Engenharia.

Área de concentração:
Engenharia Hidráulica e Sanitária

Orientador: Prof. Dr.
Pedro Alem Sobrinho

SÃO PAULO
Exemplar Original 2007
Exemplar Revisado 2007

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 18 de maio de 2007

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

Toledo, Manoel Paulo de

Proposta de metodologia para estabelecimento de uso e ocupação do solo em áreas contaminadas / M.P. de Toledo. -- ed.rev. -- São Paulo, 2007. 222 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.

1.Zoneamento urbano 2.Planejamento territorial 3.Poluição do solo 4.Poluição de águas subterrâneas 5.Uso do solo 6.Legislação I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária II.t.

Dedico este trabalho a meus pais,
Quim e Elsa, pelo passado
e a meus filhos, Tatiana e Paulo, pelo futuro

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Pedro Alem Sobrinho, pela orientação e constante estímulo transmitidos durante todo o trabalho e todo o curso, também e mais que tudo, pelo exemplo de professor e ser humano.

À Professora Dra. Dione Mari Morita, exemplo de coragem, pelos ensinamentos, sugestões e ajuda.

Ao Dr. Rodrigo César de Araújo Cunha, pela ajuda, fornecimento de material, de conhecimento específico sobre o tema e pela revisão deste trabalho.

Aos professores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, que durante o curso cumpriram a árdua tarefa do ensino e transmitiram, além do conhecimento, o norte, o estímulo e o encorajamento.

A Vicente Aquino Neto, Pedro Penteado e Maria Leonora de Castro, pelo conhecimento sobre áreas contaminadas que me transmitiram. Aos amigos Alcides Diniz, Paulo Katayama, Carlos Hirakawa, pela preciosa ajuda. A Rosana Borges, pela cessão da dissertação, a Andreas Marker, pelas informações e material fornecidos, a Antonio Carlos Andrade, pelas informações sobre o RISC Workbench, a Cláudio Luiz Dias e Dorothy Casarini pelo fornecimento do modelo CSoil.

A Teresa Regina Fernandes, pela confiança, incentivo, auxílio nas pesquisas bibliográficas e ajuda constante.

A Moacir Ferreira da Silva pela amizade que não consigo retribuir e pela ajuda inestimável em todas as fases do trabalho.

A todos que estiveram presentes e que certamente de muitos me esqueci, a cada um agradeço.

À Cetesb, pelo apoio e pelo fornecimento de material e dados.

RESUMO

Ainda atualmente a preocupação com áreas contaminadas não atingiu o nível necessário que resultasse em efetiva proteção ao cidadão, a falta de legislação específica é um problema não solucionado. A estrutura atual dos dispositivos regulamentadores das atividades potencialmente poluidoras não está estabelecida de forma adequada. A par disso, não existe um levantamento completo do número de áreas contaminadas. Estas dificuldades redundam em risco para o investidor, que em função disso prefere ocupar uma área virgem, ao invés de arcar com a responsabilidade desconhecida de utilizar um local anteriormente ocupado por atividade potencialmente poluidora. Nesta dissertação apresentam-se uma metodologia para estabelecimento de possíveis uso e ocupação do solo em áreas contaminadas e alguns tópicos mínimos, para uma legislação moderna, de proteção à reutilização de áreas industriais, respeitadas as condições de segurança à saúde, tanto dos ocupantes da área, como dos que ao redor dela vivem ou trabalham. Para isto é proposta a utilização de análise de risco à saúde como um fator para balizamento da decisão de reocupação da área e ao tipo de uso a ser dado a ela. O modelo de análise de risco à saúde é indicado como a ferramenta para orientar quais as necessárias restrições a serem impostas à reutilização da área remediada. É apresentado um estudo de caso no qual foram estabelecidos os riscos de câncer de 10^{-6} e de 10^{-5} , os resultados são e comparados com os obtidos com o risco de 10^{-4} . O quociente de perigo, cujo limite foi considerado como unitário, foi igualmente calculado e analisado. Neste estudo de caso estabeleceram-se como cenários, o industrial, para adultos e o residencial para adultos e crianças. Ao final são apresentadas as conclusões e recomendações sobre tópicos importantes a acrescentar à legislação atual a fim de torná-la mais moderna e ambientalmente mais segura, ao mesmo tempo em que protege o investidor de riscos financeiros ao reutilizar áreas recuperadas, anteriormente degradadas ou contaminadas.

ABSTRACT

Even nowadays the concern about brownfield did not reach the necessary level to result in effective citizen protection; the lack of specific legislation is an unsolved problem. The present structure of the environmental regulatory acts for potentially harmful activities is not adequately established. Besides that the brownfield inventory is still incomplete. These difficulties result in risk for the investor who prefers in these circumstances to establish his industry in a green area instead of supporting the unknown burden of using a piece of land previously occupied by a potentially harmful activity. A methodology is presented in this dissertation for the establishment of the allowed use and occupation of a contaminated soil, also presented are some minimum topics to compose a more modern legislation to protect the investor when reutilizing brownfields, provided human health safety conditions are guaranteed for both the land user and the population living or working in the neighborhood. In order to meet these requirements it is being proposed that the human health risk analysis be a factor to be assessed to make the decision of reusing the land and for a specific type of use. The health risk analysis model is indicated as a tool to establish the necessary use restrictions to be imposed to the reutilization of the remediate area. A case study is presented in which the risks of 10^{-6} and 10^{-5} have been established, the results obtained were compared to those obtained by using the risk of 10^{-4} , after all the analysis of these values has been shown. The hazard index whose limit had been considered as the unit had been calculated and analyzed. The scenarios used in this case study were: industrial for adult receptors and residential for adults and children receptors. At the end both the conclusions and the recommendations about important topics to be added to current legislation in order to become a modern and environmentally safe legislation and at the same time to protect the investor from financial burdens when utilizing areas previously used and submitted to pollution or contamination are presented.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO.....	10
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1	ÁREAS CONTAMINADAS.....	11
3.2	LEGISLAÇÃO	17
3.3	MÉTODOS DE REMEDIAÇÃO.....	25
3.4	AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE	34
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	41
4.1	O ESTUDO DE CASO	41
4.1.1	Análises feitas na área	44
4.1.2	Métodos de análise utilizados	45
4.2	PADRÕES AMBIENTAIS UTILIZADOS.....	46
4.2.1	Água superficial.....	46
4.2.2	Água subterrânea	46
4.2.3	Solo	47
4.3	FORMAS DE AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE UTILIZADAS....	47
4.4	APLICAÇÃO DO PROCESSO RBCA.....	48
4.5	AVALIAÇÃO DE RISCOS À SAÚDE HUMANA.....	52
4.6	CARACTERIZAÇÃO DO RISCO À SAÚDE HUMANA	58
5	RESULTADOS	61
5.1	RESULTADOS DAS INVESTIGAÇÕES AMBIENTAIS REALIZADAS POR UMA EMPRESA DE CONSULTORIA.....	61
5.2	MÉTODOS DE REMEDIAÇÃO UTILIZADOS.....	112
5.3	RESUMO DAS CONCENTRAÇÕES MAIS PREOCUPANTES DO ESTUDO DE CASO	113
5.3.1	Efeitos dos contaminantes presentes sobre a saúde humana.....	119
5.3.1.1	Carcinogênicos	119
5.3.1.1.1	Benzeno.....	119
5.3.1.1.2	Benzo(a)pireno	119
5.3.1.1.3	Cloreto devinila	120

5.3.1.1.4	Cromo VI.....	121
5.3.1.1.5	PCB	121
5.3.1.2	Não carcinogênicos	122
5.3.1.2.1	Benzeno.....	122
5.3.1.2.2	Chumbo	122
5.3.1.2.3	Cromo VI.....	122
5.3.1.2.4	Estireno.....	123
5.3.1.2.5	Etilbeneno.....	123
5.3.1.2.6	Mercúrio.....	123
5.3.1.2.7	Metiletilcetona (MEK).....	124
5.3.1.2.8	Tolueno.....	124
5.3.1.2.9	Xilenos	125
5.3.1.2.10	Zinco	125
5.4	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO RCBA.....	125
5.5	RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO PROCESSO RISC WORKBENCH	129
5.5.1	Quocientes de perigo para o cenário industrial.....	130
5.5.2	Quocientes de perigo para adultos no cenário residencial	132
5.5.3	Quocientes de perigo para crianças no cenário residencial.....	135
5.6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO PROCESSO RISC WORKBENCH PARA O QUOCIENTE DE PERIGO – DOENÇAS QUE NÃO O CÂNCER	136
5.6.1	Cenário Industrial.....	137
5.6.1.1	Solo Superficial.....	137
5.6.1.2	Água Subterrânea.....	137
5.6.2	Cenário Residencial.....	138
5.6.2.1	Risco para Adultos.....	138
5.6.2.1.1	Solo Superficial.....	138
5.6.2.1.2	Água Subterrânea.....	139
5.6.2.2	Risco para Crianças	139
5.6.2.2.1	Solo Superficial.....	139
5.6.2.2.2	Água Subterrânea.....	140
5.7	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO PROGRAMA RISC WORKBENCH PARA O RISCO DE CÂNCER.	140

5.7.1	Cenário industrial.	140
5.7.1.1	Solo superficial	141
5.7.1.2	Água subterrânea	141
5.7.2	Cenário residencial	142
5.7.2.1	Risco para adultos	142
5.7.2.1.1	Solo superficial	143
5.7.2.1.2	Água subterrânea	143
5.7.2.2	Risco para crianças	144
5.7.2.2.1	Solo superficial	144
5.7.2.2.2	Água subterrânea	145
5.8	CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES	146
6	PROPOSTA DE MÉTODO PARA ESTABELECE	
	A LEGISLAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	147
7.	RECOMENDAÇÕES	149
8	CONCLUSÕES	151
	REFERÊNCIAS.	152
	GLOSSÁRIO, DEFINIÇÕES E EXPLICAÇÕES	152
	ANEXO A – Sumário dos coeficientes de perigo e dos riscos	
	carcinogênicos para os diversos receptores e cenários.....	162
	ANEXO B – Principais características de alguns métodos de remediação	173
	LISTA DE ILUSTRAÇÕES	
	LISTA DE TABELAS	
	LISTA DE SÍMBOLOS	

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição das áreas contaminadas de acordo com a origem da contaminação	13
Figura 2 – Planta de localização dos poços de monitoramento, das sondagens e dos antigos prédios.	62
Figura 3 – Planta de linhas piezométricas do lençol freático.....	63
Figura 4 – Planta com as concentrações acima do limite para o solo.....	115
Figura 5 – Planta com as concentrações acima do limite para a água superficial	117
Figura 6 – Planta com as concentrações acima do limite para água subterrânea	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição quantitativa das áreas contaminadas no Estado de São Paulo, maio de 2006	14
Tabela 2 - Tipos de abordagem da questão das áreas contaminadas.....	15
Tabela 3 - Benefícios obtidos do desenvolvimento sustentável relativo a locais contaminados/ <i>brownfields</i>	21
Tabela 4 - Parâmetros do solo, das construções, da superfície e subsuperfície para o ACBR TIER 1	50
Tabela 5 – Parâmetros de exposição para aplicação no ACBR.....	51
Tabela 6 - Variáveis do meio físico independentes dos cenários de exposição para o CSoil	64
Tabela 7 - Variáveis do meio físico dependentes dos cenários de exposição para o CSoil	64
Tabela 8 - Variáveis populacionais não dependentes de cenários de exposição para o CSoil	66
Tabela 9 - Concentrações de nitrogênio amoniacal acima do limite da Portaria CONAMA 518 mg/L.....	67
Tabela 10 - Resultados analíticos para a água superficial - lagoa de concreto .	68
Tabela 11 - Resultados analíticos para água superficial - lagoa de concreto	68
Tabela 12 - Resultados analíticos de metais para a água subterrânea (mg/L) ..	68
Tabela 13 - Resultados analíticos de metais para a água subterrânea (mg/L) ..	68
Tabela 14 - Resultados analíticos de metais para a água subterrânea (mg/L) ..	69
Tabela 15 - Resultados analíticos de metais para a água subterrânea (mg/L) ..	70
Tabela 16 - Resultados analíticos de metais para a água subterrânea (mg/L) ..	71
Tabela 17 - Resultados analíticos de VOC na água subterrânea (µg/L)	72
Tabela 18 - Resultados analíticos de VOC na água subterrânea (µg/L)	73
Tabela 19 - Resultados analíticos de VOC na água subterrânea (µg/L)	74
Tabela 20 - Resultados analíticos de VOC na água subterrânea (µg/L)	75
Tabela 21 - Resultados analíticos de VOC na água subterrânea (µg/L)	76
Tabela 22 - Resultados analíticos de VOC na água subterrânea (µg/L)	77
Tabela 23 - Resultados analíticos de PAH na água subterrânea (µg/L)	78
Tabela 24 - Resultados analíticos de PAH na água subterrânea (µg/L)	79
Tabela 25 - Resultados analíticos de PAH na água subterrânea (µg/L)	80

Tabela 26 - Resultados analíticos de PAH na água subterrânea (µg/L)	81
Tabela 27 - Resultados analíticos de PAH na água subterrânea (µg/L)	81
Tabela 28 - Resultados analíticos de PAH na água subterrânea (µg/L)	82
Tabela 29 - Resultados analíticos de PAH na água subterrânea (µg/L)	82
Tabela 30 - Resultados analíticos de PAH na água subterrânea (µg/L)	83
Tabela 31 - Resultados analíticos série nitrogenada na água subterrânea (mg/L).....	84
Tabela 32 - Resultados analíticos série nitrogenada na água subterrânea (mg/L).....	84
Tabela 33 - Resultados analíticos de PCB na água subterrânea (µg/L)	85
Tabela 34 - Série temporal VOC entre 2001 e 2004 - água subterrânea - (µg/L)	86
Tabela 35 - Resultados analíticos para metais, BTEX, estireno e PAH nas lagoas em 2001 (mg/kg).....	88
Tabela 36 - Resultados analíticos de metais e nitrogênio no solo em 2001 (mg/kg)	90
Tabela 37 - Resultados das análises de BTEX, estireno, PAH, PCB no solo em 2001 (mg/kg)	92
Tabela 38 - Resultados analíticos para metais em amostras coletadas em 2004 (mg/kg)	94
Tabela 39 - Resultados analíticos para metais em amostras coletadas em 2004 (mg/kg)	94
Tabela 40 - Resultados analíticos para metais em amostras coletadas em 2004 (mg/kg)	95
Tabela 41 - Resultados analíticos para metais em amostras coletadas em 2004 (mg/kg)	95
Tabela 42 - Resultados analíticos para metais em amostras coletadas em 2004 (mg/kg)	96
Tabela 43 - Resultados analíticos para metais em amostras coletadas em 2004 (mg/kg)	96
Tabela 44 - Resultados analíticos para metais em amostras coletadas em 2004 (mg/kg)	97
Tabela 45 - Resultados analíticos para metais em amostras coletadas em 2004 (mg/kg)	97
Tabela 46 - Resultados analíticos de VOC em amostras de solo coletadas em 2004 (mg/kg)	99
Tabela 47 - Resultados analíticos de PAH para solo (mg/kg)	101
Tabela 48 - Resultados analíticos de PAH para solo (mg/kg)	102

Tabela 49 - Resultados analíticos de PAH para solo (mg/kg).....	103
Tabela 50 - Resultados analíticos de PAH para solo (mg/kg).....	104
Tabela 51 - Resultados analíticos de PAH para solo (mg/kg).....	105
Tabela 52 - Resultados analíticos de PAH para solo (mg/kg).....	106
Tabela 53 - Resultados analíticos de PAH para solo (mg/kg).....	107
Tabela 54 - Resultados analíticos série nitrogenada para solo (mg/kg).....	109
Tabela 55 - Resultados analíticos série nitrogenada para solo (mg/kg).....	109
Tabela 56 - Resultados analíticos de PCB para solo (mg/kg).....	110
Tabela 57 - Resultados analíticos de BTEX e estireno para solo (µg/kg)	111
Tabela 58 - Resultados analíticos de BTEX e estireno para solo (µg/kg)	111
Tabela 59 – Concentração de substâncias no solo.....	114
Tabela 60 - Concentração de substâncias na água superficial.....	116
Tabela 61 - Concentração de substâncias na água subterrânea	116
Tabela 62 – Planilha de risco à saúde (Risco = 10E-6 e Perigo = 1).....	126
Tabela 63 - Planilha de risco à saúde (Risco = 10E-5 e Perigo = 1).....	127
Tabela 64 - Planilha de risco à saúde (Risco = 10E-4 e Perigo = 1).....	128
Tabela 65 - Resumo quantitativo dos quocientes de perigo para adultos no cenário industrial	130
Tabela 66 - Resumo quantitativo dos quocientes de perigo para adultos no cenário residencial	132
Tabela 67 - Resumo quantitativo dos quocientes de perigo para crianças no cenário residencial	134
Tabela 68 - Resumo dos riscos de câncer para trabalhadores no cenário industrial – solo superficial	141
Tabela 69 - Resumo dos riscos de câncer para trabalhadores no cenário industrial – água subterrânea.....	142
Tabela 70 - Resumo dos riscos de câncer para adultos no cenário residencial – solo superficial	143
Tabela 71 - Resumo dos riscos de câncer para adultos no cenário residencial – água superficial	144
Tabela 72 - Resumo dos riscos de câncer para crianças no cenário residencial – solo superficial	145
Tabela 73 - Resumo dos riscos de câncer para crianças no cenário residencial – água subterrânea	145

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Área Contaminada
ACBR	Ações Corretivas Baseadas em Risco
AR	Avaliação de Risco
AS	Área Suspeita de Contaminação
ASTM	American Society for Testing Material
BTXE	Benzeno, Tolueno, Xileno e Etilbenzeno
CERCLA	Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EPA	Environmental Protection Agency
GTZ	Deutsch Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit
HEAST	Health Effects Assessment Summary Tables
IRIS	Integrated Risk Information System
NICOLE	Network for Industrially Contaminated Land in Europe
NPL	National Priority List
RAGS	Risk Assessment Guidance for Superfund
RBCA	Risk Based Corrective Actions, o mesmo que ACBR
RfD	Dose de Referência
USEPA	United States Environmental Agency
VOC	Compostos Orgânicos Voláteis
WHO	World Health Organization

LISTA DE SÍMBOLOS

AT_N	Tempo de avaliação para efeitos não carcinogênicos, anos
BW_a	Massa corpórea adulto, kg
BW_c	Massa corpórea criança, kg
ED	Duração da exposição, anos
EF	Frequência da exposição, dias/ano
foc	Fração de carbono orgânico
IR_{soil}/IR_s	Taxa de ingestão diária de sol adulto, mg/dia
IR_{soil}/IR_s	Taxa de ingestão diária de solo criança, mg/dia
$IR_{air-indoor}/IR_{ar}$	Taxa de inalação diária de ar adulto, m^3/dia
$IR_{air-indoor}$	Taxa de inalação diária de ar criança em ambiente fechado, m^3/dia
$IR_{air-outdoor}$	Taxa de inalação diária de ar criança em ambiente aberto, m^3/dia
IR_w	Taxa de inalação diária de ar adulto, l/dia
IR_w	Taxa de inalação diária de ar criança, l/dia
M	Fator de aderência do solo na pele mg/cm^2
pH	pH
R	Constante dos gases
RAF_d	Fator de absorção dérmica relativa
RAF_o	Fator de absorção oral relativa
$RBSL_i$	Nível aceitável baseado no risco mg/kg solo, mg/L água ou $\mu g/m^3$ ar
RfD_i	Dose de referência crônica para inalação, mg/kg dia
RfD_o	Dose de referência crônica oral, mg/kg dia
SA	Área da superfície do corpo, cm^2
SF_i	Fator de carcinogenicidade para inalação $(mg/kg \text{ dia})^{-1}$
SF_o	Fator de carcinogenicidade oral, $(mg/kg \text{ dia})^{-1}$
THQ	Meta para o índice de periculosidade, adimensional

TR	Meta para o índice de carcinogenicidade, adimensional
VF _i	Fator de volatilização, (mg/m ³ ar)/(mg/kg solo) ou (mg/m ³ ar)/(mg/L água)

1 INTRODUÇÃO

A lei do Universo é a mudança. Ele está em constante transformação e não seria diferente na Terra. Estas modificações podem ser naturais, na busca do equilíbrio energético estável, ou antrópicas, causadas pelo Homem, normalmente como fruto do uso de novas tecnologias por ele descobertas e utilizadas quando ainda não conhecidas suficientemente suas conseqüências (Cetesb, 2006). Dentre as interferências do Homem no meio, a disposição de substâncias nocivas no solo com a conseqüente geração de áreas contaminadas é o foco desta dissertação de mestrado.

Ao longo dos anos, acumularam-se no mundo áreas degradadas por conta da atividade industrial. A Europa acumula cerca de 750000 locais contaminados, número apresentado por Sousa (2001) como informação originada pelo grupo de trabalho de áreas contaminadas da Europa. Segundo o mesmo autor, Alemanha, Holanda, Áustria, Suécia e Espanha somam 396900 áreas contaminadas, enquanto a Inglaterra conta com 50000 a 250000 hectares contaminados.

A Alemanha registra Martin et al. (1996), com base em dados de 2005 da Umwelt Bundes Amt (UBA) – Agência Ambiental Alemã, 362689 áreas abandonadas no país.

Os Estados Unidos, por terem desenvolvimento industrial muito grande, apresentam também grandes problemas, por exemplo, Love Canal, um canal construído para viabilizar uma usina de geração de energia que não chegou a ser implantada, foi aterrado com resíduos químicos diversos e sobre o terreno foram assentadas uma escola e uma comunidade e que foi classificado pelo Group Council on Environmental Quality (1995) como um dos piores casos de contaminação nos Estados Unidos, decorrentes, ainda segundo esta fonte, da ausência de legislação. Outros casos existiam, que elevavam o custo estimado da remediação a 40 bilhões de dólares em valores da época. Na Holanda, em Lekkerkirk (Sanchez, 2001), residências foram construídas sobre um depósito de resíduos diversos.

Em discurso na 1ª sessão do 107º Ano do Senado dos Estados Unidos foi apresentado o relatório que citava, de acordo com a Conferência dos Prefeitos dos Estados Unidos, o número de 450000 áreas contaminadas no país, mas que a verdadeira extensão do problema era desconhecida e que este dado não incluía os locais contemplados pelo Superfund National Priority List (NPL)¹, em número de 1500 (Senado americano 107º ano).

Segundo estudo da EPA, realizado em 2004, nos Estados Unidos, 77.000 áreas foram consideradas contaminadas e estima-se que este número será de 294.000 em 2033. O custo estimado para descontaminação de tais áreas varia de 170 a 250 bilhões de dólares. Dos doze poluentes mais freqüentemente detectados nas áreas contaminadas norte-americanas, mais da metade são metais, especialmente o arsênio, o cromo, o chumbo, o zinco, o níquel e o cádmio (USEPA, 2004)². Estes dados mostram as discrepâncias entre as informações existentes.

Sousa (2001) afirma que cerca de 25% das áreas urbanas em grandes centros do Canadá são potencialmente contaminadas devido a atividades anteriores.

Segundo a publicação do International Brownfield Experience (2002), The Nature of Possibility, a Europa conta com cerca de 750000 “sites” contaminados devido a atividades industriais ou militares, o que excede em muito o número correspondente dos Estados Unidos, da mesma época.

A Organização do Tratado do Atlântico Norte (Nato) publicou um relatório em 1998, última data em que divulgou dados sobre o assunto, em que os países membros em conjunto fizeram o levantamento dos problemas de poluição do solo e das águas subterrâneas (Nato, 1998). Constam desse relatório 18 países, com contaminação do solo e das águas subterrâneas, 15 com projetos em andamento à época, que compreendiam a remediação de locais contaminados por hidrocarbonetos e clorados, metais, produtos químicos de munição, cianetos, amônia, dentre outros. Embora a divulgação pela Nato tenha cessado em 1998, é de se notar que, àquela época, todos os países já contavam com legislação capaz de situá-los no contexto

¹ NPL – National Priority List é a lista de locais prioritários para remediação nos Estados Unidos.

² Comunicação pessoal com a Prof. Dra. Dione Mari Morita, que cita (USEPA, 2004)

de áreas contaminadas e permitir a cada um resolver seus problemas de acordo com seus próprios instrumentos legais.

A Suíça, por exemplo, só considera o risco de contaminação quando há reuso do solo para agricultura, não para usos industriais ou urbanos (Ekos, 2006). A Inglaterra conta com 86% de suas habitações construídas sobre *brownfields* (locais abandonados, desocupados ou subutilizados, onde a expansão ou redensificação é complicada por contaminação ambiental real ou percebida), (Petts, 2001). Sem dúvida, estas duas situações ou impõem um risco maior à população, pela utilização sem a devida precaução, o que é pouco provável, dado o grau de consciência da população, ou obriga a menor aproveitamento da propriedade, por limitar as atividades que podem ser exercidas no local, hipótese que além de mais plausível, é economicamente melhor.

Em determinados casos o passivo ambiental pode atingir níveis de contaminação que inviabilizam a recuperação do solo para o uso desejado, como no caso das instalações nucleares de Chernobyl, na Ucrânia, país que integrava a antiga União Soviética e que em 26 de abril de 1986 apresentou problema em um dos reatores, o de número 4, que sofreu superaquecimento e causou um grande vazamento de radiação (<http://www.epa.gov/radiation/rert/chernobyl.html>).

No entorno da usina existem áreas nas quais as atividades agrícolas tiveram que ser proibidas, devido à elevada contaminação com radionuclídeos. São previstas outras consequências em longo prazo, pela presença e infiltração profunda no solo de Cs-137 e Sr-90, que além do mais, poderão migrar do solo para a água subterrânea, com agravamento ainda maior do risco já imposto pelo acidente. (<http://radefx.bcm.tmc.edu/chernobyl/english/links.htm>).

Pode ser citado como exemplo o caso de um rio na China, o Second Songhua que foi utilizado para despejo de mercúrio e metilmercúrio de 1958 a 1982, que ainda hoje apresenta limitações na utilização da água e de peixes e necessitará de mais 40 a 50 anos para recuperar-se (Qichao et al., 2005). Este fato mostra a necessidade da avaliação dos locais para determinar seus possíveis usos e restrições e a necessidade de uma legislação que lhe dê provisão. Em casos como este, a avalia-

ção do risco à saúde humana será um bom indicador do tempo necessário para tornar possível alguma utilização do compartimento ambiental afetado, de qual poderá ser esse uso e quais restrições devam ser impostas à reutilização da área.

O Vigisolo, programa do Ministério da Saúde identificou qualitativamente entre 2001 e 2003, no Brasil, 15237 áreas contaminadas, com população próxima, das quais 703 com população exposta aos riscos, a maioria delas na região sudeste, onde se localizam 285 áreas e particularmente em São Paulo, o estado com o maior número, onde existem, segundo o Vigisolo, 157 delas³. É de se supor, no entanto que o conceito de área contaminada utilizado pelo Ministério da Saúde seja diferente do utilizado pelo Estado de São Paulo, pois os números apresentados para este estado são muito baixos quando comparados com os da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb).

O surgimento das áreas contaminadas, cuja existência no Estado de São Paulo foi estimada pela Cetesb, em maio de 2006, em 1664 áreas, se deveu em primeiro lugar à inexistência de legislação à época da instalação das atividades poluidoras e à recomendação internacional, concomitante, de se enterrarem os resíduos perigosos. Posteriormente, surgiram as primeiras recomendações técnicas e legais de se destruir os resíduos por meio de processos industriais. No caso específico de áreas rurais, a aplicação de defensivos agrícolas sem os devidos cuidados e em doses superiores às necessárias é igualmente causa de contaminação.

A contaminação de áreas industriais no Brasil, embora já houvesse começado desde o final do século XIX, teve seu início, de forma acelerada, nas décadas de 1940 e 1950 com a própria industrialização, que sempre privilegiou o crescimento e a produção, sem a preocupação com os danos ambientais ocasionados pelos processos produtivos. Este modo de pensar, voltado apenas para os resultados econômicos, encontrou apoio na falta de legislação específica que restringisse as consequências ambientais e que obrigasse à correção dos problemas originados pela produção de bens de consumo. (Pinto, 2005, Cetesb: GTZ, 2003).

³ Disponível em http://portal.saude.gov.br/portal/saude/visualizar_texto.cfm?idtxt=23900

Este quadro tão familiar não é diferente no restante do mundo, principalmente naqueles países que resolveram aderir ao modelo da industrialização para a solução de sua economia e crescimento. Nestas circunstâncias era natural que áreas que haviam servido a setores produtivos deixassem marcas ambientais profundas para as gerações futuras. Assim é que surgiram no Brasil, em particular no Estado de São Paulo, locais como Samaritá (Sanchez, 2001), com resíduos de organoclorados enterrados no solo em área hoje pertencente à Rhodia, ou como o caso das Indústrias Reunidas Francisco Matarazzo, em São Caetano do Sul (Cunha, 1997), ou o caso de Cubatão, com ocorrências similares, tanto de responsabilidade da Rhodia como de outras indústrias, químicas, petroquímicas, de fertilizantes e de petróleo, para citar apenas algumas, uma vez que com frequência a imprensa tem noticiado a descoberta de novas áreas contaminadas.

Recentemente, foi noticiada a descoberta de nova área contaminada, dentro da cidade de São Paulo, no bairro de Santo Amaro, na qual se descobriu a existência de contaminação do aquífero freático por diversas substâncias cancerígenas⁴. Mais recentemente ainda, em junho de 2006, surgiu a notícia de um condomínio em Bertioga, litoral paulista, onde foi registrada a contaminação do solo e da água subterrânea pelo vazamento de combustível de dois postos de gasolina.⁵

Grande parte dos locais contaminados formou-se há muito tempo, época em que a legislação preocupava-se apenas com a contaminação da água e com a do ar, que eram considerados os grandes problemas ambientais. Em função disso, legou às gerações seguintes a contaminação do solo, com graves consequências à saúde pública. A visão do controle da poluição naquele período era compartimentada, corrigia-se um problema em um dos compartimentos ambientais, mas causava-se outro em diferente compartimento com o qual ainda não havia preocupação. No controle e tratamento da poluição das águas, por exemplo, formavam-se substâncias que iriam poluir o solo; no controle da poluição do ar geravam-se resíduos sólidos, em geral lamas, que necessitavam de disposição adequada, mas foram depositados geralmente sobre o solo, sem preocupações ambientais maiores.

⁴ Publicada na *FolhaOnline*, *Cotidiano* 22/08/2006.

⁵ Publicação na *Folha de S. Paulo* à página www.folha.com.br, *Cotidiano* 22/06/2006.

É necessário observar que até 1960, época da criação da Comissão Intermunicipal de Controle da Poluição das Águas e do Ar (CICPAA), primeiro organismo a conseguir resultados de sucesso relativo no controle da poluição e que havia cedido a outros órgãos similares que tinham tido resultados menos positivos, não se contava com controle de poluição.

Feita esta observação, vale dizer que mesmo com a criação da CICPAA, os processos produtivos eram objeto de preocupações apenas quanto à poluição do ar e das águas, enquanto que os subprodutos deles originados eram simplesmente dispostos no meio ambiente como se a natureza pudesse absorver sem seqüelas a todos eles.

No Brasil e no Estado de São Paulo, a situação da legislação ainda tem praticamente o mesmo enfoque (Rocca, 2006). Enquanto no exterior, no início do desenvolvimento industrial, o conhecimento das conseqüências do progresso era adquirido pela prática, o que fazia com que os processos industriais caminhassem mais rápido que o conhecimento, ou pelo menos à sua frente, do que resultava sempre um passivo a corrigir, no Brasil, o maior empecilho não é a falta de conhecimento sobre as conseqüências dos processos industriais, que pode ser buscado na experiência do exterior, mas a ausência de legislação específica adequada, que obrigue investimento ambiental. Esta mesma carência já houvera sido percebida em outros países num determinado tempo, quando alguns deles, mais industrializados, se deram conta do resultado do crescimento sem balizamento ambiental, sem a visão global e integrada com o meio ambiente.

Depois da percepção desta necessidade do meio ambiente, começaram a surgir as primeiras leis verdadeiramente de proteção ambiental, um pouco diferentes daquelas do início do controle da poluição da água e do ar, que apresentavam apenas caráter corretivo e visavam diminuir a extensão dos problemas existentes. Teve início então a atual fase, na qual a legislação dos diversos países tem como objetivo não só a correção dos danos do passado, mas também a prevenção de danos futuros (Souza, 2001), o que significa que se assumiu a vertente preventiva, aspecto que deverá predominar, de agora em diante, em toda legislação elaborada nos países que passaram a se preocupar com o meio ambiente e não mais apenas daqueles que tiveram a primazia desta idéia e deram início ao controle das áreas contaminadas.

No Brasil e em especial no Estado de São Paulo, o estado mais industrializado da federação, a legislação apresenta lacunas com respeito à poluição do solo (Rocca 2006), notadamente em seu aspecto preventivo, que é praticamente inexistente.

No que concerne à parte corretiva, há no momento um esforço em curso, por parte da Cetesb, baseada na legislação de controle de poluição de 1976, a Lei 997, com o intuito de minimizar os danos herdados do passado, legados das indústrias, dos distribuidores de combustíveis, dos postos de combustíveis e dos retalhistas de derivados de petróleo. Este esforço, embora louvável, não é suficiente; há ainda que consolidar o ganho ambiental por ele produzido, com a criação de uma legislação abrangente, de orientação preventiva, que evite a perda da energia já despendida e do capital investido no atual programa de controle corretivo das contaminações do passado.

No entanto, sem o suporte das modificações na estrutura de gestão ambiental, a lei não será eficaz e de benefícios duradouros, há que se dotá-la de outros instrumentos gestores do solo e das águas, pois embora algumas atividades continuem hoje a ser exercidas nos mesmos locais de sempre, a grande preocupação, para a qual a legislação deve estar preparada, vem do fato de que as mudanças econômicas têm causado fortes pressões, que obrigam as empresas à mudança de local de instalação, quando não ao fechamento da indústria ou encerramento da atividade.

Dentro de algumas décadas, o processo de desativação de empreendimentos terá atingido proporções muito grandes, devido às profundas mudanças econômicas que ocorrem no mundo, no Brasil, e notadamente em São Paulo. A cessação de algumas atividades gerará áreas abandonadas, por vezes contaminadas, que necessitarão de cuidados especiais. Segundo Cunha (1997), provavelmente se constituam nas fontes de poluição mais críticas da Região Metropolitana de São Paulo, uma vez que sobre elas já não se exerce nenhuma forma de controle ambiental e as restrições à sua reutilização normalmente estão associadas ao cumprimento de leis de zoneamento urbano, as quais ainda não consideram as questões relativas à poluição ambiental.

Faz-se mister então garantir, desde já, que o crescente abandono de áreas industriais suspeitas de contaminação não afete a qualidade ambiental, o que pode ser conseguido com a formulação de políticas públicas que levem em conta esse fato.

Em alguns casos, o abandono de uma atividade deixa um passivo ambiental cuja descontaminação não pode ser obtida nos níveis que permitam o uso irrestrito do solo, seja pelo alto custo da remediação, seja pela dificuldade técnica de obter a qualidade necessária no solo, no subsolo ou na água subterrânea. Nestes casos, o uso futuro da área ficará limitado ao exercício de algumas atividades compatíveis com as limitações impostas pela contaminação existente.

Estas situações demonstram como as áreas recebidas como herança das gerações anteriores podem ocasionar graves problemas de saúde pública, pela ausência de cuidados com a poluição do solo no passado e por vezes até no presente. O caso do edifício Barão de Mauá em São Paulo (Noticias/003/10/29)⁶, construído sobre terreno contaminado e sem levantamento prévio do passivo ambiental, pode ser citado como outro exemplo. Além do risco à saúde, em abril de 2000 ocorreu ali uma explosão devida ao acúmulo de gases numa cisterna, que vitimou fatalmente um operário.

Existem inúmeros outros casos como este, que são pelo menos suspeitos de contaminação e que mereceriam investigação mais profunda. A simples existência de um registro de imóveis na Prefeitura local, sobre o histórico da área, permitiria a qualquer tempo uma investigação preliminar simplificada que poderia apontar a necessidade de se fazer investigação detalhada ou ser o indicativo de que naquela área não haveria risco à saúde causado por substâncias perigosas.

Embora a maioria dos municípios conte com um plano diretor, um plano de parcelamento e uso do solo e um código de obras, falta o entrosamento destas disposições importantes com outras de competência estadual, como a gestão sobre o uso do recurso água subterrânea, embora o município possa exercê-la sobre a qualidade desta. Esses instrumentos legais carecem ainda do viés ambiental.

⁶ Notícia na Cetesbnet disponível em www.cetesb.sp.gov.br/Noticias/003/10/29_barao_maua. Acesso em 22/08/2006.

A transferência do nível de decisão sobre a gestão de águas subterrâneas, de estadual para municipal, traria um grande benefício ao andamento do processo de gerenciamento de áreas contaminadas, se dotada dos necessários acertos quanto à competência sobre alguns aspectos legislativos.

Os diversos casos citados neste capítulo, associados à falta de legislação mencionada anteriormente, levam ao entendimento de que a ausência de legislação é um dos grandes responsáveis pelos problemas ambientais encontrados no solo, não só do Estado de São Paulo e do Brasil, como de resto, em todo o mundo. Dentre as lacunas encontradas na legislação ambiental, uma que tem grande influência na degradação do meio, em especial do solo, é a que diz respeito à reutilização de áreas degradadas ou abandonadas. Os investidores, por temor das consequências econômicas advindas da reutilização de áreas industriais, preferem investir em novas áreas e causar nestas, a degradação que toda atividade industrial normalmente causa, do que investir numa área anteriormente degradada e recuperada para novo uso. Nesta linha de pensamento, surge a idéia central desta dissertação, que é a de propor uma metodologia para estabelecer o uso e ocupação do solo em áreas anteriormente degradadas e/ou contaminadas.

2 OBJETIVO

Este trabalho teve como um dos objetivos propor, para o gerenciamento de áreas contaminadas, algumas medidas preventivas de ordem legislativa e orgânica, para minimizar os danos e riscos oferecidos aos bens a proteger, dos quais a ordenação territorial e o planejamento regional e urbano são parte, de acordo com a Lei 6938/81 regulamentada pelo Decreto 9927/90.

Foi outro objetivo desta dissertação, propor um método, com participação da sociedade, baseado em análise técnica, para estabelecer a legislação de uso e ocupação do solo.

Foi também objetivo deste trabalho, propor uma ferramenta adequada, para orientar a tomada de decisão quando do estabelecimento de nova legislação de uso do solo ou quando da modificação que porventura nela se faça, para, dentro do conhecimento mais atual, indicar a utilização mais segura para uma área anteriormente utilizada por indústria ou outra atividade poluidora (por exemplo: postos de combustíveis, bases de distribuição de derivados de petróleo, áreas que serviram de depósito ou despejo de resíduos etc.), avaliada em determinado tempo como *brownfield* (locais abandonados, desocupados ou subutilizados onde a expansão ou redensolvimento é complicada por contaminação ambiental real ou percebida).

O trabalho teve ainda como objetivo analisar a situação de uma área contaminada com diversos tipos de produtos químicos e alguns metais pesados, por meio de avaliação de risco para indicar possíveis usos futuros da área, compatíveis com o estado de contaminação remanescente. A análise de risco feita na área selecionada para estudo objetivou dar subsídios para formatar uma legislação que permita à Prefeitura Municipal elaborar projeto de lei ou modificação da existente, com vistas ao Uso e Ocupação do Solo para levar em conta o estado de contaminação do solo e suas possíveis restrições de utilização.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ÁREAS CONTAMINADAS

O processo de ocupação das áreas em geral tem sido desordenado, tanto pela diretriz econômica que norteia os empreendimentos industriais, como pela falta de orientação legal. Esta liberdade de ação criou graves problemas ambientais.

Philippi et al. (2002) analisaram os reflexos do uso e ocupação do solo da Região Metropolitana de São Paulo nos recursos hídricos e demonstraram que o processo de ocupação ocorre, via de regra, independentemente de preocupações com o meio ambiente. Esta conclusão aponta para as conseqüências que se observam nos terrenos abandonados após o encerramento de alguma atividade poluidora, cujo saldo negativo, além de difícil eliminação, é causador de custos elevados de recuperação a ponto de, por vezes, inviabilizar a reutilização da área da forma mais desejada. Os autores mostraram, ainda, que a qualidade que pode advir de uma gestão ambiental, decorre de políticas públicas adequadas, como a de recursos hídricos, de educação ambiental e de desenvolvimento urbano. A afirmação é tão importante que toda legislação que envolva áreas contaminadas ou em recuperação deveria contemplar as preocupações demonstradas por Philippi et al. (2002).

Segundo os autores, com a mudança de local de instalação, muitas indústrias, ao encerrarem suas atividades, deixam no local, um passivo ambiental desenvolvido durante o período que funcionaram. Este passivo é representado pelos danos causados ao meio ambiente, que precisam ser reparados, para poder reaver, tanto quanto possível, a antiga qualidade ambiental do lugar.

Entretanto, as dificuldades econômicas e técnicas para atendimento às metas de remediação, com o objetivo de reaver as condições originais da área, são muito grandes. A tecnologia existente pode não ser factível, ou ser de custo tão elevado que levará o mercado à busca de novos locais para se instalar. Em decorrência o

reúso do terreno, o grande benefício da recuperação, se perder pela elevação desmesurada do preço de aquisição de uma propriedade recuperada.

Gloeden (1999) apresenta argumentos que permitem conclusões discordantes, pois afirma que a maioria dos países abandonou a idéia da remediação segundo o princípio da “multifuncionalidade”, ou seja, restaurar as condições naturais a ponto de viabilizar todos os tipos de uso de uma área, para adotar o princípio da “aptidão para um determinado uso”, que é mais viável técnica e economicamente em países onde os recursos são escassos. O autor propôs a recuperação e uso do solo de acordo com uma nova aptidão ditada por alguma restrição de uso, o que também tem seu lado negativo, por permitir que os terrenos contaminados atualmente em uso sejam recuperados até limites considerados aceitáveis para o novo uso, o que em consequência, acarretará uma gradual deterioração ambiental, legalmente amparada.

Este aspecto negativo pode ser, no entanto, contrabalançado pelo fato de o sítio ser novamente ocupado de forma tecnicamente compatível, com riscos calculados à saúde, social, ambiental e economicamente aceitáveis. Assim as áreas ainda não degradadas podem permanecer como tal, sem virem a ter suas características alteradas pela ocupação desnecessária, derivada da hipotética falta de outros locais em condições de utilização.

Gutberlet (1996), baseada em vasta literatura (Moll, 1987; Heintzemberg, 1989; Itto, 1989), já em 1996, ao analisar o problema da poluição do ar, afirmava que mesmo em regiões distantes da ocupação industrial desordenada, como o Ártico e a Antártida, haviam sido identificados depósitos de aerossóis carregados de sulfatos, fuligem, vanádio e outros poluentes em geleiras recém formadas. A autora, por meio de um trabalho de biomonitoramento em Cubatão e região, concluiu que na Serra do Mar havia acúmulo de metais em amostras de musgo estrategicamente colocadas, comprovadamente depositado da contaminação do ar. Esta constatação demonstra que mesmo sem a disposição inadequada de resíduos no solo, há a contaminação deste e da vegetação por via indireta, que pode passar à cadeia biológica, até mesmo em locais sem atividade industrial.

Vainrub (2006) afirmou que ao redor de Chernobil, numa área de 130000 quilômetros quadrados, todos os 5 milhões de habitantes foram afetados; uma área de 6000 quilômetros quadrados tornou-se inutilizada e 500 cidades tiveram que ser evacuadas, em consequência da propagação e deposição da pluma contaminada pela radiação, concordante com conclusão anterior baseada em Gutberlet (1996), embora para outro tipo de contaminante.

Este fato evidencia a necessidade do ordenamento das atividades industriais e revela que as ações humanas são executadas sem prévio planejamento da abordagem ambiental, como afirmaram Philippi e al. (2002).

Assim como no Canadá, onde apenas Toronto conta com um banco de dados que sistematicamente reúne as informações sobre áreas contaminadas (Sanchez, 2001), o Estado de São Paulo é o único estado a reunir informações sobre o assunto. Atualmente, o Estado de São Paulo conta com 1664 áreas contaminadas, distribuídas conforme a figura 1:

Figura 1 - Distribuição das áreas contaminadas de acordo com a origem da contaminação.

Fonte: Cetesb (maio de 2006)

A tabela 1, a seguir, demonstra a distribuição das áreas contaminadas no Estado de São Paulo em maio de 2006:

Tabela 1 - Distribuição quantitativa das áreas contaminadas no Estado de São Paulo, maio de 2006

Região/Atividade	Comercial	Industrial	Resíduos	Postos de combustível	Acidentes desconhecidos	TOTAL
São Paulo	27	45	20	406	2	500
RMSP outros	14	73	11	253	4	355
Interior	48	89	23	409	12	581
Litoral	10	32	11	70	1	124
Vale do Paraíba	1	20	0	83	0	104
TOTAL	100	259	65	1221	19	1664

Fonte: Cetesb (maio 2006).

Segundo Sanchez (2001), ainda se buscam exemplos de abordagem proativa no tratamento da questão de contaminação do solo. O autor classifica a abordagem do problema em cinco grupos, dos quais, para efeito de gestão de áreas contaminadas, são citadas aqui, as quatro primeiras abordagens predominantes, uma vez que a última é justamente a proativa, que se aplica à fase anterior à ocorrência da contaminação do solo e por isso foge ao escopo desta análise. A tabela 2, a seguir, esclarece a idéia:

Tabela 2 - Tipos de abordagem da questão das áreas contaminadas

Abordagem dominante	Características	Exemplos
Negligência	Nada fazer até que o problema se manifeste, ou não seja descoberto.	Postura amplamente difundida
Reativa	Ação desarticulada e resposta caso a caso.	Love Canal (EUA), sítio Mercier (Quebec), Lekkerkirk (Holanda), Dortmund (Alemanha), áreas contaminadas da Rhodia na Baixada Santista.
Corretiva	Adoção de forma planejada e sistemática, de medidas visando remediar um problema, após identificação e diagnóstico. Estudo e eventual recuperação quando há mudança no uso do solo.	EUA (1), Holanda (2), Quebec (3), Reino Unido (4), Queensland (Austrália) (5), Victoria (Austrália) (6), Toronto (7), Flandres (Bélgica) (8), Pensilvânia (EUA) (9), Dinamarca (10), Alemanha (11), Áustria (12).
Preventiva	Planejar o fechamento de empreendimentos em atividade que possam causar contaminação do solo.	Planos de recuperação ambiental na mineração (vários países) providências legais na Holanda, Nova Jersey (13), França (14), Ontário (15), EUA (16).

Adaptado de Sanchez, 2001.

- (1) Superfund 1980, EUA.
- (2) Soil Clean-Up (Interim) Act 1982, Act for Soil Protection 1987, Soil Protection Act 1994, EUA.
- (3) Politique de Réhabilitation des Terrains Contaminés 1988, Politique de protection de sols et de réhabilitation des terrains contaminés 1988, Quebec, Canadá.
- (4) Environmental Protection Act 1990, Environment Act 1995, Reino Unido.
- (5) Contaminated Land Act 1991, Austrália.
- (6) Environmental Protection (Amendment) Act 1988, Austrália.
- (7) By-law no. 698-82, 1992, Canadá.
- (8) Decreto de 22 de fevereiro de 1995, Bélgica.
- (9) Land Recycling and Environmental Remediation Standards Act 1995, EUA.
- (10) Lei de Depósitos de Resíduos de 1983, Lei de Sítios Contaminados de 1990, Dinamarca.
- (11) Diversas leis estaduais e municipais e Lei Federal de Proteção do Solo de 1998, Alemanha.
- (12) Altlanstansanierungsgesetz (Lei de Saneamento de Terrenos Contaminados), 1989, Áustria.
- (13) Environmental Cleanup Responsibility Act 1983, Nova Jersey, EUA.
- (14) Lei n. 93-3 de 4 de Janeiro de 1993 e Decreto n. 94-484 de 9 de junho de 1994, França.
- (15) Environmental Protection Act, Ontário, Canadá.
- (16) Resource Conservation and Recovery Act 1976, EUA.

Segundo esta classificação, os casos de contaminação em Cubatão e no Estado de São Paulo estariam na fase reativa e corretiva.

Cumprir notar que não apenas a abordagem está em seu estágio inicial, como ainda pode ser classificada como precária do ponto de vista técnico de engenharia, por esta razão talvez devesse ser aplicada apenas a empreendimentos já existentes, enquanto que, para novas instalações deveria haver a obrigação do 'design' ambiental e a garantia de não utilização de compostos persistentes ou tóxicos. A análise do ciclo de vida ACV é um requisito necessário (Sanchez, 2001), que já tarda e deve ser aplicado conforme os procedimentos da ISO 14040, ISO 14041, ISO 14042 e ISO 14043, que consiste, no mínimo, em uma seleção de sistemas técnicos que produzam a melhor produtividade global. (Blanc et al., 2003).

Segundo Gloeden (1999), os procedimentos da metodologia de gerenciamento de áreas contaminadas poderiam ser utilizados na elaboração de uma futura lei de áreas contaminadas, no nível federal e também no estadual e municipal. Em sua tese, o autor descreve em detalhes a metodologia de gerenciamento de áreas contaminadas, mostra os procedimentos necessários para a execução de cada uma de suas etapas e permite divisar o que se pode esperar de uma remediação.

Ayres da Silva (2002) avaliou, para elaboração de sua dissertação, alguns imóveis no município de São Paulo, selecionados a partir de uma base cartográfica de 1980 da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano SA (Emplasa), que haviam sido utilizados industrialmente e tinham passado por alteração de uso e tornaram-se não industriais. A autora concluiu, após entrevista com os novos usuários, que não houve nenhuma preocupação com a contaminação do solo ou da água subterrânea, mesmo quando foram encontrados, durante as escavações para obras civis, indícios de provável contaminação, o que corrobora a afirmação de Philippi (2002). Continua Ayres da Silva; não há interesse na investigação da qualidade do solo e da água, além do usual para execução das fundações. Segundo a autora, do ponto de vista dos agentes envolvidos, somente a exigência de um órgão público justificaria a adoção de medidas investigativas, quando necessárias.

Domingos (1998) estudou as alterações na *Tibouchina pulchra Cogn.*, vegetação da floresta Atlântica, num trecho situado nas proximidades do Caminho do Mar e do Vale do Mogi, e concluiu que a mata ainda está submetida ao estresse causado pela poluição aérea, o que de certa forma avaliza a conclusão a que chegou Gutberlet

(1996). As alterações induzidas no solo pela poluição deverão continuar a causar efeitos residuais negativos sobre as plantas da floresta, especialmente no Vale do Mogi, mesmo que no futuro a emissão de poluente no ar tenha sido plenamente controlada. Esta conclusão permite afiançar que os efeitos da contaminação do solo são muito duradouros.

3.2 LEGISLAÇÃO

Alguns países já contam com um grande trabalho organizacional, de arcabouço legal e de lógica e política administrativas que auxiliam muito na solução dos problemas de uso do solo. Um exemplo disto é a Alemanha (USEPA Emscher Park Case Study), que conta com uma legislação elaborada nos níveis federal, estadual e distrital, segundo a qual os problemas de uso do solo podem ser resolvidos até no âmbito do município, com a participação dos munícipes. O princípio do “poluidor pagador” é utilizado na Alemanha e em alguns estados, existe a figura da descontaminação voluntária. (USEPA Emscher Park Case Study, s.d.)

A legislação alemã é bastante completa e funcional. Em Stuttgart, por exemplo,⁷ todos os lotes de terreno são registrados na prefeitura e as respectivas restrições à construção, se houverem, são anotadas em cada lote. Caso um proprietário, ao invés de remediar a área contaminada, optar por impermeabilizá-la para evitar o contato dérmico e a vaporização dos contaminantes do solo, constará no registro do lote a impossibilidade da utilização do subsolo para construção civil. Outra restrição local importante é a de preservação de 50% da área total do município como área verde, portanto há permissão para o uso urbano dos outros 50% apenas. Este fato contribui muito para a revitalização de áreas contaminadas, nas quais normalmente são feitas construções de alta tecnologia para as quais há demanda, que agregam grande valor e viabilizam a remediação, tanto pelo alto aluguel que nessas condições se consegue, como pelo grande valor agregado, que se traduz em alto lucro na

⁷ Comunicação pessoal com o Eng. Pedro Penteado, da Cetesb, em abril de 2006.

venda. Há que se lembrar que revitalização é um projeto econômico, no qual o meio ambiente é apenas uma das variáveis, portanto a legislação deve torná-lo forte.

No Brasil, não existe uma legislação específica regulamentadora de áreas contaminadas, conta, no entanto, com alguns instrumentos ambientais na Constituição Federal, no capítulo Meio Ambiente, em particular no Artigo 255 que assegura o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado a todos e atribui ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo. (Constituição Federal, 1988).

A Lei Federal 6938/81, regulamentada pelo Decreto 99274/90 define a Política Nacional de Meio Ambiente e estabelece a estrutura do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e incorpora instrumentos de gestão e controle do meio ambiente e principalmente atribui ao poluidor a obrigação de corrigir os danos causados e/ou indenizar pelos mesmos. Na prática, a responsabilidade não é tão clara, pela dificuldade de encontrar o autor da contaminação e por questões jurídicas o proprietário é o responsável pelo terreno, então sempre recai nele a obrigação da remediação.

A Lei 6766/79 define a competência dos Estados e Municípios com relação ao uso e parcelamento do solo

A Lei de Crimes Ambientais, Lei 9605 de 12 de fevereiro de 1998 define as sanções aplicáveis.

No âmbito do estado, a Constituição Estadual de 1989 também tem o mesmo enfoque da federal no que concerne a áreas contaminadas, não as trata especificamente, mas faz menção à necessidade de preservar o meio ambiente da contaminação e da degradação.

A Lei Estadual 997/76, regulamentada pelo Decreto Estadual 8468/776 trata dos aspectos de poluição, não conta com um capítulo específico para áreas contaminadas, mas dá abertura para uso no controle e correção dos problemas de poluição do solo. Este é o único instrumento estadual legal de gerenciamento de áreas contaminadas, que na verdade não conta com nenhum artigo específico para tal.

Há, no entanto uma abordagem preventiva, ainda incipiente, com a lei que exige um plano de desativação de empreendimentos, quando do ato de licenciamento ambiental da atividade – a Lei Estadual 9509 de 20 de março de 1997, regulamentada pelo Decreto 47400 de 4 de dezembro de 2002, que preceitua em seu artigo 5º, a comunicação do encerramento das atividades aos órgãos competentes do Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental (SEAQUA), acompanhada de um plano de desativação da atividade, que contenha as medidas de remediação necessárias.

A Lei 9509/97 define a política estadual de meio ambiente, estabelece responsabilidades e a necessidade de prevenir e recuperar a degradação.

Embora existam estas leis e outras de menor impacto, ainda assim a necessidade de legislação se faz presente, a lacuna deixa caminho para longas discussões e intermináveis remediações, com danos maiores ainda à população e ao meio ambiente. A atribuição do nível de decisão, que atualmente é estadual, à administração municipal deverá trazer um grande benefício ao andamento do processo de revitalização de áreas contaminadas, uma vez que o município já detém o poder constitucional sobre o uso e ocupação do solo e sobre o código de obras; detém de forma concorrente com o Estado, o poder sobre o meio ambiente. Para o domínio de todo o processo falta-lhe apenas a competência quanto à gestão sobre o uso do recurso água subterrânea. Em contrapartida, o Estado conta apenas com a competência legal sobre o meio ambiente e sobre a gestão da água subterrânea.

A cidade de São Paulo elaborou recentemente um plano diretor (Prefeitura de São Paulo, 2002) que apresenta preocupação com diversos aspectos, mas recebeu inúmeras críticas referentes primordialmente aos aspectos urbanísticos. Este plano diretor não apresenta diretrizes para recuperação de áreas contaminadas. Sugere-se que os novos planos diretores ou modificações dos existentes contemplem itens relativos à recuperação de áreas degradadas por contaminação e estabeleçam critérios e diretrizes para coibir a perda de qualidade ambiental por uso inadequado do solo. Saliente-se, no entanto, que o Decreto Municipal de nº 42319 de 21 de agosto de 2002 dispõe sobre diretrizes e procedimentos relativos ao gerenciamento de áreas contaminadas no Município de São Paulo.

Na cidade de Cubatão, onde está localizada a indústria A, selecionada para o estudo de caso apresentado nesta dissertação, existe o plano diretor do município (Lei Complementar 2512/98), que trata do uso do solo, do aproveitamento de terrenos subutilizados e bem menos da ocupação do solo, porém, não estabelece diretriz no que se refere à recuperação de áreas contaminadas, num município que tem a atividade industrial como principal, e que conta com inúmeros problemas de solo contaminado, devido aos tipos de empreendimentos que nele existem.

Neste local, o arcabouço legal relacionado ao uso e ocupação do solo é representado pelas leis municipais 2512/98, que institui o Plano Diretor do Município, complementada pela lei municipal 2513/98 que impõe normas sobre o parcelamento, uso e ocupação do solo do município de Cubatão e dá outras providências, mas que também não se refere a áreas contaminadas e pela lei 2514/98, correspondente ao código de obras, que trata de forma superficial do assunto, apenas de postos de gasolina e tão somente, com respeito a sua construção.

Sousa (2001) fez uma análise da situação do Canadá, no contexto internacional, na qual compara a política de remediação e redesenvolvimento de áreas contaminadas deste país com a dos Estados Unidos da América do Norte e com a da Europa. Nesta análise, o autor afirma que o interesse por parte dos incorporadores e das instituições de crédito no redesenvolvimento tende a ser mínimo, pois podem envolver custos de descontaminação que excedem o valor monetário da propriedade.

Esta afirmação é válida não apenas para o Canadá, mas também para outros países e estados, em especial, o de São Paulo, uma vez que toda remediação de áreas contaminadas é feita por imposição do órgão ambiental, com ônus econômico para o responsável pelo terreno. A descontaminação é um processo econômico ao fim do qual se espera que o local venha a ter um valor agregado que permita sua utilização com lucratividade. No IV Seminário Internacional sobre “sites” Contaminados (Ekos, 2004) chegou-se à conclusão que há necessidade da criação de cenários atraentes para o investimento do capital privado e de sua remuneração com a revitalização de áreas e que não se deve esperar pelos recursos do estado, cada vez mais escassos.

Sousa (2001) observa que o foco inicial das políticas de controle era a proteção à saúde e a diminuição do risco ambiental, mas que o direcionamento internacional hoje é para os objetivos ambientais, sociais e econômicos especificados como desenvolvimento sustentável. Com relação aos locais contaminados (*brownfields*), são os seguintes os benefícios obtidos (tabela 3).

Tabela 3 - Benefícios obtidos do desenvolvimento sustentável relativo a locais contaminados/*brownfields*

Benefícios ambientais	Redução da pressão para uso de áreas verdes
	Proteção à saúde pública e segurança
	Proteção das águas subterrâneas
	Proteção e reúso do recurso solo
	Restauração da paisagem outrora existente e estabelecimento de novas áreas com valor ecológico
Benefícios sociais	Renovação dos núcleos urbanos e melhoria de sua qualidade de vida
	Eliminação do estigma social negativo associado às comunidades afetadas, pela revitalização das áreas
	Redução do medo de prejuízo à saúde, de meio ambiente deteriorado e de diminuição do valor da propriedade nessas comunidades
Benefícios econômicos	Atração de investimento local e externo
	Restauração das bases de imposto do governo, especialmente no nível municipal
	Aumento da utilização e do reinvestimento em serviços municipais existentes
	Desenvolvimento da tecnologia de remediação/ descontaminação

Fonte: Sousa (2001)

Existem, segundo o autor, obstáculos de natureza político-estrutural que reduzem o ímpeto da recuperação, dos quais cinco são destacados: (1) variações no caráter e na aplicação da regulamentação; (2) falta de informação da localização e das condições dos sítios contaminados; (3) falta de critério de descontaminação prático e padronizado; (4) incertezas ligadas à responsabilidade sobre a remediação ambiental e (5) dotações, geralmente limitadas, para investigação, remediação e redesenvolvimento do local.

No que tange ao país todo, os obstáculos número 1 e 2 anteriormente citados – variações no caráter e na aplicação da regulamentação e falta de informação da localização e das condições dos sítios contaminados, reduzem o ímpeto da recuperação no país todo.

A falta de critério de descontaminação padronizado é, da mesma forma, um fato, talvez motivado pela tecnologia de remediação ser nova, talvez pelas dificuldades institucionais, econômicas e políticas que o problema encerra, talvez ainda pela dificuldade de identificação dos responsáveis, que é o que Sousa (2001) apresenta como obstáculo de número 4. E por último e até com mais importância, a falta de recursos financeiros é uma realidade, em alguns casos impeditiva.

Ainda por Sousa (2001), existem duas nuances a serem levadas em conta nas políticas ambientais, o estilo utilizado e o resultado obtido. O autor comenta que, em períodos de elevada preocupação ambiental, o país tende a agir mais no nível federal, enquanto nos demais períodos, tende a descer o nível de exercício do poder às províncias. O governo provincial, na competição por investimentos, tende a inclinar-se diante dos interesses da indústria e declinar de tornar os padrões ambientais mais restritivos e até mesmo a diminuir as exigências.

No Brasil, no Estado de São Paulo, a primeira lei a preocupar-se com a poluição do solo data de 1976, mas o assunto só viria a ganhar vulto, de acordo com constatação pessoal deste autor, nos últimos anos da década de 90.

No Brasil e no Estado de São Paulo particularmente, a responsabilidade é do proprietário da área contaminada (Lei 997/76) e ao estado cabe aprovar previamente os projetos, supervisionar as ações de controle e posteriormente aprovar as soluções adotadas. Não existe um fundo financeiro, como nos Estados Unidos da América do Norte, para auxiliar na correção dos problemas ambientais de deposição de resíduos no solo e de contaminação da água subterrânea. A criação de um fundo deste tipo facilitaria a solução dos problemas ambientais de contaminação do solo para as chamadas áreas órfãs ou abandonadas.

No Canadá, os critérios de descontaminação são estabelecidos pelas províncias e embora exista um critério federal, este pode ser aceito, modificado ou recusado por decisão da província (Sousa, 2001). No Brasil, o Estado de São Paulo estabelece seus critérios que, via de regra, servem de base para uma legislação federal.

Sousa (2001) suscita ainda uma importante questão que chama de “polluter pays” ou poluidor pagador. Segundo este conceito, o responsável pela poluição do local paga para tê-lo descontaminado.

No Canadá existe o Certificado de Conformidade, que é fornecido para os terrenos outrora contaminados que passaram pelo processo de descontaminação (Sousa, 2001). Esta ferramenta seria muito valiosa no Brasil. No país, existe um registro do bem imóvel, mas que não contém as informações necessárias à avaliação e responsabilidade legal, sobre a qualidade ambiental do terreno. O certificado de conformidade seria um dispositivo legal necessário para dar confiança ao mercado na utilização de terrenos descontaminados.

Em 12/06/2006, foi publicada no DOE, pelo Corregedor Geral da Justiça, a decisão de caráter normativo, da possibilidade de averbação no Estado de São Paulo na matrícula de imóveis, de termo ou declaração de área contaminada oficialmente emitido pela Cetesb. Faz-se necessário o estabelecimento de instrumento legal similar no nível federal, em que pese já ser de grande importância e relativa eficácia a solução apresentada, mesmo considerada sua forma apenas normativa.

Na Nova Zelândia, uma política de “polluter pays user pays” estabelece alternativas econômicas para o uso da terra ou conservação da terra, agrupadas em cinco categorias, divididas em dois grupos – os incentivos baseados em preço e os baseados em quantidade. Os baseados no preço do bem são: tributos ambientais; contratos compensatórios e aluguel do solo, os baseados em quantidade de recursos são: transferência de licença e compensações ambientais (MacDonald, 2004) Esta política poderia ser transformada em legislação, para introduzir a diferenciação de impostos entre aqueles que utilizam o terreno, com atividades geradoras de lucro e aqueles que o usam para moradia, sem finalidade lucrativa, ou seja, existiria um imposto, hoje conhecido como territorial e urbano e uma taxa para os que auferissem lucro das atividades produtivas industriais exercidas no terreno, em substituição ao imposto territorial e urbano.

No Brasil ainda não se aplicam alguns destes incentivos, como por exemplo, a cobrança pelo uso e conservação da terra e tributos ambientais. Há, no entanto, de

história mais recente, a cobrança de compensações ambientais, principalmente por meio de Termo de Ajustamento de Conduta (TAC), instrumento pelo qual a empresa poluidora se obriga a compensar monetariamente o Estado pelos danos ambientais causados, não se trata exatamente de um incentivo, mas de uma apenação, que em alguns casos substitui a multa não paga pelos danos produzidos, por um valor que às vezes é ainda maior, mas que conta com a vantagem de não caracterizar pública e legalmente o reconhecimento do erro ambiental cometido, que em alguns casos poderia ser enquadrado na lei de crimes ambientais (Lei Federal nº 9605/98). O valor do ressarcimento exigido por um TAC poderia ser inteiramente ou em parte destinado à formação de um fundo para combate aos danos de contaminações existentes em terrenos abandonados ou, alternativamente, poderia constituir uma dotação para pesquisas na área de remediação de solos e águas subterrâneas contaminados.

Uma legislação que englobasse alguns dos incentivos econômicos mencionados, com o objetivo de promover a reparação de danos ambientais existentes, especialmente no concernente à contaminação do solo e águas subterrâneas, em muito contribuiria para recuperar, ao menos em parte, a qualidade ambiental degradada pelo uso sem cuidados preventivos numa época em que o meio ambiente não representava preocupação e não havia legislação protetora apropriada.

O estado de Minnesota nos Estados Unidos já em 1998 estabeleceu um programa associado entre o Pollution Prevention – Prevenção à Poluição, conhecido como P2 e a recuperação de áreas contaminadas, com incentivos para a substituição de materiais tóxicos por outros de menor toxicidade, mudança de projeto, melhorias operacionais, reciclagem, reúso, aumento da eficiência no uso de energia e uso de fontes renováveis de energia entre outros aspectos (MPCA, 1998). Estes programas foram associados entre si, para que, após a remediação da área contaminada, a produção recomeçasse com novas diretrizes e evitasse futuros problemas de contaminação semelhantes aos que acabavam de ser corrigidos. O estado de Minnesota aproveitou-se da oportunidade e da necessidade de correção do passivo ambiental para impulsionar o desenvolvimento sustentável e a prevenção à poluição. Uma legislação moderna para remediação de áreas contaminadas deve prever o combate à poluição, à contaminação ambiental, bem como o eficiente uso de materiais e ener-

gia, características que um programa como o P2 oferece, razão pela qual deve-se considerar sua incorporação em diretrizes ambientais legais que futuramente venham a ser elaboradas.

3.3 MÉTODOS DE REMEDIAÇÃO

Ainda segundo (LaGrega et al., 2001), a técnica de remediação exige que a primeira medida corretiva a ser aplicada em uma área contaminada seja a de impedir que o poluente encontrado seja transportado e contamine outras áreas. De acordo com este autor, em alguns casos a simples retirada da fonte de poluição resolve o problema, em outros, no entanto há necessidade de medidas adicionais de controle e de remediação para minimizar a taxa de migração dos contaminantes, situação em que tecnologias de contenção que igualmente minimizem o risco à população e ao meio ambiente devem ser utilizadas.

As técnicas de remediação de locais contaminados dividem-se em processos físicos, químicos e biológicos (Cunha, 1997). Um processo físico é, por exemplo, a remoção do resíduo. Os processos químicos são tratamentos, tanto *in situ* quanto *ex situ*, nos quais por meio de reações químicas, os contaminantes são degradados a substâncias menos tóxicas, passíveis de disposição no meio ambiente, dentro das premissas de risco estabelecidas para a operação. Nos processos biológicos os microrganismos promovem a digestão dos produtos nocivos e liberam no meio ambiente compostos que oferecem riscos menores que os contaminantes inicialmente existentes. Trata-se de um processo normalmente mais longo que o químico ou o físico.

LaGrega et al. (2001) trazem um extensivo estudo de técnicas de remediação que se inicia pelas barreiras para impedir ou redirecionar o fluxo de águas subterrâneas por meio do uso de obstáculos físicos como barreiras permeáveis de lama de solo-bentonita, tido pelos autores como o método mais básico e provado dentre os existentes. Trata-se de construir uma barreira de solo-bentonita ao redor ou em alguns

casos à montante do local contaminado, para impedir ou minimizar o contato da água do aquífero freático com o material contaminado e a seguir aplicar um outro tratamento na porção de água já contaminada, que pode ser o bombeamento seguido de um método adequado para eliminação do poluente presente, conhecido como “*pump and treat*”: bombear e tratar, que é uma técnica ativa, associada neste caso à barreira, que é passiva.

“*Pump and treat*” é uma técnica utilizada, embora não mais em larga escala, para tratar o aquífero freático contaminado, cuja água é retirada, bombeada para uma estação de tratamento na superfície, onde é submetida aos necessários processos de transformação e tratamento, que poderiam ser, por exemplo, a vaporização dos compostos voláteis e adsorção em carvão ativado para posterior incineração. Os demais compostos presentes na água poderiam sofrer oxidação por reagente de Fenton ou permanganato de potássio.

Tiburtius et al. (2005) estudaram processos oxidativos avançados, em reatores de bancada, para degradação de BTXs e concluíram que o sistema foto-Fenton, tinha elevada eficiência, tanto para os substratos de partida como para os compostos intermediários fenólicos.

Pereira et al. (2005) pesquisaram o uso de Fe^0 em processos redutivos e chegaram a conclusão que esta técnica pode ser utilizada na remediação de solos e corpos d’água contaminados com metais pesados altamente oxidados, como por exemplo, para a redução do Cr^{6+} mais tóxico, normalmente solúvel nas condições em que se encontram as águas naturais, com alto potencial para contaminar grandes áreas e transformá-lo em Cr^{3+} que em geral se apresenta na forma de óxidos insolúveis, portanto menos tóxico. São pesquisas de laboratório, que apontam um resultado promissor.

No anexo B encontram-se citados alguns dos métodos de remediação mais comuns.

Casarini e Spilborghs (1995) afirmaram que 150 dos 1240 locais contaminados dos Estados Unidos eram tratados com biorremediação, Sillos, (2005), apresenta dados sobre o mesmo país, que demonstram a proporção de uso das diferentes tecnologi-

as, “pump and treat” figura em primeiro lugar com 41% de utilização, controle da fonte com 22%, atenuação natural monitorada (ANM) com 6%, “pump and treat” associado à biorremediação com 8%, sem decisão com 11% e outros com 12%. No Brasil, bombeamento aparece com 56%, biorremediação com 10% e outros com 34%. Alguns compostos são susceptíveis à biodegradação: creosoto, pentaclorofenol, solventes alogenados e pesticidas, (Casarini e Spilborghs, 1995), BTEX, Hexano, PCE, TCE, Nitroaromáticos (TNT, DNT), PAH’s, Metais, Percloratos, Álcoois, Fenóis, Dioxinas, Furanos, MTBE, Plastificantes. Para tanto há que se dispor de uma população indígena de microrganismos adequada, ou caso contrário deve se recorrer à bioestimulação ou à bioaugmentação. A bioestimulação é o processo de crescimento dos organismos indígenas por aplicação de nutrientes, de receptores de elétrons e correção do pH (Casarini e Spilborghs, 1995). A bioaugmentação é o aumento da população de microrganismos degradadores por introdução de população de alóctones (não indígenas).

Para as áreas onde a substância contaminante é volátil e está acima do aquífero freático, é possível tratar o solo com a tecnologia de extração com vapor. É uma opção remediadora utilizada para remover compostos orgânicos voláteis do solo na zona vadosa – região não saturada acima do nível de água do aquífero freático ou ainda de solo escavado empilhado. Este método consiste em fazer passar um fluxo de vapor através do solo contaminado e desta forma transferir o composto volátil deste para a corrente de ar. É necessário tratamento posterior do ar, em geral por carvão ativado e/ou pós queima. (LaGrega et al., 2001)

Uma solução que incorpora os tratamentos passivo e ativo é a parede reativa permeável, que combina o efeito do controle do fluxo de água subterrânea, com um certo grau de purificação da água contaminada. A barreira é colocada transversalmente ao fluxo contaminado, a água ao entrar em contato com ela tem os contaminantes presentes removidos por processo físico, químico, e/ou biológico que incluem fixação, degradação, oxidação/redução, sorção e precipitação, que dependem de diversos parâmetros e por isso exigem uma caracterização muito boa da área a ser tratada, associada a um cuidadoso projeto de remediação (LaGrega et al., 2001)

É proveitoso mostrar algumas incursões feitas no campo da melhoria da tecnologia, com experimentos que tentaram aumentar a eficiência ou eficácia de controle ou ainda apenas verificaram a influência de alguns fatores na remediação.

Nakagawa (2003) analisou, em laboratório, a influência da alteração de características do solo para remoção de hexaclorobenzeno de área contaminada, chegou à conclusão de que a mudança do pH, a adição de matéria orgânica e o alagamento da área contaminada, tanto individualmente, como em conjunto eram ineficientes na remoção de hexaclorobenzeno (HCB) do terreno. Utilizou para identificação dos compostos Carbono 14 que mostrou a formação de compostos voláteis e a ausência de lixiviação do HCB-14, o que além de indicar a presença de HCB no solo, capaz de conduzir à contaminação do ar, demonstra também a não contaminação da água subterrânea.

Santos et al. (1996), ao verificar a influência do etanol na biodegradação do benzeno, em aquíferos contaminados por derramamento de gasolina, chegou à conclusão qualitativa de que a presença do álcool era negativa para a biodegradação daquele composto, dado que os microrganismos digerem preferencialmente o álcool. O benzeno, após o consumo do etanol, mesmo sem a adição de nutrientes, era degradado biologicamente. Conclui-se disto que, um aquífero pode ter uma pluma de benzeno que caminha sem degradar-se até que todo o etanol presente seja consumido pelos microrganismos, ou seja, a presença do etanol aumenta o potencial de risco do benzeno.

Sarubi (1998) relata que a remediação de solos e águas freáticas pelo sistema de extração por alto vácuo de gás/vapor do solo e de águas subterrâneas (EAV), tem sido aplicada em diversos locais contaminados subsuperficialmente e tem provado ser mais efetiva na remoção dos ditos contaminantes em formações de baixa permeabilidade do que o bombeamento e tratamentos convencionais de águas subterrâneas. Este aumento de efetividade se deve ao incremento de fluxo de vapor do solo e águas subterrâneas de formação, gerado pelos gradientes de alto vácuo na superfície. As águas subterrâneas extraídas diminuem o nível do aquífero freático, o que aumenta o volume de formação disponível para remoção de contaminantes por extração de vapor.

Com respeito ao solo contaminado, existe ampla tecnologia disponível, embora ainda não se tenha esgotado o assunto e algumas técnicas não tenham sido usadas na prática, seja pelo seu caráter inovador, seja pelo custo elevado de implantação. No entanto, alguns caminhos são de prática comprovada. Apresentam-se a seguir alguns exemplos de ambos os casos.

O método mais simples, mais rápido e mais freqüentemente empregado é o da escavação e disposição final do material contaminado em outro local. O custo deste tipo de tratamento pode ser baixo quando as exigências ambientais do local de recebimento do material são pequenas, mas pode por outro lado ser alto quando as exigências do órgão ambiental são grandes. Um aspecto a se notar é que este não é verdadeiramente um tratamento, mas uma disposição em outro local, que pode não ser a solução ideal. Para um tratamento eficaz, há que se remediar o solo retirado por meio de alguma outra tecnologia como a térmica, a biológica e a físico-química.

Chun-Yang Yin et al. (2005) analisaram, na Malásia, país com temperaturas e umidade semelhantes às do Brasil, o efeito da estabilização química de solo contaminado com metais, Fe (42,194 mg/kg), Al (8874 mg/kg), Zn (690 mg/kg), Pb (428 mg/kg), Cu (107 mg/kg) e Cr (52 mg/kg), em terreno de “ferro-velho” pelo uso de cimento portland comum, sobre a lixiviação e concluíram que tanto para o material todo resultante, como para o material resultante moído, havia estabilidade química e o processo de estabilização mostrara-se eficaz na prevenção da lixiviação.

Outra forma de tratar o solo contaminado é pelo processo chamado de lavagem, que utiliza diversas operações unitárias simples para separar, concentrar e tratar contaminantes contidos no solo, cujo cerne é a lavagem, com água, solvente e agente extrativo. O princípio é o da separação da parte contaminada da porção não contaminada por meio de alguma propriedade inerente ao contaminante. Esta parte do processo reduz o volume a tratar. O restante do material contaminado é tratado por processo adequado. Esta metodologia é aplicável no tratamento de grandes quantidades de material e permite reutilização tanto do solo tratado quanto do separado na fase anterior ao tratamento (LaGrega et al. 2001).

Uma tecnologia bastante nova é a descontaminação do solo por eletrocinética (LaGrega et al., 2001). A eletroosmose é perfeitamente conhecida como um meio de controlar o movimento de águas subterrâneas. Nesta, o fluido contido nos poros move em resposta à aplicação de um potencial elétrico, constante, de baixa corrente contínua. Os constituintes químicos também se movem devido ao gradiente de concentração que se cria. A água e em consequência os constituintes químicos dissolvidos nela se movem em resposta aos gradientes hidráulicos. A eletrocinética é a técnica de conjugação dos gradientes hidráulico, químico e elétrico para influir na remoção de contaminantes. Esta técnica foi utilizada com sucesso para remoção de chumbo, em um estudo em laboratório. Em outro, verificou-se que o pH elevado, embora não tenha sido citado o valor, inibia a migração de contaminantes catiônicos como o Cádmio (Cd^+) enquanto permitia a migração de Cromo hexavalente. Em lama, todavia permitiu a migração de ambos (catiônicos e aniônicos), em sentidos opostos. Demonstra-se assim a necessidade de estudos cuidadosos específicos do local. Uma vez que os contaminantes encontrem-se concentrados por remediação eletrocinética, poderão ser recuperados, reciclados ou reutilizados.

Outra tecnologia promissora é a do tratamento do solo por dessorção térmica, método chamado ISTD. O solo é aquecido a 150 °C a 200 °C, bem abaixo das temperaturas usuais de incineração, insufla-se ar através do solo, como gás de arraste para os orgânicos dissolvidos, que em seguida são capturados e tratados, tipicamente por condensação. Nestas condições um sistema removeu os compostos orgânicos voláteis abaixo do limite de detecção (U.S.EPA, 1992 apud LaGrega et al., 2001). Obteve-se uma eficiência de remoção da ordem de 88% para o composto orgânico menos volátil.

Kunkel et al. (2006) utilizaram o ISTD, associado à aplicação de vácuo à temperatura de 600° C, para remoção de mercúrio elementar e obtiveram em laboratório, com uma coluna de areia, 99,8% de eficiência de remoção, com o que demonstraram a possibilidade de tratar mercúrio elementar a temperaturas bem abaixo da de vaporização.

Um tratamento ainda em fase de desenvolvimento é a remediação de NAPL melhorada por surfactante. Como já é conhecida, a efetividade do tratamento chamado de

bombear e tratar é afetada negativamente pela presença da fase líquida não aquosa (NAPL), que além disso é uma fonte de poluição em longo termo, uma vez que a fase não dissolvida particiona constantemente, até sua completa degradação. Uma forma de acelerar a remediação é aumentar a velocidade de particionamento do líquido não dissolvido para a fase aquosa. Alguns estudos apontaram que o uso de surfactantes não iônicos como o polietoxilato nonil fenol pode melhorar significativamente a recuperação de contaminantes NAPL, como demonstraram (Chevalier et al., (1997), apud LaGrega et al., (2001)). Os surfactantes também facilitam a remoção do NAPL por ar, todavia não facilitam a remoção dos níveis residuais. (Reddy,(1999), apud LaGrega et al., (2001)). Este é também o resultado da pesquisa financiada pelo Superfund GW-3, DNAPL Caracterização e Remediação, sob o número 3a do projeto H5 e NH2 do EPA (EPA, 2005).

“Air sparging” – aspersão de ar, é outra forma de tratar hidrocarbonetos, na qual se injeta ar no aquífero freático para volatilizar as substâncias contaminadoras e fornecer oxigênio para a biodegradação destes compostos. Contrariamente, a redução anaeróbia de compostos voláteis e metais é uma técnica que permite a remediação de áreas contaminadas por esses compostos por meio da adição de açúcares e enxofre, servindo como uma fonte suplementar de energia para processos microbiológicos na subsuperfície. Quando a área contaminada apresenta diversas fases livres é utilizada a extração multifásica que consiste na combinação de tecnologias de extração de vapores e água subterrânea para remover a fase líquida e gasosa do mesmo poço. Esta técnica cria uma nova zona vadosa pela formação de um cone de rebaixamento, expondo essa região ao processo de extração a vácuo.

A oxidação no local (“on-site”) consiste na injeção de solução oxidante (por exemplo, reagente de Fenton ou permanganato de potássio) que irá oxidar no local compostos orgânicos a seus componentes. (Huling and Pivetz, 2005)

Na Noruega, Rasmussen e Olsen (2002) utilizaram-se de sorção e remoção biológica para compostos orgânicos, nomeadamente creosoto, presente na água subterrânea, por um processo de filtragem em solo/areia plantado com *Dactylis glomerata*. Esta técnica é um substituto para a oxidação. A combinação dos processos de sorção e microbiológico levou à eficiente remoção de todos os compostos anali-

sados da água, onde, a sorção era importante para remover PAHs e NSO, compostos que contêm nitrogênio, enxofre e oxigênio na molécula e o processo biológico era dominante na remoção de fenóis. A eficiência de remoção foi sempre acima de 94 % para o fenol, composto mais resistente ao tratamento, após 47 dias e alcançou 98 % após 71 a 78 dias.

A Fitorremediação é uma técnica que atua por meio de sete mecanismos distintos, quais sejam: fitoextração, fitovolatilização, fitodegradação, rizodegradação, rizofiltração, fitoestabilização e controle hidráulico todos processos de aumento da biodegradação “on-site”, exceto o último, que representa o controle da migração do contaminante, pelo aumento da umidade no ambiente da planta, devido aos grandes volumes de transpiração, o que afeta o equilíbrio hidráulico e diminui a possibilidade de infiltração, com o que reduz a migração (Van Epps, 2005).

Pires et al. (2003), em revisão bibliográfica sobre fitorremediação, demonstram que existe potencial de tratamento por fitorremediação de águas e solos contaminados por herbicidas. Os estudos são na maioria dos Estados Unidos, citam estes autores que um dos raros trabalhos existentes no Brasil, é o de Scramin et al. (2001), que buscou identificar vegetais que resistissem a herbicidas para uso em área de cultivo de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, para um programa de fitorremediação. Conseguiram encontrar oito espécies de plantas daninhas persistentes, supostamente tolerantes aos herbicidas mais comumente utilizados nas áreas de cultivo de cana-de-açúcar, sendo elas: *Cynodon dactylon*, *Cyperus rotundus*, *Digitaria horizontalis*, *Commelina benghalensis*, *Brachiaria decumbens*, *Euphorbia heterophylla*, *Chamaesyce hirta* e *Chamaesyce hyssopifolia*.

Sun et al. (2005) estudaram o comportamento de quatro plantas na absorção de zinco, cádmio e chumbo em região de mineração na China e concluíram que a *Sambucus chinensis* Linn e a *Ixeris gracilis* conseguiam acumular em determinados tecidos o zinco existente no solo, portanto são consideradas adequadas à remediação do solo. Esta última apresentou também uma forte habilidade para absorver o cádmio, seguida pela *Sambucus chinensis*, cuja capacidade era menor. Ambas plantas apresentaram igual capacidade de absorção para o chumbo. Concluíram também que a absorção desses metais pelas plantas estava nesta ordem: zin-

co>chumbo>cádmio. Citam os autores que essas plantas podem ser usadas para remediação do solo, o que consolida a idéia de biorremediação.

Carrara et al., (2005) relataram a utilização em escala piloto, de microrganismos adaptados para degradar DEPH (ftalato de di-2-etilhexila) por meio do que obtiveram eficiências de biorremediação da ordem de 99,5%, em 49 dias, na remoção de 57,7 mg do composto por kg de solo, em “slurry phase” (lama), indicativo, segundo as autoras, de que o método pode ser adequado para poluentes perigosos pouco voláteis, com as qualidades adicionais de ser fácil de aplicar e de baixo custo.

Nesta mesma linha, (Andréa, s.d.) afirma que a grande diversidade de microrganismos no solo torna possível a biodegradação de pesticidas pela transformação metabólitos menos tóxicos que a substância original. Reconhece porém que há casos em que a biotransformação ou a transformação pode produzir compostos mais tóxicos ainda que os de origem.

Um campo novo, estudado na Coréia por Lee et al. (2006), é a purificação e remediação do solo contaminado por “electro flushing”, que consiste em colocar no solo contaminado, duas varetas metálicas, o anodo e o catodo de um sistema de corrente contínua e uma pilha de solo, chamado de solo de reação, próximo ao catodo para adsorver e retirar os tóxicos presentes no solo. Em seguida aplica-se a diferença de potencial que promoverá a movimentação dos contaminantes presentes no solo, do anodo para o catodo por eletrólise, eletrosmose e eletroforese. O passo seguinte é o fornecimento de água limpa e de uma solução química no anodo para movimentar a água subterrânea do solo contaminado para o catodo, por advecção e difusão pela pilha de reação para remover ou destoxificar a água e os contaminantes. Os detalhes de distância de alcance da remoção, vazão de água, temperatura, diferença de potencial, escolha de substância química e demais parâmetros não são informados na descrição da patente do processo.

Lu X, Yuan S (2006), no entanto, fornecem detalhes mais precisos a respeito de processo semelhante, também protegido por patente, no qual se utiliza um poço para os eletrodos, o anodo de grafite e o catodo de aço, o poço do anodo é recheado com carbonato de sódio, o catodo é cheio com água comum, aplica-se então uma dife-

rença de potencial de 0,2 a 10 V/cm para remediar a área, quando os poluentes são levados ao poço do catodo começam as reações eletroquímicas que degradam os contaminantes e promovem a redução da toxicidade, o efluente é em seguida encaminhado ao tratamento final.

3.4 AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE

A avaliação de risco à saúde humana baseia-se na aplicação de dados toxicológicos, obtidos por experimentos específicos de laboratório ou da observação na prática dos efeitos de uma composto químico de interesse, sobre a saúde humana. Da correlação dos dados toxicológicos com os efeitos observados, surgem por exemplo, as doses de referência para o composto químico de interesse. Da correlação entre a dose e a resposta, obtém-se a inclinação da reta de correlação, que corresponde ao fator de carcinogenicidade, para compostos causadores de câncer. O conhecimento do comportamento toxicológico de uma substância é o balizador da dose segura para os compostos não carcinogênicos, enquanto, que para os compostos carcinogênicos esse conhecimento é um poderoso auxiliar na determinação dos níveis aceitáveis de contaminação, baseados no risco, em outras palavras é de grande ajuda no estabelecimento do chamado risco aceitável.

Para o cálculo do risco à saúde, é necessário o conhecimento do comportamento do composto químico de interesse no meio em que se faz a avaliação do risco. O comportamento do composto no solo, determina como e quanto da substância irá, por exemplo, atingir o aquífero freático. Da mesma forma será um auxiliar na determinação de quanto da contaminação da água subterrânea, ou do solo, poderá vir a contaminar o ar interno ou externo em determinado cenário, por exemplo residencial ou industrial. Neste particular aspecto, as propriedades químicas e físico químicas do composto químico de interesse exercem um grande papel, por serem as que governam os fenômenos físicos ou químicos, que a substância de interesse sofre em seu caminhar pelos diferentes compartimentos ambientais. O conhecimento

desse comportamento é imprescindível para estabelecer as condições peculiares da avaliação de risco à saúde desse composto de interesse.

As interações do composto químico com o ambiente são particularmente importantes para a determinação tanto das doses disponíveis nos diversos compartimentos ambientais, como para o acompanhamento da vida do composto químico de interesse, em cada compartimento ambiental considerado na avaliação de risco à saúde humana. Estas interações do composto químico de interesse com o meio, são parte do conhecimento sobre o comportamento ambiental do contaminante, necessário ao desenvolvimento da avaliação de risco e à previsão das consequências da presença do composto no meio.

Da toxicologia, obtêm-se as doses de referência (RfD), para substância não cancerígena e os “Slope Factors” (SF) ou Fator de Carcinogenicidade, para composto cancerígeno, de acordo com estudos de toxicidade. O quociente entre cada um destes parâmetros e a dose absorvida determina se há perigo, no caso de composto não cancerígeno, ou se há risco à saúde maior do que o aceitável para os compostos cancerígenos. Caso o quociente de perigo, ou seja, o quociente entre a dose absorvida e RfD, seja maior que a unidade, há perigo e a contaminação produzirá a doença correspondente, caso contrário, não. Da mesma forma se o risco à saúde estabelecido como aceitável tenha sido 10^{-6} e o quociente da divisão da dose absorvida pelo SF for maior que este valor, há risco superior ao que se estipulou inicialmente como limite aceitável e alguma medida de controle ou remediação terá que ser tomada para reduzir os efeitos deletérios à saúde.

Por outro lado, o conhecimento das propriedades e do comportamento ambiental do contaminante, associados ao uso de modelos matemáticos, permite calcular as concentrações esperadas no meio em estudo, ou seja, a concentração encontrada na água subterrânea pode ser usada para calcular qual concentração será produzida, por exemplo no ar interior de uma residência construída sobre uma área contaminada.

A análise de risco inicia-se pelo estabelecimento de uma avaliação ecológica que, na Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6938/81), figura como risco aos bens a proteger, que são os seguintes:

- a saúde e o bem-estar da população;
- a fauna e a flora;
- a qualidade do solo, das águas e do ar;
- os interesses de proteção à natureza/paisagem;
- a ordenação territorial e planejamento regional e urbano;
- a segurança e ordem pública.

Nos Estados Unidos, esta parte do processo, quando requerida, é bem mais completa e conhecida como ERA – Ecological Risk Assessment ou avaliação do risco ecológico, que inclui como pontos receptores finais o ecológico propriamente dito e o humano e social.(EPA, 1999), (EPA 1997a).

A outra etapa da análise de risco envolve o mesmo tipo de cálculo, para a saúde humana. Nesta parte do processo, usam-se modelos como o RBCA – Risk Based Corrective Actions, ou seja, Ações Corretivas Baseadas em Risco, que traduzida e adaptada, recebeu em português o nome de ACBR. Feitos estes cálculos, obtém-se os níveis aceitáveis de contaminantes nos diversos compartimentos ambientais. Estes valores serão utilizados não só para saber se a área está contaminada como para, no caso de existir a contaminação, identificar as ações de remediação necessárias.

Para os propósitos desta dissertação, a avaliação do risco à saúde humana prossegue com uma nova etapa, depois de obtidos os números que definem a situação do local e feita a remediação que se julgou necessária, que são os cálculos do risco e o perigo resultantes da contaminação remanescente, para verificar se a remediação executada foi suficiente, ou se há necessidade da aplicação de medidas adicionais de controle.

Um método aceitável, pelo EPA e por grande parte dos organismos internacionais é aquele que utiliza o RBCA. Baseia-se resumidamente em um procedimento de 4 passos:

1. Identificação dos produtos químicos de interesse;
2. Avaliação da exposição;
3. Avaliação da toxicidade;
4. Caracterização do risco.

A metodologia para cálculo de risco envolve, portanto duas grandes etapas, uma de cálculo das concentrações que atingem o receptor e a outra de estimativa da probabilidade de que a concentração calculada cause algum dano à saúde do receptor. Para a primeira etapa, existem diferentes programas de computador que efetuam cálculos, baseados fundamentalmente em coeficientes de partição e equilíbrio de fases, para estimar a concentração que atinge o receptor. O princípio básico destes cálculos é o do equilíbrio entre as fases contidas em elementos contíguos do meio em questão, ou seja, quando da existência de uma substância no solo, os vazios existentes no solo, a porosidade, é preenchida por essa substância, com a obediência do equilíbrio entre as pressões que exerce no solo e nos interstícios. Neste particular aspecto os coeficientes de partição determinam como a substância irá se dividir entre elementos adjacentes, como solo e vazio, ou água e solo. Para a segunda etapa, a metodologia é praticamente a estabelecida pelo documento Risk Assessment Guidance for Superfund (EPA 1997a), que se difundiu e com modificações estabeleceu-se praticamente em toda parte, Estados Unidos, Europa, Oceania, Brasil e outros países.

O EPA na Califórnia utiliza para calcular os níveis de avaliação baseados em risco – NABR um substituto do RBCA, o CalTOX. Esta diferença, embora não seja no cálculo do risco em si, afeta os níveis de remediação e indiretamente ocasiona diversidade nos riscos. Shih-Hsien (2004) avaliou a influência das variáveis de cada um no resultado final e concluiu que no RBCA 44,5% da variância no coeficiente de difusão efetivo era devido à umidade. No CalTOX a taxa de inalação, que é usada para cálculo de risco carcinogênico tem grande influência, em contraste, porosidade do solo, conteúdo orgânico e altura da zona não saturada envolvidos no cálculo das equações de balanço de massa contribuíram em 15,5% apenas, do total da variância. O RBCA é influenciado pelo peso do corpo do receptor e pela taxa de inalação, enquanto o CalTOX sofre apenas o efeito da taxa de inalação. O importante, no entanto, é que o nível de redução requerido para um composto por ambos é diferente.

Por exemplo para o cloreto de vinila, o RBCA é mais restritivo, para o hexaclorobenzeno o CalTOX. A implicação é clara, uma vez que se tratam de dois produtos carcinogênicos.

Na Europa, Swartjes (2002) preparou, como responsável pelo grupo de trabalho sobre saúde humana do CLARINET – Contaminated Land Rehabilitation Network, um relatório comparativo entre sete modelos europeus de exposição humana: o CETOX-human, da Dinamarca, CLEA D.D., do Reino Unido, o LUR do país Basco, Espanha, o ROME 01, da Itália, o Vlier-Humaan, de Flandres, Bélgica, um modelo não nominado da França e outro também não nominado da Suécia.

O CETOX-human aplica-se ao gerenciamento dos riscos de solos poluídos e está bastante relacionado ao poluente específico, ao uso do mesmo e fornece diretrizes sobre como minimizar a exposição a este meio. Considera apenas o solo nos compartimentos ambientais; das vias de exposição, a inalação, contato dérmico e ingestão de solo e hortaliças.

O CLEA D.D. direciona-se mais à derivação de valores de referência para o solo. Dos compartimentos ambientais, usa o solo e a região do solo não saturada por água, não considera o consumo de leite, peixe e água e desconsidera a inalação de vapores oriundos da água subterrânea.

O CSoil 8.0 objetiva a derivação de padrões de qualidade para decisão sobre remediação, objetivos e determinação da urgência. Leva em conta apenas o solo e a região do solo não saturada por água. Considera o consumo de hortaliças e de água, a inalação em todos os aspectos, exceto a de vapores provenientes da água subterrânea.

O LUR, dentro da Política de Solo Contaminado do País Basco, deriva padrões de qualidade do solo e avalia o risco específico do local contaminado. Considera apenas o solo e não os demais compartimentos ambientais, leva em conta apenas o consumo de hortaliças e a contaminação direta por partículas, inalação e por contato dérmico.

O ROME 01 deriva valores genéricos classificatórios (screening) e determina objetivos específicos de remediação para o local contaminado. É bastante completo. Dos compartimentos ambientais, só não considera a água superficial. Das vias de exposição, leva em conta apenas a contaminação direta, não considera a alimentação em nenhuma das formas

O Vlier-Humaan calcula padrões de qualidade do solo para decisão quanto à remediação. Discrimina objetivos de remediação, de acordo com a legislação flamenga e o risco específico do local contaminado. É o mais completo, trabalha com o solo, água na zona saturada e ar. Das vias de exposição, só não considera: a ingestão de partículas nas hortaliças, o consumo de peixe e a inalação de vapores da água do subsolo.

O modelo francês calcula valores padrão de alerta, igualmente avalia o risco específico local e ajuda a identificar soluções de remediação. É razoavelmente completo, considera o solo, a água na região saturada e o ar, não considera o consumo de leite, peixe e água subterrânea, que é muito importante de acordo com o estudo de caso desta dissertação. Também não leva em conta a inalação de vapores provenientes da água.

O modelo sueco fornece valores guia específicos do local. É o segundo mais completo. Dos compartimentos ambientais, somente não considera o ar. Já nas vias de exposição é menos completo que o modelo belga.

Em cada caso de avaliação de risco à saúde humana, alguns cenários, apropriados ao local, precisam ser estabelecidos. Cunha (1997) analisou o caso de um terreno contaminado por indústria desativada em São Caetano do Sul, por meio de avaliação de risco à saúde humana, para três cenários: residencial, comercial/industrial e recreacional. O autor concluiu que os procedimentos investigatórios foram satisfatórios e tornou possível o reconhecimento das características da atividade desenvolvida no local, bem como a identificação do comprometimento da qualidade ambiental causado pela atividade ali exercida.

O resultado da aplicação da metodologia na avaliação da área do antigo complexo industrial permitiu concluir que a área encontrava-se contaminada em elevados níveis no solo e em menor dimensão na atmosfera. A metodologia de avaliação de risco mostrou-se oportuna, por embasar as decisões quanto à necessidade de remediação na existência de um risco real à saúde, considerando as condições específicas do local investigado. (Cunha, 1997)

A avaliação de risco à saúde e a de risco ambiental são processos diferentes que se interligam e compartilham algumas necessidades comuns de informações, tais como concentrações de poluentes no meio, métodos de amostragem e análise, conhecimento das características do meio ambiente local, dentre outras. Por esta razão a agência norte americana de meio ambiente Environmental Protection Agency (EPA), ao dar cumprimento ao que exigia o Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (CERCLA) publicou um conjunto de manuais, que servem de suporte à avaliação completa dos riscos citados.

Estes manuais correspondem à base teórica do cálculo do risco devido à existência de substâncias tóxicas no meio ambiente. Neles, a EPA descreve minuciosamente o processo de avaliação do risco, desde a coleta de dados até a elaboração do relatório final, com bastante detalhe especialmente na parte relativa ao cálculo da estimativa da dose da substância de interesse, absorvida pelas pessoas em exposição. O processo é aceito pelo organismo de controle do Estado de São Paulo e por diversos países do mundo e será tratado mais adiante.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho aqui apresentado iniciou-se pela escolha de uma área para estudo de caso. Os critérios para a escolha foram: a localização, em Cubatão, na zona industrial, que fosse representativa das condições normalmente encontradas em áreas contaminadas, para que os resultados pudessem ser replicados ao todo, que já estivesse em processo de remediação e dispusesse de dados suficientes para possibilitar as conclusões necessárias. A seguir os dados disponíveis até o momento da escolha, foram reunidos para a execução desta dissertação, feita portanto, com dados parciais, uma vez que a tarefa de investigação e remediação do solo, toda ela realizada por uma firma de consultoria, trabalho este que prossegue, até esta data, com novos levantamentos de dados e com a tomada de outras medidas técnicas e de remediação do terreno. Obtidos os dados, o próximo passo foi calcular as concentrações máximas permitidas no solo e na água subterrânea para determinar os limites de acordo com o risco pré-estabelecido.

Em seguida, as concentrações máximas encontradas no solo após a remediação foram comparadas com limites calculados, para verificar a adequação da remediação executada, pela aplicação do RISC Workbench, também chamado de RISC 4, para obter os riscos associados às concentrações mais preocupantes encontradas. Isto feito, foi proposto um método para estabelecer a legislação de uso e ocupação do solo. Posteriormente foram discutidos os resultados e apresentadas as recomendações e as conclusões, baseadas no método proposto.

4.1 O ESTUDO DE CASO

Para o estudo de caso foi escolhida uma área de propriedade da empresa A, contaminada com metais e diversos compostos orgânicos, que à época da escolha encontrava-se em fase adiantada de remediação e já havia feito o levantamento de grande quantidade de dados.

Na metodologia foi tomado um caso representativo que pudesse ser replicado para toda a região, deste modo pudesse gerar o mapa dos possíveis usos para o solo local e propiciasse uma ferramenta útil na proposição de legislação de uso e ocupação do solo.

Os trabalhos de investigação ambiental foram realizados por uma empresa de consultoria e os resultados obtidos nesta investigação foram utilizados para a avaliação de riscos à saúde humana e para recuperação do local.

A empresa A, localizada no município de Cubatão, São Paulo, Brasil, a cerca de 100 quilômetros da Capital, de acordo com os documentos da Cetesb (Cetesb, 2001a),

“nos contrafortes da Serra do Mar, num contexto geológico-estrutural de alta complexidade constituinte do Complexo Costeiro do Estado de São Paulo, com predomínio de rochas pré-cambrianas e de sedimentos da Planície Costeira. As rochas deste Complexo são representadas por migmatitos policíclicos complexos de peliossoma xistoso e/ou gnáissico. Podem ocorrer também rochas do Grupo Açungui constituídas de xistos diversos, com intercalações subordinadas de filitos, quartzitos, mármore, calciossilicáticas e metassiltitos e associações com rochas pertencentes a suítes graníticas pós-tectônicas constituídas por corpos graníticos e granodioríticos alóctones de granulação fina a grossa. Os sedimentos da Planície Costeira são constituídos essencialmente por depósitos continentais marinhos ou flúvio-lacustres, depósitos elúvio-coluvionares de natureza areno-argilosa e depósitos variados associados a encostas. A principal feição geológica-estrutural existente na região é a falha de Cubatão, com direção NE-SW que condiciona as principais feições geomorfológicas, com destaque para o Rio Cubatão.

A empresa está situada no topo de sedimentos aluvionares argilo-arenosos associados com o vale do rio Perequê, representados do topo para a base por silte arenosos, silte argiloso e arenoso, argila, argila arenosa e areia, os quais foram depositados sobre rochas do tipo granito, gnaiss e migmatitos pertencentes ao Complexo Costeiro. Sotoposto aos poços de monitoramento revelam camadas sedimentares, que em alguns locais apresentam constato interdigitado e geometria lenticular. Este condicionamento geológico está associado aos períodos de maior ou menor energia do fluxo de água do rio, em que carregamentos e deposição de sedimentos ocorreram em duas fases: erosiva, por parte da água e deposicional. Este condicio-

namento geológico dá condições de variabilidade hidrogeológica no fluxo da água subterrânea. O aquífero local tem característica de livre e o nível da água varia entre 1,0 e 4,0 metros. A flutuação do nível de água está ligada à sazonalidade da recarga (estação chuvosa/seca). O fluxo da água subterrânea neste aquífero tem sentido oeste, indicando descarga no rio Perequê e a potenciometria acompanha a topografia, com baixo gradiente na área da empresa A. O rio Perequê situado no limite oeste da indústria A teve seu curso retificado para facilitar o tráfego naquela área. Fotografias aéreas da década de 60 sugerem que o rio meandrava nas proximidades da área interna da empresa em sua porção noroeste, sugerindo um antigo canal na localidade. Nessa região, estudos anteriores para avaliar a influência da maré mostraram que os poços da empresa não são influenciados por esse regime. (Cetesb, 2001a).”

A empresa A iniciou suas atividades industriais para produção de materiais sintéticos em 1958, foi desativada em 1995 por decisão econômica interna e demolida com a mesma motivação em 1998. Os produtos ali elaborados eram: metanol, formaldeído, resinas sintéticas e poliéster. O local onde o empreendimento estava localizado foi classificado pela Cetesb como suspeito de contaminação devido ao tipo de atividade desenvolvida e com base em uma inspeção efetuada no terreno.

Uma investigação confirmatória foi realizada na área, por exigência técnica do órgão de controle ambiental do Estado de São Paulo. Inicialmente foram instalados 20 (vinte) poços de monitoramento por uma empresa de engenharia. Compostos aromáticos voláteis foram identificados no solo e nas águas subterrâneas, especificamente na área dos tanques de estireno. Em 2003, foram executadas investigações complementares no local, oportunidade em que foram detectados estireno e etilbenzeno à profundidade de um metro, nas proximidades de um antigo tanque de estireno.

Foram feitas inicialmente a investigação confirmatória, o levantamento geofísico e a investigação detalhada. Durante a realização da investigação detalhada, foram encontrados 636 (seiscentos e trinta e seis) tambores, que não haviam sido identificados na investigação anterior, os quais continham resíduos de substâncias diversas, em uma área que após receber os tambores, fora aterrada, impermeabilizada por laje de concreto e recoberta por novo aterro para nivelamento do solo,

sobre o qual subsequente construiu-se um prédio para o exercício de novas atividades industriais.

4.1.1 ANÁLISES FEITAS NA ÁREA

A área onde a empresa se instalou tem passado por diversas avaliações ambientais desde 1997, quando foram identificadas concentrações de metais acima dos limites preconizados pela United States Environmental Protection Agency-USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) e pela legislação na água superficial e dos estabelecidos pela Cetesb no solo das lagoas anteriormente usadas para tratamento de águas residuárias previamente ao seu lançamento no corpo receptor. No solo foi detectada a presença de compostos nitrogenados, para os quais não existe valor de intervenção da Cetesb, nem da EPA, nem a lista holandesa contempla estes compostos. Nas águas subterrâneas foi encontrado nitrogênio amoniacal acima do limite da Portaria 518.

Em 2001, foi feita uma investigação complementar do solo e da água subterrânea, que identificou metais no solo onde anteriormente existiram as lagoas, cujos sedimentos se depositaram e com a evaporação e infiltração da água dessas lagoas, resultaram em solo com contaminação acima dos valores de intervenção da Cetesb e compostos aromáticos voláteis tanto no solo quanto na água subterrânea na área de tanques de estireno, também acima dos valores de intervenção da Cetesb.

Em 2003, foram feitas novas investigações complementares para detalhar melhor a área de tanques de estireno. Estes estudos indicaram a presença de etilbenzeno e estireno tanto no solo quanto na água subterrânea. A área de tanques de estireno tem baixa condutividade hidráulica, o que limitou o deslocamento dos compostos citados. Nesta área foi constatada também a presença de compostos aromáticos, etilbenzeno e estireno principalmente. Na área de tanques de estireno e na área de armazenagem e manipulação de uréia foi encontrado nitrogênio amoniacal. É de se considerar que os compostos presentes podem ficar retidos pela camada de solo com baixa condutividade hidráulica, mas certamente evaporaram e produziram polu-

ição do ar, com suas conseqüências à saúde, que foram levadas em conta no cálculo do risco.

Foram efetuadas análises de águas subterrâneas em 32 poços para determinação dos seguintes parâmetros: metais, VOC e série nitrogenada. Em 10 poços foram feitas análises dos três parâmetros, em 5 poços foram feitas análises de VOC e série nitrogenada e em 17 poços foi feita análise apenas da série nitrogenada. Foram coletadas amostras de branco de campo e de branco de equipamento para os três parâmetros.

4.1.2 MÉTODOS DE ANÁLISE UTILIZADOS

A empresa contratada para os trabalhos de investigação e remediação da área seguiu as recomendações do Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da Cetesb para as coletas de amostras. Para a série nitrogenada foram usados os métodos colorimétricos correspondentes, métodos EPA 350.2, (amônia) (EPA, 1974), 351.3 (nitrogênio total KJELDAL) (EPA, 1978), 353.3 (nitrato) (EPA, 1974 a) e 354.1 (nitrito) (EPA, 1971). Para o cromo, chumbo, cádmio, cobre e o zinco foi utilizada a espectrometria de plasma de argônio indutivamente acoplado (ICAP), método EPA 6010B (EPA 2006). Para o mercúrio foi utilizado o método do vapor a frio manual (MCV), método EPA 245.1 (EPA 1994). Para os VOC foi utilizada a cromatografia a gás/espectrometria de massa (GC/MS), método EPA 8260B. Para os PAH, foi utilizada a cromatografia gasosa, método EPA 8100. Para os PCB, foi utilizada a cromatografia gasosa, método EPA 80802 (EPA, 2006). Para semi-voláteis foi utilizada a cromatografia gasosa/espectrometria de massa, método EPA 8270C (EPA, 2006).

Para as amostras de campo foram medidos o pH, a condutividade elétrica e a temperatura.

Após a eleição da área e obtenção dos dados de concentração das substâncias nos diferentes compartimentos ambientais, foi aplicado o processo RBCA para determinar os níveis aceitáveis de concentração no solo, chamados de metas de remediação. Uma vez obtidos os valores das metas de remediação e feita a remoção do material contaminado, levou-se a efeito nova análise que ainda encontrou vestígios de contaminação, as concentrações remanescentes foram utilizadas no modelo RISC Workbench, que fornece o risco real representado por essa contaminação.

4.2 PADRÕES AMBIENTAIS UTILIZADOS

Os padrões ambientais foram utilizados para permitir o lançamento de efluentes de tratamento no corpo receptor. No que diz respeito à água subterrânea foram usados para garantir sua qualidade e para indicação do nível necessário de remediação. Para o solo foram utilizados para garantia da qualidade.

4.2.1 Água superficial

Foram utilizados o artigo 18 da Lei 997/76, regulamentada pelo Decreto 8468/76 (São Paulo, 1976), bem como a Resolução Conama 020/86 (Conama, 1986) em vigor à época das análises e considerado o corpo receptor como de classe II. Atualmente, utiliza-se a Resolução Conama 357/05 (Conama, 2005).

4.2.2 Água subterrânea

Foram utilizados o limite de intervenção proposto pela Cetesb em 2001 (Cetesb, 2001), a Portaria 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde, que estabe-

lece os padrões de potabilidade, o nível de intervenção da lista holandesa e a lista da USEPA região 9, correspondente aos PRG – Preliminary Remediation Goals.

4.2.3 Solo

Foram usados os valores de intervenção da Cetesb para área industrial e na falta destes, os constantes da lista holandesa. Em alguns casos ainda utilizou-se a Norma NBR 10004 (ABNT, 2004) que classifica resíduos sólidos.

4.3 FORMAS DE AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE UTILIZADAS

Existem diferentes modelos que podem ser usados nas diversas fases da avaliação de risco à saúde, como exemplos, podem ser citados: o guia para ações corretivas RBCA, o CSoil o RISC Workbench. Existem ainda modelos próprios de empresas de consultoria, disponíveis apenas por contratação de serviços.

Nesta dissertação fez-se uso da planilha do RBCA, do RISC Workbench.

O RBCA é um guia para ações corretiva, de cujas equações foi feita uma planilha eletrônica, que calcula a concentração aceitável no compartimento ambiental de interesse, para um nível de risco imposto inicialmente.

O RISC Workbench difere do RBCA principalmente por adicionar diferentes caminhos, compostos e receptores; por permitir o uso na presença de produtos com separação de fase; por incluir um modelo para zona vadosa e por incluir o cálculo do risco à saúde acarretado pela absorção de compostos de interesse durante o banho.

A análise de risco foi feita com base na metodologia descrita na norma ASTM E1739-95 desenvolvida pela American Society for Testing Materials sob o título

Standard Guide for Risk-Based Corrective Actions (RBCA) Applied at Petroleum Release Sites (ASTM 2002). Este procedimento foi complementado pelo Manual Risk Assessment Guidance for Superfund – Volume I – Human Health Evaluation Part A (EPA 1989)

4.4 APLICAÇÃO DO PROCESSO RBCA

O processo RBCA Risk Based Corrective Action (ASTM 2002) foi traduzido para a língua portuguesa e adaptado para uso no Estado de São Paulo, pela Câmara Ambiental do Comércio de Derivados de Petróleo, ligada à Cetesb com a denominação de Ações Corretivas Baseadas em Risco (ACBR) Aplicadas a Áreas Contaminadas com Hidrocarbonetos Derivados de Petróleo e Outros Combustíveis Líquidos – Procedimentos (Cetesb, 2001b).

Trata-se de um processo de tomada de decisão consistente, de avaliação e resposta a vazamentos de petróleo, baseado na proteção à saúde humana e ao meio ambiente (ASTM 2002). Nesta dissertação foi utilizado o TIER 1 do RBCA, que é o nível mais conservador dos três existentes. A base para o cálculo no TIER 1 foram as equações do guia padrão RBCA da ASTM, com os parâmetros de exposição estabelecidos no documento do ACBR. Para efetuar o cálculo no TIER 1 trabalhou-se com parâmetros padronizados, que no caso do ACBR correspondem, na maioria dos casos, a valores médios encontrados no Estado de São Paulo. Os valores utilizados para os parâmetros do meio encontram-se na tabela 4 e os correspondentes aos parâmetros de exposição na tabela 5: Os valores padronizados na documentação do ACBR foram utilizados nos cálculos feitos, para uniformizar o tratamento aplicado a solos contaminados e para adequação aos procedimentos seguidos pela Cetesb.

Antes da aplicação do processo foi feita uma comparação entre os valores dos parâmetros utilizados no ACBR e os valores utilizados pela Cetesb para determinação dos limites de interferência e que foram usados também nesta dissertação, por meio do RISC Workbench, para cálculo do risco associado às concentrações remanes-

centes no local, após a retirada do material contaminado existente. Os parâmetros do meio físico independentes do cenário de exposição, os dependentes do cenário de exposição e as variáveis populacionais dependentes do cenário de exposição são mostrados, respectivamente, nas tabelas 4 e 5.

Tabela 4 - Parâmetros do solo, das construções, da superfície e subsuperfície para o ACBR TIER 1

Parâmetro	Definição, unidade	Residencial	Comercial/Industrial
d	Profundidade da zona de solo superficial, cm	100	100
$D^{\text{ar}}/D^{\text{air}}$	Coeficiente de difusão no ar, cm^2/s	ES	ES
D^{wat}	Coeficiente de difusão na água, cm^2/s	ES	ES
ER	Razão de troca de ar em espaços fechados, 1/s	0,00014	0,00023
f_{oc}	Fração de carbono orgânico no solo, adimensional	0,01	0,01
H	Constante da lei de Henry, adimensional	ES	ES
h_{cap}	Espessura da franja capilar, cm	5,00	5,00
h_v	Espessura da zona não saturada, cm	387,27	387,27
I	Taxa de infiltração de água no solo, cm/ano	66,1	66,1
K_{oc}	Coeficiente de partição carbono-água, $\text{cm}^3 \text{ água}/\text{g C}$	ES	ES
K_s/K_d^*	Coeficiente de partição solo-água, $\text{cm}^3 \text{ água}/\text{g solo}$	$f_{\text{oc}} * K_{\text{oc}}$	$f_{\text{oc}} * K_{\text{oc}}$
L_B/L_b^*	Razão volumétrica/área de infiltração, cm	200	300
$L_{\text{crack}}/L_{\text{crk}}^*$	Espessura das fundações ou das paredes de construções, cm	15	15
$L_{\text{GW}}/L_{\text{gw}}^*$	Profundidade do nível d'água = $(h_{\text{cap}} + h_v)$, cm	392,27	392,27
L_s/L_{SS}^*	Espessura do solo superficial, cm	100	100
P_e	Taxa de emissão de material particulado, $\text{g}/\text{cm}^2\text{s}$	$6,9 \times 10^{-14}$	$6,9 \times 10^{-14}$
S	Solubilidade do composto na água, $\text{mg}/\text{L água}$	ES	ES
$U_{\text{air}}/U_{\text{ar}}^*$	Velocidade do ar na zona de respiração, cm/s	225	225
U_{gw}	Velocidade de Darcy para a água subterrânea, cm/ano	1143,65	1143,65
VF_i	Fator de volatilização $(\text{mg}/\text{m}^3 \text{ ar})/(\text{mg}/\text{kg solo})$ ou $(\text{mg}/\text{m}^3 \text{ ar})/(\text{mg}/\text{L água})$	ES	ES
W	largura da área fonte paralela ao vento, ou direção do fluxo da água subterrânea, cm	4500	4500
LF_{sw}	Fator de lixiviação do solo superficial para a água subterrânea $(\text{mg}/\text{L água})/(\text{mg}/\text{kg solo})$	ES	ES
$\square_{\text{air}}/\square_{\text{ar}}^*$	Altura da zona de mistura, ambiente aberto, cm	200	200
$\square_{\text{gw}}$	Espessura da pluma dissolvida na água subterrânea, cm	200	200
η	Fração da área de rachaduras/fendas nas fundações/paredes, cm^2/cm^2	0,01	0,01
θ_{acap}	Conteúdo de ar na zona capilar, $\text{cm}^3 \text{ ar}/\text{cm}^3 \text{ solo}$	0,05	0,05
θ_{acrack}	Conteúdo volumétrico de ar nas fundações/paredes, $\text{cm}^3 \text{ ar}/\text{cm}^3 \text{ volume total}$	0,4366	0,4366
θ_{as}	Conteúdo volumétrico de ar no solo, $\text{cm}^3 \text{ ar}/\text{cm}^3 \text{ solo}$	0,33	0,33
θ_T	Porosidade total do solo, $\text{cm}^3 \text{ ar}/\text{cm}^3 \text{ solo}$	0,54	0,54
θ_{wcap}	Conteúdo volumétrico de água na zona capilar, $\text{cm}^3 \text{ água}/\text{cm}^3 \text{ solo}$	0,48	0,48
θ_{wcrack}	Conteúdo volumétrico de água nas trincas da fundação/paredes, $\text{cm}^3 \text{ água}/\text{cm}^3 \text{ volume total}$	0,1457	0,1457
θ_{ws}	Conteúdo volumétrico de água no solo, $\text{cm}^3 \text{ água}/\text{cm}^3 \text{ solo}$	0,21	0,21
ρ_s	Densidade do solo, g/cm^3	1,19	1,19
τ	Tempo médio para o fluxo de vapor, s	$1,41912 \times 10^9$	$1,41912 \times 10^9$

ES – específico do composto químico de interesse. * – diferentes notações para o mesmo parâmetro, adaptado de ASTM E 1739-95 (2002).

Tabela 5 - Parâmetros de exposição para aplicação no ACBR

Parâmetros	Definições, unidades	Residencial	Comercial/Industrial
T_C	Tempo de avaliação para efeitos carcinogênicos, anos	68	68
AT_N	Tempo de avaliação para efeitos não carcinogênicos, anos	45	45
BW	Massa corpórea adulto, kg	60	60
BW	Massa corpórea criança, kg	15	
ED	Duração da exposição, anos	45	45
EF	Frequência da exposição, dias/ano	350	270
IR_{soil}/IR_s	Taxa de ingestão diária de solo adulto, mg/dia	200	100
IR_{soil}/IR_s	Taxa de ingestão diária de solo criança, mg/dia	200	
$IR_{air-indoor}/IR_{ar}$	Taxa de inalação diária de ar adulto, m ³ /dia	22	22
$IR_{air-indoor}$	Taxa de inalação diária de ar criança em ambiente fechado, m ³ /dia	15	
$IR_{air-outdoor}$	Taxa de inalação diária de ar criança em ambiente aberto, m ³ /dia		
IR_w	Taxa de ingestão diária de água para adulto L/dia	2	1
IR_w	Taxa de ingestão diária de água para criança L/dia	0,5	
M	Fator de aderência do solo na pele mg/cm ²	0,5	0,5
RAF_d	Fator de absorção dérmica relativa	ES	ES
RAF_o	Fator de absorção oral relativa	1	1
$RBSL_i$	Nível aceitável baseado no risco mg/kg solo, mg/L água ou µg/m ³ ar	*	*
RfD_i	Dose de referência crônica para inalação, mg/kg dia	ES	ES
RfD_o	Dose de referência crônica oral, mg/kg dia	ES	ES
SA	Área da superfície do corpo, disponível para contato cm ²	3180	3180
SF_i	Fator de carcinogenicidade para inalação (mg/kg dia) ⁻¹	ES	ES
SF_o	Fator de carcinogenicidade oral (mg/kg dia) ⁻¹	ES	ES
THQ	Meta para o índice de periculosidade, adimensional	1	1
TR	Meta para o índice de carcinogenicidade, adimensional	10 ⁻⁵ /10 ⁻⁶	10 ⁻⁵ /10 ⁻⁶

* – Calculado especificamente para cada meio, substância, exposição e indivíduo
 ES específico do composto químico de interesse, adaptado de ASTM E 1739-95 (2002).

O procedimento RBCA, quando usado com dados de entrada padrão, caracteriza o primeiro nível de cálculo, mais simplificado e mais conservador, no qual não resta mais nenhuma outra variável não parametrizada. Por esta razão, uma vez feito o cálculo, obtém-se uma planilha com as concentrações admissíveis para o risco inicialmente proposto, que como dito anteriormente, em geral, varia entre 10⁻⁶ e 10⁻⁵. De posse desta planilha, com os dados correspondentes ao TIER 1, o problema de remediação se resume à consulta aos dados nela constantes e na aplicação de tecnologia que permita obter a solução adequada para a área contaminada.

Esta abordagem do problema traz a grande vantagem de facilitar as soluções para a descontaminação de *brownfields*. Por outro lado, carrega consigo os perigos da invasão do campo de trabalho por profissionais não habilitados, e, conseqüentemente, passíveis de problemas futuros⁸.

4.5 AVALIAÇÃO DE RISCOS À SAÚDE HUMANA

A metodologia para o estudo de caso baseou-se na Norma ASTM E 1739 - 95 (ASTM, 2002) que estabelece um guia para Ações Corretivas Baseadas em Risco – ACBR, processo que procura associar as práticas de avaliação de risco à saúde e à exposição ambiental à investigação de locais contaminados. Este processo constitui ainda uma importante ferramenta para a seleção do tipo de solução para remediação do terreno contaminado.

O ACBR é um processo constituído de três níveis, denominados TIER em sua versão original americana. O primeiro é o mais simples, TIER 1, trabalha com dados padrão, por isso, exige menor levantamento de dados específicos e, em conseqüência, é mais conservador, mais restritivo quanto à remediação e com maior coeficiente de segurança, uma vez que considera que o receptor está localizado sobre a fonte de exposição.

O segundo nível, TIER 2, leva adicionalmente em consideração, por meio de uma equação analítica, a transformação dos compostos de interesse ao longo do tempo e espaço, por isso traduz de modo mais próximo o fenômeno que naturalmente ocorre com a contaminação existente e conduz a níveis de remediação também mais próximos dos reais necessários. Neste nível, a situação é considerada de modo um pouco mais próximo à realidade, pois leva em conta os dados do meio, além de situar o receptor no ponto real da contaminação.

⁸ Comunicação pessoal com o Eng. Rodrigo Cunha em agosto de 2006.

O terceiro nível, TIER 3, bem mais complexo, baseia-se em dados específicos do local, exige, portanto, para sua consecução, estudo muito mais detalhado da área, no que diz respeito à geologia local e o estabelecimento de modelos locais de transporte e degradação, dentre outros aspectos específicos do terreno.

No presente trabalho, o estudo de caso foi feito com o uso do primeiro nível, TIER 1, por ser uma avaliação preliminar, ser mais conservador, por trabalhar com dados mais cautelosos em relação à saúde e por valer-se de parâmetros gerais já em uso para todo o Estado de São Paulo.

Os padrões holandeses são estabelecidos com base no risco que produzem à saúde, considerados: a exposição a que o homem está sujeito, o tipo de substância, os seus efeitos e a dose por ele ingerida. Este valor é chamado de Índice de Tolerância de Ingestão Diária. Neste contexto, considera-se exposição como o contato pela pele, a inalação e a própria ingestão. Existem três níveis de padrão holandês, S – nível de observação local; T – nível de advertência, que exige investigações mais detalhadas e I – nível de intervenção, que indica risco potencial à saúde humana e ao meio ambiente.

Para a USEPA é sempre considerado o risco total à saúde dos indivíduos pelas diversas vias de exposição. O risco, para substâncias carcinogênicas, é calculado segundo uma fórmula geral representada por:

$$\text{Risco} = \text{Exposição} \times \text{Toxicidade} \quad (1)$$

na qual a Exposição caracteriza o ingresso com o agente tóxico e a Toxicidade determina o grau deletério do composto de interesse ao organismo humano.

O parâmetro para aceitação do risco é um valor estabelecido pelos diversos técnicos envolvidos no assunto com a participação da sociedade, é estatisticamente representativo do incremento do efeito ocasionado pela substância cujo risco se deseja avaliar.

Para valores de risco produzido por substâncias cancerígenas, encontram-se mais comumente na literatura 10^{-6} e 10^{-5} , que representam, respectivamente, o aumento de um caso de câncer em 10^6 habitantes expostos e o acréscimo de um caso em 10^5 habitantes expostos, aumentos estes exclusivamente devido a causas ambientais.

A este respeito, é importante fazer algumas observações que levam à escolha de um ou de outro valor.

A proteção à saúde oferecida pelo fator 10^{-6} é uma ordem de grandeza maior que a oferecida pelo fator 10^{-5} , no entanto o custo de remediação a ela associado é também muito maior. Este custo recairá sobre o Estado, portanto sobre a sociedade, quando se tratar de áreas abandonadas.

Quando as áreas forem industriais ou comerciais de propriedade privada, haverá repasse do gastos com a remediação ao preço dos produtos elaborados ou comercializados por meio do empreendimento em questão, o que faz o custo recair da mesma forma sobre a sociedade, embora neste caso, apenas sobre a parcela constituída pelos consumidores daquilo que é comercializado pela empresa. Como se vê, a sociedade está sempre envolvida, por isso é importante que ela participe da decisão sobre o grau de remediação a ser estabelecido e indique o quanto está disposta a pagar pelo serviço, observada a contrapartida dos custos governamentais com saúde, que também lhe recaem.

Neste trabalho, optou-se por considerar um fator de risco mais conservador, de 10^{-6} , pela ponderação de que o nível basal de câncer no Brasil é baixo, quando comparado com países mais industrializados e, evidentemente, por pretender conservar os níveis de morbidade atuais na mesma ordem de grandeza em que estão ou até mesmo melhorá-los. Deve ser levado em conta que os atuais níveis basais de câncer no Brasil, assim como de algumas outras doenças, são fruto de atividades antropogênicas anteriores. A utilização de critérios menos rigorosos contribuirá para aumentar essas consequências que ainda não surgiram de todo.

Os países mais industrializados usam o fator de risco da ordem de 10^{-5} , que produz neles menor impacto à saúde pública do que produziria no Brasil, uma vez que seus

índices de câncer são mais elevados que os encontrados aqui, como no caso dos Estados Unidos onde, de cada quatro habitantes um apresentará a doença (LaGrega et al., 2001). Para esses países, se pode considerar que 10^{-5} é um número conservador, pois o nível basal é muito elevado e neste cenário, o aumento de um caso de câncer em 100000 habitantes poderia ser considerado pequeno, pois pelo nível basal já existiriam naturalmente 25000 casos. Pelo acréscimo de um em 100000, passariam a ser 25001, ou 0,004% a mais, no número de casos notificados.

Por outro lado, a adoção dos mesmos critérios, pode acarretar no Brasil o aumento dos níveis basais até valores comparáveis aos desses países, em particular seria de se esperar em longo prazo níveis similares ao dos Estados Unidos. No Estado de São Paulo, a taxa bruta de câncer estimada para 2006, pelo INCA – Instituto Nacional do Câncer é de 349,8 casos por 100000 habitantes (INCA, 2006), segundo maior índice basal do país. O acréscimo de um caso de câncer por 100000 habitantes representaria 0,285% de aumento nos casos notificados na região, impacto muito maior que o representado pelo mesmo acréscimo, um em 100000, nos Estados Unidos. Para que se tenha a dimensão destes números, observe-se que 349,8 casos em 100000 correspondem à aproximadamente 3,5 casos a cada 1000 pessoas, o que não é pouco, tanto sob o ponto de vista social ou econômico, como de saúde pública.

Antes de prosseguir com as considerações acima, é pertinente comentar a qualidade dos dados citados. É útil informar que a metodologia para obtenção dos números de ocorrência de câncer no Brasil e no Estado de São Paulo e a forma como os dados são apresentados, não permite que seja feita sua discriminação por causas ambientais e por compartimento. Embora o INCA atualize com a devida frequência os dados, eles não permitem efetuar correlações com as diversas suspeitas de origem da doença, especialmente no tocante ao meio ambiente. A par disto, o INCA divulga em sua página a seguinte afirmação, que dá credibilidade aos números apresentados em seu relatório anual, com as previsões para 2006,

Acreditamos que as informações aqui contidas seguiram rigorosamente critérios científicos para assegurar uma aproximação da real ocorrência de câncer em cada estado. É necessário, contudo, destacar que as diferenças observadas nos

valores estimados para 2006 podem representar apenas uma melhoria na qualidade das informações do Serviço de Informação sobre Mortalidade e dos Registros de Câncer de Base Populacional. Por isto, extrapolações a partir das informações atuais devem ser feitas com cautela, particularmente quando se examinam séries temporais. (INCA, 2006)

com o que se acredita que as ilações aqui feitas sejam cientificamente aceitáveis.

Feito este comentário paralelo, em prosseguimento às considerações anteriores, resta observar que, a depender da percepção da magnitude deste risco podem ocorrer dois casos de política pública, quais sejam: a adoção de valores mais restritivos para a remediação dos locais contaminados, com aumento do investimento no controle ambiental e diminuição dos gastos futuros com saúde; ou justamente o contrário, diminuição do orçamento para remediação e aumento dos custos com saúde devido à lassidão do controle.

Para a iniciativa privada, não há escolha, deve ser seguido o que determina o órgão de controle, que por equanimidade deve aplicar o mesmo critério da política pública. Vale ressaltar que a Cetesb utiliza fator de risco 10^{-5} e que utilizou 10^{-4} para o estabelecimento dos valores de intervenção no solo. Também deve ser comentado que os padrões de potabilidade foram estabelecidos com base em um risco de 10^{-5} .

Finalmente, a escolha será política, por parte do governo e não puramente técnica e sem dúvida numa discussão em que a ética está muito envolvida.

Os fatores de risco apresentados e discutidos anteriormente são utilizados no cálculo de riscos à saúde humana, por meio de um procedimento chamado RBCA – Risk Based Corrective Action, para obter as concentrações máximas das substâncias químicas de interesse, que não devem ser ultrapassadas, no meio em questão, para que não apresentem risco à saúde. Estas concentrações serão consideradas metas de remediação para o local contaminado, o que garantirá que o risco estabelecido não seja ultrapassado em nenhum dos compartimentos ambientais. As concentrações assim encontradas são ainda úteis para a escolha da tecnologia a ser utilizada na recuperação da área.

A quantidade denominada ingresso corresponde ao que está disponível ao indivíduo sujeito à contaminação na região de contato com o contaminante (Ponto de exposição). Este valor é importante, pois é com ele que se calcula para a população exposta, a probabilidade de desenvolvimento de câncer. No caso de substâncias tóxicas, mas não causadoras de câncer, é possível saber, por meio de cálculo se determinada exposição causará ou não uma doença pela exposição do indivíduo ao contaminante. A seguir é apresentada a fórmula de cálculo do ingresso:

$$I = C \times \frac{CR \times EFD}{BW} \times \frac{1}{AT} \quad (2)$$

Na qual:

I = taxa de ingresso, quantidade de produto químico disponível na região de contato (mg/kg de massa corpórea – por dia);

C = concentração do produto químico, tomada como a média da concentração de contato durante o período de exposição (por exemplo: mg/litro de água);

CR = taxa de contato, é a quantidade de material contaminado contatado por unidade de tempo ou por evento (por exemplo: litros/dia);

EFD = frequência e duração da exposição, descreve a duração e a frequência da exposição. É em geral calculada por dois termos:

EF = frequência de exposição (dias/ano) e

ED = duração da exposição (anos);

BW = massa corpórea, média da massa corpórea durante o período de exposição (kg) e

AT = média do tempo, período sobre o qual a exposição média é calculada (dias).

De posse destes valores e dos dados de contaminação do terreno da empresa selecionada aplicou-se a metodologia de avaliação de risco à saúde, segundo a Agência Ambiental USEPA (EPA 1989a) para o cálculo das concentrações máximas a serem permitidas nos diferentes compartimentos ambientais, para que os riscos previamente estabelecidos não fossem ultrapassados. Essas concentrações calculadas por meio da avaliação de riscos, são levadas em consideração para a escolha dos métodos de remediação a serem adotados. A metodologia do EPA foi aplicada por meio do guia para ações corretivas, RBCA. As concentrações encontradas no local são apresentados no capítulo 5 Resultados.

A remediação do solo contaminado da empresa A, utilizada neste trabalho como estudo de caso, foi executada por uma empresa especializada. Após o término da remediação deverão ser realizadas novas análises do solo, o que até o presente momento ainda não foi feito. A remediação foi concluída, mas falta a avaliação de risco, considerada a contaminação remanescente. O órgão de controle ambiental costuma, após o cálculo do risco final, solicitar o monitoramento do site durante pelo menos dois ciclos hidrogeológicos.

Estes dois conjuntos de dados, os iniciais, anteriores à remediação e os finais, após a remediação, associados à tecnologia utilizada na remediação, são via de regra utilizados para análise, comentários, sugestões e recomendações. Neste caso, em que não houve tempo hábil para a realização das análises finais, serão feitas sugestões a respeito das medidas de controle necessárias à proteção da saúde e do meio ambiente.

4.6 CARACTERIZAÇÃO DO RISCO À SAÚDE HUMANA

De forma bastante resumida, o risco à saúde humana pode ser classificado como risco de doenças que não o câncer e risco de câncer.

Na metodologia de cálculo, existem 6 passos, quais sejam:

1. Organizar os valores de exposição e avaliação de toxicidade

2. Quantificar os riscos para cada substância, estimar o risco de câncer para as substâncias cancerígenas e o índice de perigo para as substâncias não cancerígenas; para cada via calcular o valor do risco e do índice de perigo
3. Combinar os riscos, somar os riscos de câncer e os índices de perigo
4. Avaliar as incertezas
5. Comparar estudos similares ao caso em análise
6. Resumir os resultados.

A quantificação dos riscos é feita por meio de um cálculo simples,

a - Para o caso de substâncias cancerígenas:

$$\text{Risco} = I \times SF \quad (3)$$

Na qual:

I é o ingresso crônico diário distribuído por 68 anos de vida, em mg/kg.dia e

SF é o "slope factor" ou fator de carcinogenicidade, expresso em (mg/kg.dia)⁻¹

b- Para o caso de substâncias não carcinogênicas:

$$\text{Índice de perigo} = E / RfD$$

Na qual

E é o nível de exposição ou ingresso e

RfD é a dose de referência

Como o índice de perigo é adimensional, E e RfD devem ter as mesmas unidades.

Para exposição a múltiplas substâncias, tanto cancerígenas como não cancerígenas, deve-se somar os valores de risco ou de perigo, para cada substância. Da mesma forma, no caso de exposição por diversas vias, deve-se somar o risco ou perigo para todas as vias. Quando de somas de perigos, deve-se atentar para que sejam somados apenas os perigos de diferentes substâncias, quando estas causem o mesmo efeito.

A avaliação das incertezas dos resultados e dos valores de entrada pode ser feita de forma quantitativa ou qualitativa, uma avaliação qualitativa pode fornecer uma idéia bastante clara do estudo, embora de forma geral, desde que dê segurança quanto aos resultados obtidos.

A comparação de estudos já existentes, quando pode ser feita é uma ferramenta muito boa de validação. No Brasil e no Estado de São Paulo, como este tipo de trabalho é recente, não existem ainda, na maioria dos casos, estudos que a permitam. O relacionamento com estudos de outros países, bastante útil, tem limitações, devido às características diferentes do solo dos países de origem do estudo. O solo brasileiro é tropical, com características próprias e diversas das de países que no momento atual se encontram na vanguarda do tema áreas contaminadas, que contam com grande volume de publicações, que se tornam bons guias, mas limitados pela fragilidade das comparações. Também os efeitos sobre a saúde causados pelas substâncias alvo do estudo, podem ser diferentes, pelo menos em intensidade.

5 RESULTADOS

5.1 RESULTADOS DAS INVESTIGAÇÕES AMBIENTAIS REALIZADAS POR UMA EMPRESA DE CONSULTORIA AMBIENTAL

Na figura 2 são mostrados os poços perfurados e sondagens executadas no terreno, bem como o contorno dos prédios anteriormente existentes no local. Na figura 3 são mostradas as linhas potenciométricas do aquífero freático.

Figura 2 – Planta de localização dos poços de monitoramento, das sondagens e dos antigos prédios.

- Legenda**
- PM01 Poço de monitoramento
 - Linha de isoconcentração
 - - - Linha de isoconcentração inferida
 - ➔ Sentido do fluxo
 - 0.00 Cota do nível de água

Figura 3 – Planta de linhas piezométricas do lençol freático.

Tabela 6 - Concentrações de alguns contaminantes encontradas nas águas subterrâneas em alguns poços de monitoramento em 2003 (µg/L)

Composto	LQ	PM-01	PM-18	PM-19	PM-22	PM-24
	ppb	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
MIBK	10	36				
Xilenos	5	6				
Etilbenzeno	5		16		2297	
Benzeno	5			10		
Estireno	5				86	5
Acetona	10					64
Tolueno	5					7

A existência das concentrações mostradas na tabela 6, levou ao acompanhamento mais cuidadoso e à investigação detalhada, cujos dados são os utilizados nesta dissertação. O nitrogênio amoniacal foi a substância química que mais freqüentemente se apresentou acima do padrão estabelecido pela Portaria Conama 518 (1,5 mg/L), os poços com as respectivas concentrações encontradas são mostrados na tabela 7.

Tabela 7 - Concentrações de nitrogênio amoniacal acima do limite da Portaria Conama 518 (mg/L) (continua)

PM-01	PM-04	PM-08	PM-09	PM-11
2	2	6	2	3

Tabela 7 - Concentrações de nitrogênio amoniacal acima do limite da Portaria Conama 518 (mg/L) (continuação)

PM-13	PM-16	PM-17	PM-18	PM-20
25	2	3	39	12

Tabela 7 - Concentrações de nitrogênio amoniacal acima do limite da Portaria Conama 518 (mg/L) (continuação)

PM-21	PM-22	PM-23	PM-24	PM-26B
2	14	91	1280	14

Tabela 7 - Concentrações de nitrogênio amoniacal acima do limite da Portaria Conama 518 (mg/L) (conclusão)

PM-27A	PM-28A	PM-28B	PM-29A	PM-29B	PM-30A
2	11	19	2	3	3

Fonte Cetesb, 2001a

O limite de quantificação para o nitrogênio amoniacal, foi de 0,20 mg/L, para as análises cujos resultados são apresentados na Tabela 7.

Os compostos nitrogenados são provenientes da antiga fábrica de uréia que outrora existira no complexo industrial da empresa e que não se encontra indicada nas plantas mais atuais. Não foram encontrados valores elevados de nitrito e nitrato, como se pode verificar nas tabelas 31 e 32, mais à frente.

Na tabelas 8 e 9 são apresentados os resultados analíticos para os parâmetros correspondentes ao Conama 20, ou Conama 357/05, para a água superficial na lagoa de concreto, com o intuito de mostrar a qualidade da água existente na lagoa de concreto.

Sempre que possível os dados de análise apresentados nesta dissertação contém informações adicionais sobre limites existentes no Brasil ou em outros países, para permitir a visualização da intensidade da contaminação.

Tabela 8 - Resultados analíticos para a água superficial - lagoa de concreto

Parâmetro	Unidade	Limite de detecção	Concen- tração	Art. 5°	Art. 18
Óleos e Graxas	mg/L	0,5	2,0	Virtualmente ausente	100
Coliformes fecais	NMP/100ml	-	2	1000	-
Coliformes fecais	NMP/100ml	-	40	5000	-
DBO ₅	mg/L	2,0	3,0	5	60
DQO	mg/L	4,0	31,0	-	-
OD	mg/L	2,0	8,6	>5	-
Turbidez	UNT	1,0	2,0	100	-
Cor	mg Pt/L	1,0	19,0	75	-
pH	-	1,0	8,06	6,0 – 9,0	5,0 – 9,0
Alumínio	mg/L	0,10	nd	0,1	-
Amônia não ionizável	mg/L	0,01	0,045	0,02	-
Arsênio	mg/L	0,01	nd	0,05	0,2
Bário	mg/L	0,30	nd	1,0	5,0
Bérblio	mg/L	0,03	nd	0,1	-
Boro	mg/L	0,027	0,064	0,75	5,0
Benzeno	mg/L	1,0	nd	10	-
Benzo-a-pireno	mg/L	0,01	nd	0,01	-
Cádmio	mg/L	0,001	nd	0,001	0,2
Cianetos	mg/L	0,002	nd	0,01	0,2
Chumbo	mg/L	0,03	nd	0,03	0,5
Cloreto	mg/L	0,5	0,015	250	-
Cobalto	mg/L	0,050	nd	0,2	-
Cobre	mg/L	0,010	nd	0,02	1,0
Cromo	mg/L	0,016	nd	-	5,0
Cromo trivalente	mg/L	0,016	nd	0,5	-
Cromo hexavalente	mg/L	0,009	nd	0,05	0,1
1,1 Dicloroetano	mg/L	1,0	nd	0,3	-
1,2 Dicloroetano	mg/L	1,0	nd	10	-
Estanho	mg/L	1,0	nd	2,0	4,0
Ferro solúvel	mg/L	0,012	0,264	0,3	15,0
Fluoretos	mg/L	0,1	nd	1,4	10,0
Fosfato total	mg/L	0,01	0,30	0,025	-
Lítio	mg/L	0,005	nd	2,5	-
Manganês solúvel	mg/L	0,012	nd	0,1	-
Merúrio	mg/L	0,001	nd	0,0002	0,01
Níquel	mg/L	0,020	nd	0,025	2,0
Nitrato	mg/L	0,20	nd	10	-
Nitrito	mg/L	0,00028	nd	1,0	-
Prata	mg/L	0,009	nd	0,01	0,02
Pentaclorofenol	µg/L	0,01	nd	10	-
Selênio	mg/L	0,003	nd	0,01	0,02
Sólidos voláteis totais	mg/L	1,0	90,0	-	-
Sólidos totais	mg/L	1,0	220,0	-	-
Sólidos sedimentáveis	mg/L	0,1	nd	-	1,0
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1,0	140,0	500	-
Sulfatos	mg/L	1,0	0,7	250	-
Sulfetos	mg/L	0,002	0,020	0,002	-
Tetracloroetano	µg/L	1,0	nd	10	-
Tricloroetano	µg/L	1,0	nd	30	-
Surfactantes	mg/L	0,01	0,04	0,5	-
Índice de fenóis	mg/L	0,0005	nd	0,001	0,5

Artigo 5° Valor máximo permitido pelo Art. 5° da Resolução Conama 357/05. Artigo 18 Valor máximo permitido pelo Art. 18 do Decreto Estadual 8468/76 NMP. Número mais provável nd não detectado Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 9 - Resultados analíticos para a água superficial lagoa de concreto

Parâmetros	Unidade	Limite de detecção	Concentração	Art. 5º	Art. 18
Tetracloro de carbono	µg/L	1,0	nd	3	-
2,4,6 triclorofenol	µg/L	0,01	nd	10	-
Urânio total	mg/L	0,01	nd	0,02	-
Vanádio	mg/L	0,1	nd	0,1	-
Zinco	mg/L	0,001	0,007	0,18	5,0
Aldrin	µg/L	0,01	nd	10	-
Clordano	µg/L	0,01	nd	0,04	-
DDT	µg/L	0,01	nd	0,002	-
Dieldrin	µg/L	0,01	nd	0,005	-
Endrin	µg/L	0,01	nd	0,004	-
Endossulfan	µg/L	0,01	nd	0,056	-
Epóxido heptaclor	µg/L	0,01	nd	0,01	-
Heptacloro	µg/L	0,01	nd	0,01	-
Lindano	µg/L	0,01	nd	0,02	-
Metoxiclor	µg/L	0,01	nd	0,03	-
Toxafeno	µg/L	0,01	nd	0,01	-
PCB's	µg/L	1,00	nd	0,001	-
Organofosforados e Carbamatos totais	µg/L	0,0005	nd	10	-
Demeton	µg/L	0,01	nd	0,1	-
Gutien	µg/L	0,01	nd	0,005	-
Malation	µg/L	0,005	nd	0,1	-
Paration	µg/L	0,01	nd	0,04	-
Carbaril	µg/L	0,01	nd	0,02	-
2,4-D	µg/L	0,01	nd	4,0	-
2,4,5-TP	µg/L	1,00	nd	10	-
2,4,5-T	µg/L	1,00	nd	2,0	-

Artigo 5º Valor máximo permitido pelo Art. 5º da Resolução CONAMA 357/05

Artigo 18 Valor máximo permitido pelo Art. 18 do Decreto Estadual 8468/76 NMP Número mais provável nd não detectado

Fonte Cetesb (2001)

Os resultados analíticos para a água superficial nas lagoas de concreto apresentados nas tabelas 8 e 9, mostram alguns dados acima dos limites: a amônia ionizável cujo limite é 0,02 mg/L e encontra-se com 0,045 mg/L e sulfetos que aparecem na concentração de 0,020 mg/L enquanto o limite é 0,002 mg/L. Estes dados foram obtidos com qualidade aceita pelo órgão fiscalizador do estado, obedeceram às normas exigidas pela legislação e serviram para caracterizar a contaminação local e embora tenham sido coletados em reservatório impermeabilizado por concreto, mostram-se presentes também sob a lagoa.

Nas tabelas 10 a 14 são apresentados os resultados analíticos para metais na água subterrânea em 2004.

Tabela 10 - Resultados analíticos de metais para a água subterrânea (mg/L)

Parâmetros Analisados	Limite de Quantificação	PM-02	PM-03	PM-04	PM-05	PM-06	PM-09	Cetesb	Portaria 518
Setor		L	L	A	L	C	F		
Cromo	0,05	nd	nd	nd	nd	nd	nd	50	50
Chumbo	0,010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10	10
Mercúrio	0,001	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1	1
Zinco	0,20	nd	nd	87,7	145	86,2	77,1	5000	5000

Fonte Cetesb (2001)a

Tabela 11- Resultados analíticos de metais para a água subterrânea (mg/L)

Parâmetros Analisados	Limite de Quantificação	PM-10	PM-13	PM-15	PM-17C	PM-18	PM-20	Cetesb	Portaria 518
Setor		E	A	C	C	D	L		
Cromo	0,05	nd	nd	nd	nd	nd	nd	50	50
Chumbo	0,010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10	10
Mercúrio	0,001	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1	1
Zinco	0,20	72,6	164	152	50,6	22,8	139	5000	5000

Fonte Cetesb(2001)a

Tabela 12 - Resultados analíticos de metais para a água subterrânea (mg/L)

Parâmetros Analisados	Limite de Quantificação	PM-22	PM-23	PM-24	PM-25B	PM-26B	PM-27B	Cetesb	Portaria 518
Setor		H	E	K	J	J	B		
Cromo	0,05	nd	nd	nd	nd	nd	nd	50	50
Chumbo	0,010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10	10
Mercúrio	0,001	nd	nd	3,8	nd	nd	nd	1	1
Zinco	0,20	22,2	18,4	99,6	140	84,1	69,5	5000	5000

Fonte Cetesb(2001)a

Tabela 13 - Resultados analíticos de metais para a água subterrânea (mg/L)

Parâmetros Analisados	Limite de Quantificação	PM-28B	PM-29B	PM-30B	PM-32	PM-33	PM-34	Cetesb	Portaria 518
Setor		B	A	A	H	H	H		
Cromo	0,05	nd	nd	nd	nd	nd	nd	50	50
Chumbo	0,010	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10	10
Mercúrio	0,001	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1	1
Zinco	0,20	55,6	73,6	64,1	25,7	13,3	16,8	5000	5000

Fonte Cetesb (2001)a

Tabela 14- Resultados analíticos de metais para a água subterrânea (mg/L)

Parâmetros Analisados Setor	Limite de quantificação	PM-39	PM-40	Cetesb	Portaria 518
		branco	branco		
Cromo	0,05	nd	nd	50	50
Chumbo	0,010	nd	nd	10	10
Mercúrio	0,001	nd	nd	1	1
Zinco	0,20	11,1	nd	5000	5000

Fonte Cetesb (2001) a

Os resultados analíticos de metais para a água subterrânea apresentados mostram que o único metal apontado nas análises com frequência elevada foi o zinco, que embora em concentrações baixas, está presente em praticamente todos os pontos de amostragem, a exceção de três. A qualidade destes dados é boa. Na sua obtenção foram obedecidas as normas vigentes e a quantidade de deles é suficiente para assegurar a confiabilidade do levantamento feito.

Nas tabelas 15 a 22 são apresentados os resultados analíticos para VOC na água subterrânea em 2004.

Tabela 15 - Resultados analíticos de VOC na água subterrânea (µg/L)

Amostra	Limite de quantifi- cação	PM- 01	PM- 02	PM- 03	PM- 04	PM- 06	Portaria 518	Padrão Ho- landês (I)	EPA Região 9
Parâmetro									
Clorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	1500
Cloreto de vinila	2	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Bromometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	870
Cloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	4,6
1,1-dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	30	-	-
Cloreto de Metileno	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Acetona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Dissulfeto de Carbono	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	1000
Trans-1,2-dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
1,1-Dicloroetano	0,3	nd	nd	nd	nd	nd	-	900	-
Cis-1,2-Dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Clorofórmio (Triclorome- tano)	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	400	-
1,1,1-Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Tetracloroeto de Carbono	2	nd	nd	nd	nd	nd	2	-	-
Benzeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	5	-	-
1,2-Dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	10	-	-
2-Butanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	70	-	-
1,2-Dicloropropano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,16
Bromodiclorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,18
Cis-1,3-Dicloropropeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Tolueno	5	nd	nd	nd	nd	nd	170	-	-
Trans-1,3- Dicloropropeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
1,1,2-Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	130	-
Tetracloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	40	-	-
Dibromoclorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,13
2-Hexanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	3500
4-Metil-2-pentanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Clorobenzeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	120	-	-
Etilbenzeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	200	-	-
Xilenos (Total)	5	nd	nd	nd	nd	nd	300	-	-
Estireno	5	nd	nd	nd	nd	nd	20	-	-
Bromofórmio	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	8,5
1,1,2,2-Tetracloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Cis+trans-1,2- dicloroetano	ni	nd	nd	nd	nd	nd		20	-

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação, ni não informado
Cetesb (2001) a

Tabela 16- Resultados analíticos de VOC na água subterrânea (µg/L)

Amostra	Limite de Quantificação	PM-08	PM-09	PM-10	PM-13	PM-15	Portaria 518	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Parâmetro									
Clorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	1500
Cloreto de vinila	2	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Bromometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	870
Cloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	4,6
1,1-dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	30	-	-
Cloreto de Metileno	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Acetona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Dissulfeto de Carbono	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	1000
Trans-1,2-dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
1,1-Dicloroetano	0,3	nd	nd	nd	nd	nd	-	900	-
Cis-1,2-Dicloroetano	5	nd	7	nd	nd	nd	-	-	-
Clorofórmio (Tricloro- metano)	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	400	-
1,1,1-Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Tetracloroeto de Carbono	2	nd	nd	nd	nd	nd	2	-	-
Benzeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	5	-	-
1,2-Dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	10	-	-
2-Butanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	70	-	-
1,2-Dicloropropano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,16
Bromodichlorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,18
Cis-1,3-Dicloropropeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Tolueno	5	nd	nd	nd	nd	nd	170	-	-
Trans-1,3- Dicloropropeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
1,1,2-Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	130	-
Tetracloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	40	-	-
Dibromoclorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,13
2-Hexanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	3500
4-Metil-2-pentanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Clorobenzeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	120	-	-
Etilbenzeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	200	-	-
Xilenos (Total)	5	nd	nd	nd	nd	nd	300	-	-
Estireno	5	nd	nd	nd	nd	nd	20	-	-
Bromofórmio	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	8,5
1,1,2,2-Tetracloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Cis+trans-1,2- dicloroetano	ni	nd	7	nd	nd	nd		20	-

Nd não detectado – sem padrão de comparação

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 17- Resultados analíticos de VOC na água subterrânea (µg/L)

Amostra	Limite de Quantificação	PM-18	PM-19	PM-21	PM-22	PM-23	Portaria 518	Padrão Holandês (l)	EPA Região 9
Parâmetro									
Clorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	1500
Cloreto de vinila	2	nd	nd	nd	nd	15	-	-	-
Bromometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	870
Cloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	4,6
1,1-dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	30	-	-
Cloreto de Metileno	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Acetona	10	nd	21	21	nd	28	-	-	-
Dissulfeto de Carbono	5	9	nd	nd	nd	nd	-	-	1000
Trans-1,2-dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
1,1-Dicloroetano	0,3	nd	nd	nd	nd	nd	-	900	-
Cis-1,2-Dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	30	-	-	-
Clorofórmio (Triclorometano)	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	400	-
1,1,1-Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Tetracloroeto de Carbono	2	nd	nd	nd	nd	nd	2	-	-
Benzeno	5	nd	11	nd	nd	nd	5	-	-
1,2-Dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	10	-	-
2-Butanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	70	-	-
1,2-Dicloropropano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,16
Bromodiclorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,18
Cis-1,3-Dicloropropeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Tolueno	5	nd	nd	nd	28	nd	170	-	-
Trans-1,3-Dicloropropeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
1,1,2-Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	130	-
Tetracloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	40	-	-
Dibromoclorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,13
2-Hexanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	3500
4-Metil-2-pentanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Clorobenzeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	120	-	-
Etilbenzeno	5	26	nd	nd	7474	nd	200	-	-
Xilenos (Total)	5	nd	nd	nd	nd	nd	300	-	-
Estireno	5	nd	nd	nd	3256	nd	20	-	-
Bromofórmio	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	8,5
1,1,2,2-Tetracloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Cis+trans-1,2-dicloroetano	ni	nd	nd	nd	nd	nd		20	-

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 18 - Resultados analíticos de VOC na água subterrânea (µg/L)

Amostra	Limite de Quantificação	PM- 24	PM- 25B	PM- 26A	PM- 26B	PM- 27A	Padrão Ho- landês (I)	EPA Região 9
Parâmetro								
Clorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	1500
Cloreto de vinila	2	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
Bromometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	870
Cloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	4,6
1,1-dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
Cloreto de Metileno	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
Acetona	10	195	nd	nd	nd	nd	-	-
Dissulfeto de Carbono	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	1000
Trans-1,2-dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
1,1-Dicloroetano	0,3	nd	nd	nd	nd	nd	900	-
Cis-1,2-Dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
Clorofórmio (Triclorometano)	5	nd	nd	nd	nd	nd	400	-
1,1,1-Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
Tetracloroeto de Carbono	2	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
Benzeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
1,2-Dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
2-Butanona	10	57	nd	nd	nd	nd	-	-
Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
1,2-Dicloropropano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	0,16
Bromodichlorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	0,18
Cis-1,3-Dicloropropeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
Tolueno	5	23	nd	nd	28	nd	-	-
Trans-1,3-Dicloropropeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
1,1,2-Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	130	-
Tetracloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
Dibromoclorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	0,13
2-Hexanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	3500
4-Metil-2-pentanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
Clorobenzeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
Etilbenzeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
Xilenos (Total)	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
Estireno	5	79	nd	nd	nd	nd	-	-
Bromofórmio	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	8,5
1,1,2,2-Tetracloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-
Cis+trans-1,2-dicloroetano	ni	nd	nd	nd	nd	nd	20	-

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação, ni não informado

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 19 - Resultados analíticos de VOC na água subterrânea (µg/L)

Amostra	Limite de	PM-	PM-	PM-	PM-	PM-	Portaria	Padrão	EPA
Parâmetro	Quantificação	24	25B	26A	26B	27A	518	Holandês (I)	Região 9
Clorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	1500
Cloreto de vinila	2	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Bromometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	870
Cloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	4,6
1,1-dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	30	-	-
Cloreto de Metileno	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Acetona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Dissulfeto de Carbono	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	1000
Trans-1,2-dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
1,1-Dicloroetano	0,3	nd	nd	nd	nd	nd	-	900	-
Cis-1,2-Dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Clorofórmio (Tricloro- metano)	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	400	-
1,1,1-Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Tetracloroeto de Carbo- no	2	nd	nd	nd	nd	nd	2	-	-
Benzeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	5	-	-
1,2-Dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	10	-	-
2-Butanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	70	-	-
1,2-Dicloropropano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,16
Bromodiclorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,18
Cis-1,3-Dicloropropeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Tolueno	5	nd	nd	nd	nd	nd	170	-	-
Trans-1,3- Dicloropropeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
1,1,2-Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	130	-
Tetracloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	40	-	-
Dibromoclorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,13
2-Hexanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	3500
4-Metil-2-pentanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Clorobenzeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	120	-	-
Etilbenzeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	200	-	-
Xilenos (Total)	5	nd	nd	nd	nd	nd	300	-	-
Estireno	5	nd	nd	nd	nd	nd	20	-	-
Bromofórmio	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	8,5
1,1,2,2-Tetracloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Cis+trans-1,2- dicloroetano	ni	nd	nd	nd	nd	nd		20	-

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 20 - Resultados analíticos de VOC na água subterrânea (µg/L)

Amostra	Limite de Quantificação	PM- 27B	PM- 28A	PM- 28B	PM- 29A	PM- 29B	Portaria 518	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Parâmetro									
Clorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	1500
Cloreto de vinila	2	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Bromometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	870
Cloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	4,6
1,1-dicloroeteno	5	nd	nd	nd	nd	nd	30	-	-
Cloreto de Metileno	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Acetona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Dissulfeto de Carbono	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	1000
Trans-1,2-dicloroeteno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
1,1-Dicloroetano	0,3	nd	nd	nd	nd	nd	-	900	-
Cis-1,2-Dicloroeteno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Clorofórmio (Tricloro- metano)	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	400	-
1,1,1-Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Tetracloroeto de Carbo- no	2	nd	nd	nd	nd	nd	2	-	-
Benzeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	5	-	-
1,2-Dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	10	-	-
2-Butanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Tricloroeteno	5	nd	nd	nd	nd	nd	70	-	-
1,2-Dicloropropeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,16
Bromodichlorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,18
Cis-1,3-Dicloropropeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Tolueno	5	nd	nd	nd	nd	nd	170	-	-
Trans-1,3- Dicloropropeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
1,1,2-Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	130	-
Tetracloroeteno	5	nd	nd	nd	nd	nd	40	-	-
Dibromoclorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,13
2-Hexanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	3500
4-Metil-2-pentanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Clorobenzeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	120	-	-
Etilbenzeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	200	-	-
Xilenos (Total)	5	nd	nd	nd	nd	nd	300	-	-
Estireno	5	nd	nd	nd	nd	nd	20	-	-
Bromofórmio	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	8,5
1,1,2,2-Tetracloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Cis+trans-1,2- dicloroeteno	ni	nd	nd	nd	nd	nd		20	-

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 21 - Resultados analíticos de VOC na água subterrânea (µg/L)

Amostra	Limite de Quantificação	PM- 30A	PM- 30B	PM- 31	PM- 32	PM- 33	Portaria 518	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Parâmetro									
Clorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	1500
Cloreto de vinila	2	nd	nd	nd	nd	4	-	-	-
Bromometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	870
Cloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	4,6
1,1-dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	30	-	-
Cloreto de Metileno	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Acetona	10	nd	nd	nd	67	nd	-	-	-
Dissulfeto de Carbono	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	1000
Trans-1,2-dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
1,1-Dicloroetano	0,3	nd	nd	nd	nd	nd	-	900	-
Cis-1,2-Dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Clorofórmio (Tricloro- metano)	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	400	-
1,1,1-Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Tetracloroeto de Car- bono	2	nd	nd	nd	nd	nd	2	-	-
Benzeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	5	-	-
1,2-Dicloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	10	-	-
2-Butanona	10	nd	nd	nd	17	nd	-	-	-
Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	70	-	-
1,2-Dicloropropano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,16
Bromodichlorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,18
Cis-1,3- Dicloropropeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Tolueno	5	nd	nd	nd	703	nd	170	-	-
Trans-1,3- Dicloropropeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
1,1,2-Tricloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	130	-
Tetracloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	40	-	-
Dibromoclorometano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,13
2-Hexanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	3500
4-Metil-2-pentanona	10	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Clorobenzeno	5	nd	nd	nd	nd	nd	120	-	-
Etilbenzeno	5	nd	nd	nd	7424	8411	200	-	-
Xilenos (Total)	5	nd	nd	nd	nd	nd	300	-	-
Estireno	5	nd	nd	nd	338	354	20	-	-
Bromofórmio	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	8,5
1,1,2,2- Tetracloroetano	5	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Cis+trans-1,2- dicloroetano	ni	nd	nd	nd	nd	nd		20	-

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 22 - Resultados analíticos de VOC na água subterrânea (µg/L)

Parâmetro	Limite de Quantificação	PM-34	PM-39	PM-40	Portaria 518	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Clorometano	5	nd	nd	nd	-	-	1500
Cloreto de vinila	2	nd	nd	nd	-	-	-
Bromometano	5	nd	nd	nd	-	-	870
Cloroetano	5	nd	nd	nd	-	-	4,6
1,1-dicloroetano	5	nd	nd	nd	30	-	-
Cloreto de Metileno	10	nd	nd	47	-	-	-
Acetona	10	nd	nd	nd	-	-	-
Dissulfeto de Carbono	5	nd	nd	nd	-	-	1000
Trans-1,2-dicloroetano	5	nd	nd	nd	-	-	-
1,1-Dicloroetano	0,3	nd	nd	nd	-	900	-
Cis-1,2-Dicloroetano	5	nd	nd	nd	-	-	-
Clorofórmio (Tricloro-metano)	5	nd	nd	nd	-	400	-
1,1,1-Tricloroetano	5	nd	nd	nd	-	-	-
Tetracloroeto de Carbo-no	2	nd	nd	nd	2	-	-
Benzeno	5	nd	nd	nd	5	-	-
1,2-Dicloroetano	5	nd	nd	nd	10	-	-
2-Butanona	10	nd	nd	nd	-	-	-
Tricloroetano	5	nd	nd	nd	70	-	-
1,2-Dicloropropano	5	nd	nd	nd	-	-	0,16
Bromodiclorometano	5	nd	nd	nd	-	-	0,18
Cis-1,3-Dicloropropeno	5	nd	nd	nd	-	-	-
Tolueno	5	nd	nd	nd	170	-	-
Trans-1,3-Dicloropropeno	5	nd	nd	nd	-	-	-
1,1,2-Tricloroetano	5	nd	nd	nd	-	130	-
Tetracloroetano	5	nd	nd	nd	40	-	-
Dibromoclorometano	5	nd	nd	nd	-	-	0,13
2-Hexanona	10	nd	nd	nd	-	-	3500
4-Metil-2-pentanona	10	nd	nd	nd	-	-	-
Clorobenzeno	5	nd	nd	nd	120	-	-
Etilbenzeno	5	nd	nd	nd	200	-	-
Xilenos (Total)	5	nd	nd	nd	300	-	-
Estireno	5	nd	nd	nd	20	-	-
Bromofórmio	5	nd	nd	nd	-	-	8,5
1,1,2,2-Tetracloroetano	5	nd	nd	nd	-	-	-
Cis+trans-1,2-dicloroetano	ni	nd	nd	nd	-	20	-

Fonte Cetesb (2001) a

Da observação das tabelas 15 a 22, nota-se que os VOC na água subterrânea foram encontrados em quantidades acima dos limites, nos poços: PM-19, com benzeno na concentração de 11 µg/L, PM-22 com etilbenzeno na concentração de 7474 µg/L e estireno na concentração de 3256 µg/L, PM-23 com cloreto de vinila na concentra-

ção de 15 µg/L, PM-24 com estireno na concentração de 79 µg/L, PM-32 com 703 µg/L de tolueno, 7424 µg/L de etilbenzeno e 338 µg/L de estireno e por último PM-33 Com 8411 µg/L de etilbenzeno e 354 µg/L de estireno. Estranhamente o branco do PM-40 mostrou a concentração de 47 µg/L de metileno, o que pode indicar a existência de contaminação na amostra.

Embora a quantidade de dados seja elevada e as normas tenham sido aparentemente seguidas à risca, a presumível contaminação da amostra do PM-40 coloca em dúvida a metodologia, ressalta-se, no entanto, que a suspeita refere-se a apenas um ponto. É de se esperar que com o cuidado e respeito às norma, observado no trabalho, este dado pontual não seja um impedimento com respeito ao levantamento da área toda.

Nas tabelas 23 a 30 são apresentados os resultados analíticos para PAH na água subterrânea em 2004.

Tabela 23 - Resultados analíticos de PAH na água subterrânea (µg/L)

Amostra	Limite de Quantificação	PM-01	PM-02	PM-03	PM-04	Portaria 518	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Parâmetro								
Naftaleno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	-
2-metilnaftaleno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	-
Acenaftileno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	370
Acenafteno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	370
Fluoreno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	240
Fenantreno	1,2	nd	nd	nd	nd		5	-
Antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		5	-
Fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		1	-
Pireno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	180
Benzo(a)antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,5	-
Criseno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,2	-
Benzo(b)fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	-
Benzo(k)fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	-
Benzo(a)pireno	1,2	nd	nd	nd	nd	0,7	-	-
Indeno(1,2,3-cd)pireno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	0,092
Dibenzo(a,h)antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	0.0092
Benzo(g,h,i)perileno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	-

Fonte Cetesb (2001) a nd não detectado – sem padrão de comparação

Tabela 24 - Resultados analíticos de PAH na água subterrânea (µg/L)

Amostra	Limite de Quantificação	PM-06	PM-09	PM-10	PM-13	Portaria 518	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Parâmetro								
Naftaleno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	-
2-metilnaftaleno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	-
Acenaftileno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	370
Acenafteno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	370
Fluoreno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	240
Fenantreno	1,2	nd	nd	nd	nd		5	-
Antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		5	-
Fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		1	-
Pireno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	180
Benzo(a)antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,5	-
Criseno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,2	-
Benzo(b)fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	-
Benzo(k)fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	-
Benzo(a)pireno	1,2	nd	nd	nd	nd	0,7	-	-
Indeno(1,2,3-cd)pireno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	0,092
Dibenzo(a,h)antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	0.0092
Benzo(g,h,i)perileno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	-

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 25 - Resultados analíticos de PAH na água subterrânea (µg/L)

Amostra	Limite	PM-15	PM-17	PM-18	PM-22	Portaria 518	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
	de Quantificação							
Parâmetro								
Naftaleno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	-
2-metilnaftaleno	1,2	nd	nd	1,8	nd		-	-
Acenaftileno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	370
Acenafteno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	370
Fluoreno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	240
Fenantreno	1,2	nd	nd	0,93	nd		5	-
Antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		5	-
Fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		1	-
Pireno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	180
Benzo(a)antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,5	-
Criseno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,2	-
Benzo(b)fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	-
Benzo(k)fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	-
Benzo(a)pireno	1,2	nd	nd	nd	nd	0,7	-	-
Indeno(1,2,3-cd)pireno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	0,092
Dibenzo(a,h)antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	0.0092
Benzo(g,h,i)perileno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	-

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação

Fonte Cetesb (2001)a

Tabela 26 - Resultados analíticos de PAH na água subterrânea (µg/L)

Amostra	Limite	PM-	PM-	PM-	PM-	Portaria	Padrão	EPA
Parâmetro	de Quantifica- ção	23	24	25B	26A	518	Holandês (I)	Região 9
Naftaleno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	-
2-metilnaftaleno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	-
Acenaftileno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	370
Acenafteno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	370
Fluoreno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	240
Fenantreno	1,2	nd	nd	nd	nd		5	-
Antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		5	-
Fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		1	-
Pireno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	180
Benzo(a)antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,5	-
Criseno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,2	-
Benzo(b)fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	-
Benzo(k)fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	-
Benzo(a)pireno	1,2	nd	nd	nd	nd	0,7	-	-
Indeno(1,2,3-cd)pireno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	0,092
Dibenzo(a,h)antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	0.0092
Benzo(g,h,i)perileno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	-

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 27 - Resultados analíticos de PAH na água subterrânea (µg/L)

Amostra	Limite	PM-	PM-	PM-	PM-	Portaria	Padrão	EPA
Parâmetro	de Quantificação	27A	27B	28A	28B	518	Holandês (I)	Região 9
Naftaleno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	-
2-metilnaftaleno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	-
Acenaftileno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	370
Acenafteno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	370
Fluoreno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	240
Fenantreno	1,2	nd	nd	nd	nd		5	-
Antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		5	-
Fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		1	-
Pireno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	180
Benzo(a)antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,5	-
Criseno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,2	-
Benzo(b)fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	-
Benzo(k)fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	-
Benzo(a)pireno	1,2	nd	nd	nd	nd	0,7	-	-
Indeno(1,2,3-cd)pireno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	0,092
Dibenzo(a,h)antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	0.0092
Benzo(g,h,i)perileno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	-

nd não detectado - sem padrão de comparação

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 28 - Resultados analíticos de PAH na água subterrânea (µg/L)

Amostra	Limite De Quantificação	PM-29A	PM-29B	PM-30A	PM-30B	Portaria 518	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Parâmetro								
Naftaleno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	-
2-metilnaftaleno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	-
Acenaftileno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	370
Acenafteno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	370
Fluoreno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	240
Fenantreno	1,2	nd	nd	nd	nd		5	-
Antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		5	-
Fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		1	-
Pireno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	180
Benzo(a)antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,5	-
Criseno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,2	-
Benzo(b)fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	-
Benzo(k)fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	-
Benzo(a)pireno	1,2	nd	nd	nd	nd	0,7	-	-
Indeno(1,2,3-cd)pireno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	0,092
Dibenzo(a,h)antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	0.0092
Benzo(g,h,i)perileno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	-

nd não detectado – sem padrão de comparação

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 29 - Resultados analíticos de PAH na água subterrânea (µg/L)

Amostra	Limite de Quantificação	PM-32	PM-33	PM-34	PM-35	Portaria 518	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Parâmetro								
Naftaleno	1,2	17,9	nd	nd	nd		-	-
2-metilnaftaleno	1,2	7,5	nd	nd	nd		-	-
Acenaftileno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	370
Acenafteno	1,2	4,3	nd	nd	nd		-	370
Fluoreno	1,2	1,4	nd	nd	nd		-	240
Fenantreno	1,2	nd	nd	nd	nd		5	-
Antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		5	-
Fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		1	-
Pireno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	180
Benzo(a)antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,5	-
Criseno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,2	-
Benzo(b)fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	-
Benzo(k)fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	-
Benzo(a)pireno	1,2	nd	nd	nd	nd	0,7	-	-
Indeno(1,2,3-cd)pireno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	0,092
Dibenzo(a,h)antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd		-	0.0092
Benzo(g,h,i)perileno	1,2	nd	nd	nd	nd		0,05	-

nd não detectado - sem padrão de comparação

Fonte Cetesb (2001)a

Tabela 30 - Resultados analíticos de PAH na água subterrânea (µg/L)

Amostra	Limite de	PM- 36	PM- 47	PM- 38	PM- 39	PM- 40	Portaria 518	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Parâmetro	Quantificação				Branco	Branco			
Naftaleno	1,2	nd	nd	nd	nd	nd		-	-
2-metilnaftaleno	1,2	nd	1,3	nd	nd	nd		-	-
Acenaftileno	1,2	nd	nd	nd	nd	nd		-	370
Acenafteno	1,2	nd	nd	nd	nd	nd		-	370
Fluoreno	1,2	nd	nd	nd	nd	nd		-	240
Fenantreno	1,2	nd	nd	nd	nd	nd		5	-
Antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd	nd		5	-
Fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd	nd		1	-
Pireno	1,2	nd	nd	nd	nd	nd		-	180
Benzo(a) antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd	nd		0,5	-
Criseno	1,2	nd	nd	nd	nd	nd		0,2	-
Benzo(b) fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd	nd		-	-
Benzo(k) fluoranteno	1,2	nd	nd	nd	nd	nd		0,05	-
Benzo(a)pireno	1,2	nd	nd	nd	nd	nd	0,7	-	-
Indeno(1,2,3-cd)pireno	1,2	nd	nd	nd	nd	nd		0,05	0,092
Dibenzo(a,h) antraceno	1,2	nd	nd	nd	nd	nd		-	0.0092
Benzo(g,h,i)perileno	1,2	nd	nd	nd	nd	nd		0,05	-

nd não detectado

Fonte Cetesb (2001)a

Em nenhum dos poços amostrados foi encontrada quantidade acima dos limites estabelecidos para PAH na água subterrânea. É importante observar no entanto, que o limite de quantificação de 1,2 µg/L é maior que o valor permitido pela Portaria 518 do Ministério da Saúde para o benzo(a)pireno, é também maior que os limites estabelecidos pelo padrão holandês para interferência para as seguintes substâncias: fluoranteno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(k)fluoranteno, indeno(1,2,3-cd)pireno e para o benzo(g,h,i)perileno e por último, é maior que os limites estabelecidos pelo EPA, região 9, para o indeno(1,2,3-cd)pireno e para o dibenzo(a,h)antraceno. Pode portanto, ter ocorrido, que um contaminante qualquer, dos citados anteriormente neste parágrafo, que não tenha sido detectado na análise, esteja presente na água subterrânea, com teores maiores do que os permitidos e conseqüentemente ocasionar riscos à saúde, desconsiderados devido à falsa segurança induzida pelos resultados obtidos. Os dados obtidos, embora numerosos, não são de boa qualidade e serão utilizados para efeito de ilustração do estudo de caso, porém com ressalvas.

Nas tabelas 31 e 32 são apresentados os resultados analíticos para a série nitrogenada na água subterrânea em 2004.

Tabela 31 - Resultados analíticos série nitrogenada na água subterrânea (mg/L)

Amostra	Limite de Quantificação	PM-02	PM-03	PM-32	PM-33	PM-34	PM-35	Cetesb	Portaria 518	Padrão Holandês (I)
Parâmetro										
Amônia	0,20	5,6	0,21	310	142	34,5	nd	-	1,5	-
Nitrato	0,30	nd	nd	nd	5,47	nd	nd	-	10	-
Nitrito	0,02	nd	nd	nd	3	nd	nd	-	0,01	-
Nitrogênio orgânico	0,40	1,8	0,91	50	26	5,5	nd	-	-	-
Nitrogênio total	0,40	7,4	1,12	360	168	40	nd	-	-	-

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 32 - Resultados analíticos série nitrogenada na água subterrânea (mg/L)

Amostra	Limite de Quantificação	PM-36	PM-37	PM-38	PM-39	PM-40	Cetesb	Portaria 518	Padrão Holandês (I)
Parâmetro					Branco	Branco			
Amônia	0,20	nd	nd	nd	nd	nd	-	1,5	-
Nitrato	0,30	nd	nd	nd	nd	nd	-	10	-
Nitrito	0,02	nd	nd	nd	nd	nd	-	0,01	-
Nitrogênio orgânico	0,40	nd	nd	nd	1,58	1,52	-	-	-
Nitrogênio total	0,40	nd	nd	nd	1,58	1,52	-	-	-

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação

Fonte Cetesb (2001) a

Foram anotados valores de amônia acima do estabelecido na Portaria 518, nos seguintes poços: PM-02, com 5,6 mg/L, PM-32, com 310 mg/L, PM-33 com 142 mg/L e adicionalmente com 3 mg/L de nitrito e PM-34 com 34,5 mg/L. Apesar de os compostos nitrogenados combinados com matéria orgânica não representarem grande ameaça, também com respeito a eles, ocorre a mesma situação de o limite de quantificação ser maior que o valor limite estabelecido pela Portaria 518 do Ministério da Saúde para potabilidade para o caso do nitrito. Os dados serão utilizados, porém com ressalvas.

Na tabela 33 são apresentados os resultados analíticos para PCB na água subterrânea em 2004.

Tabela 33 - Resultados analíticos de PCB na água subterrânea (µg/L)

Amostra Parâmetro	Limite de Quanti- ficação	PM- 22	PM- 35	PM- 36	PM- 37	PM- 38	Cetesb	Portaria 518	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Araclor - 1016	0,015	Nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	0,96
Araclor - 1221	0,030	Nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	0,034
Araclor - 1232	0,015	Nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	0,034
Araclor - 1242	0,015	Nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	0,034
Araclor - 1248	0,015	Nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	0,034
Araclor - 1254	0,015	23	nd	nd	nd	233	-	-	-	0,034
Araclor - 1260	0,016	22	nd	nd	nd	233	-	-	-	0,034

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação

Fonte Cetesb (2001)a

Araclor-1254 foi encontrado nos poços PM-22 e PM-38, respectivamente nas concentrações de 23 µg/L e 233 µg/L e o Araclor-1260, nos mesmos poços, respectivamente nas concentrações de 22 µg/L e 233 µg/L, muito acima dos limites indicados pelo EPA região 9, que são de 0,034 µg/L para cada um dos compostos. Os dados foram levantados com obediência às normas, são de boa qualidade e caracterizam bem a contaminação da área, para estes compostos de grande potencial tóxico.

Na tabela 34 é apresentada a série temporal para VOC na água subterrânea entre 2001 e 2004.

Tabela 34 - Série temporal VOC entre 2001 e 2004 - água subterrânea - (µg/L)

Parâmetro	Benzeno				Tolueno				Etilbenzeno				Estireno				Xilenos			
Ano	2001	Jan /03	Ago /03	2004	2001	Jan /03	Ago /03	2004	2001	Jan /03	Ago /03	2004	2001	Jan /03	Ago /03	2004	2001	Jan /03	Ago /03	2004
Local																				
PM-01	-	-	nd	nd	-	-	nd	nd	-	-	nd	nd	-	-	nd	nd	-	-	6	nd
PM-18	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	51	16	26	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
PM-19	nd	-	-	11	nd	-	-	nd	nd	-	-	nd	14	-	-	nd	nd	-	-	nd
PM-22	nd	nd	nd	nd	65	110	nd	28	8400	9000	2297	7474	4100	7200	86	3256	nd	nd	nd	nd
PM-23	nd	-	-	nd	nd	-	-	nd	nd	-	-	nd	nd	-	-	nd	nd	-	-	nd
PM-24	nd	-	nd	nd	nd	-	7	23	nd	-	31	106	nd	-	5	79	nd	-	nd	nd
PM-32	-	nd	-	nd	-	nd	-	703	-	nd	-	7424	-	nd	-	338	-	nd	-	nd
PM-33	-	nd	-	nd	-	nd	-	nd	-	4000	-	8411	-	1300	-	354	-	nd	-	nd
PM-34	-	nd	-	nd	-	nd	-	nd	-	450	-	nd	-	nd	-	nd	-	nd	-	Nd
Limite de quantificação		5				5				5				5				5		
Portaria 519		5				170				200				20				300		

PM-32 a 34 foram instalados em janeiro de 2003

Fonte Cetesb (2001) a

Na série temporal para BTEX e estireno, de 2001 a 2004 há uma tendência aparente, não bem definida, de diminuição das concentrações de etilbenzeno no ponto PM-22, mas nota-se também que houve um acréscimo da concentração no poço PM-33. Para o estireno houve um decréscimo no poço PM-22, sem muita consistência, dado o acréscimo verificado entre agosto de 2003 e 2004, o mesmo ocorreu com o estireno no poço PM-33. É importante comentar que a série temporal não mostra, tendência de forma estável na diminuição das concentrações, dadas as variações de um para outro resultado intermediário.

Em 2001 foram feitas prospecções para determinação de metais, BTEX, estireno e PAH no solo onde existiram as lagoas. Na tabela 35 são apresentados os resultados das concentrações de BTEX, estireno e PAH, em 2001.

Tabela 35 - Resultados analíticos para metais, BTEX, estireno e PAH no solo das lagoas em 2001 (mg/kg)

Local/ Amostra	Cr	Cu	Pb	Hg	Zn	Benze- no	Etilbenze- no	Tolue- no	Xile- nos	Estire- no	PA H
SB07/08/09 topo 1,0m	na	na	na	na	na	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SB07/08/08 meio 2,0m	29	nd	nd	nd	122	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SB07/08/09 base 4-5m	na	na	na	na	na	nd	nd	0,017	nd	nd	nd
SB01/02/03 topo 1,0m	149	nd	nd	nd	86	nd	nd	15,80	nd	na	nd
SB01/02/03 meio	na	na	na	na	na	nd	nd	nd	nd	na	na
SB01/02/03 base	na	na	na	na	na	nd	nd	8,60	nd	na	nd
SB04/05/06 topo 1,0m	na	na	na	na	na	nd	nd	3,69	nd	nd	nd
SB04/05/06 meio3-4,0m	na	na	na	na	na	nd	nd	nd	nd	nd	na
SB04/05/06 base 4-5,5m	na	na	na	na	na	nd	nd	nd	nd	nd	na
SB58/59/60	56	25	nd	nd	105	nd	nd	0,312	nd	na	nd
SB61/62/63	64	23	nd	nd	77	nd	nd	nd	nd	na	nd
Lagoa 4A	240 0	350	507	15	4200	nd	nd	nd	nd	na	nd
Lagoa 4B	na	na	na	na	na	nd	nd	nd	nd	na	na
Lagoa 5A	150 0	161	909	4,3	4600	nd	nd	nd	nd	na	na
Lagoa 5B	na	na	na	na	na	nd	nd	nd	nd	na	nd
Limite de quantificação	1,5	1,7	0,6	0,0 9	2,5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,0 3
NBR 10004	500 0	500 0	200 0	40	1000 0						
CETESB VI *	300	400	300	36	1000	0,08	40	30	30	35	
Padrão holandês **	380	174	499	9,7	681	500	650	25,0	12,50	50,0	

Fonte Cetesb (2001) a. * VI para o solo. ** valor para o solo. Na não analisado. Nd não detectado

Nesta tabela pode-se perceber a existência de níveis elevados de metais nas lagoas, especialmente com respeito ao cromo que ultrapassa o limite da Cetesb, e ao zinco, que ultrapassa os limites do padrão holandês sem, no entanto, deixar de observar que os valores para cromo, cobre, chumbo, mercúrio e zinco estão altos e chegam a ultrapassar os limites da lista holandesa. O chumbo em dois pontos do local ultrapassa o valor indicado pela Cetesb. Chamou a atenção a existência de tolueno na superfície do solo, provavelmente oriundos de matéria prima manipulada no passado para produção de resinas. Os dados apresentam-se com qualidade, são suficientes e foram respeitadas as normas que regulamentam para sua obtenção.

Na tabela 36 são apresentados os resultados analíticos de metais e nitrogênio no solo em 2001.

Tabela 36 - Resultados analíticos de metais e nitrogênio no solo em 2001 (mg/kg)

Local	Cr	Cu	Pb	Hg	N _{total}
SB-56/1,5m	41	22	nd	nd	na
SB-54/2,0m	54	27	nd	nd	na
SD-67/2,0m	na	na	na	na	344
SD-68/1,0m	na	na	na	na	350
SD-69/2,0m	na	na	na	na	407
PM-212,0m	na	na	na	na	628
PM-22/1,0m	na	na	na	na	500
PM-25A/3,0m	34	21	nd	nd	217
PM-26B/8,1m	40	32	nd	nd	940
PM-26B/3,0m	42	20	nd	nd	262
PM-28B/3,0m	32	15	nd	nd	100
PM-30B/4,0m	45	23	nd	nd	na
PM-30B/8,0m	37	16	nd	nd	na
Limite de Quantificação	1,5	1,7	0,6	0,09	20
Cetesb (Residencial)	300	400	300	36	-
Padrão holandês I	380	174	499	9,7	-

Valores de I (2001) calculados para 20% de argila e 5% de matéria orgânica.

Na – não analisado, nd – não detectado, (-) sem parâmetro para comparação.

PAH – Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.

Fonte Cetesb (2001) a

Nos pontos de amostragem constantes desta tabela existem valores detectáveis de cromo e cobre, mas abaixo dos limites tanto da Cetesb, quanto da lista holandesa. Embora os dados apresentados sejam de qualidade, tenham sido respeitadas as normas que regulamentam sua obtenção, o número deles é pequeno, além de não terem sido analisados os demais metais encontrados em outras campanhas e demais metais usualmente analisados em áreas industriais contaminadas. Outro ponto importante é que nesta campanha foi feita a cobertura de uma área pequena.

Na tabela 37 são apresentados os resultados das análises de BTEX, estireno, PAH, e PCB no solo em 2001

Tabela 37 - Resultados das análises de BTEX, estireno, PAH, PCB no solo em 2001 (mg/kg)

Local	Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	Xilenos	Estireno	PAH	PCB
SB12/2,0m	na	na	na	na	na	nd	nd
SB16/1.0m	nd	nd	nd	nd	na	nd	na
SB18/1.5m	nd	nd	nd	nd	na	nd	na
SB20/2.0m	nd	nd	nd	nd	na	nd	na
SB25/1.5m	na	na	na	na	na	na	nd
SB31/1.5m	nd	nd	nd	nd	na	nd	na
SB33/1.5m	na	na	na	na	na	na	nd
SB34/1.0m	na	na	na	na	na	na	nd
SB37/1.0m	na	na	na	na	na	na	nd
SB38/1.0m	na	na	na	na	na	na	nd
SB40/1.0m	na	na	na	na	na	na	nd
SB35/1.0m	nd	nd	nd	nd	nd	na	na
SB41/1.0m	na	na	na	na	na	nd	na
SB42/1.0m	na	na	na	na	na	nd	na
SB43/1.5m	na	na	na	na	nd	na	nd
SB44/0.85m	na	na	na	na	nd	na	nd
SB46/1.5m	nd	nd	0.021	nd	nd	na	nd
SB47/1.5m	na	na	na	na	nd	na	na
SB48/0.5m	na	na	na	na	nd	na	na
SB49/1.5m	nd	nd	nd	nd	nd	na	na
SB56/1.5m	nd	nd	nd	nd	na	na	na
SB57/1.0m	nd	nd		nd	na	na	na
SB54/2.0m	nd	nd	nd	nd	na	nd	na
SD67/2.0m	nd	nd	nd	nd	18	na	na
SD68/1.0m	nd	nd	nd	nd	nd	na	na
SD69/2.0m	nd	nd	nd	nd	nd	na	na
PM-21/2.0m	nd	nd	nd	nd	nd	na	na
PM-22/1,0m	nd	nd	nd	nd	nd	na	na
Limite de quantificação	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	15*
Cetesb (Re- sidencial)	0,08	30	40	30	35	-	-
Padrão ho- landês I	0,500	0,650	25,000	12,500	50,00	-	-

Fonte Cetesb (2001) a

Para as amostras consideradas nesta análise foi detectado apenas o etilbenzeno em um ponto, em concentração inferior ao padrão holandês. Os dados obtidos apresentaram-se com qualidade, foram obedecidas as normas, o número de dados pode ser considerado adequado, assim como a cobertura para as diferentes profundidades do solo, são portanto dados representativos.

Nas tabelas 38 a 45 são apresentados os resultados analíticos para metais no solo em 2004.

Tabela 38 - Resultados analíticos para metais em amostras coletadas em 2004 (mg/kg)

Parâmetros analisados	Limite de Quantificação	SB-69 (0,59m)	SB-70 (1,0m)	SB-73 (2,5m)	SB-75 (0,5m)	SB-76 (0,5m)	SB-78 (0,5m)	Cetesb Residencial
Chumbo	0,50	13	13,3	8,73	11,5	283	155	300
Cobre	1,50	31,4	33,3	24,3	28,2	18,8	16,7	400
Cromo	1,50	44	47,8	33,1	39,5	36,2	42	300
Mercúrio	0,32	nd	nd	nd	nd	nd	nd	36
Zinco	2,50	68,8	76,8	62	65,7	79,5	61,1	1000

nd não detectado

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 39 - Resultados analíticos para metais em amostras coletadas em 2004 (mg/kg)

Parâmetros analisados	Limite de Quantificação	SB-81 (1,0m)	SB-85 (1,0m)	SB-86 (0,5m)	SB-88 (0,5m)	SB-90 (2,0m)	SB-102 (1,0m)	Cetesb Residencial
Chumbo	0,50	14,5	17	34,6	21,8	13,2	25,8	300
Cobre	1,50	29,7	29,5	13,2	31,5	28,3	22	400
Cromo	1,50	44,6	41,2	94,1	46,9	44,2	40,8	300
Mercúrio	0,32	nd	nd	nd	nd	nd	nd	36
Zinco	2,50	76	82,8	153	94	70	60,9	1000

nd não detectado

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 40 - Resultados analíticos para metais amostras de solo coletadas em 2004 (mg/kg)

Parâmetros analisados	Limite de Quantificação	SB-103 (1,0m)	SB-105 (1,5m)	SB-112 (2,0m)	SB-113 (1,5m)	SB-115 (1,0m)	SB-116 (0,5m)	Cetesb Residencial
Chumbo	0,50	26,3	31	13,2	60,0	21,4	176	300
Cobre	1,50	38,4	20,9	35,2	21,6	6,73	25,4	400
Cromo	1,50	116	228	44,5	45,4	47,1	51,6	300
Mercúrio	0,32	nd	nd	nd	nd	nd	0,51	36
Zinco	2,50	103	44,1	70,5	63,4	11,4	147	1000

nd não detectado

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 41 - Resultados analíticos para metais amostras de solo coletadas em 2004 (mg/kg)

Parâmetros analisados	Limite de Quantificação	SB-120 (1,0m)	SB-121 (1,0m)	SB-22^a (1,0m)	SB-127 (1,0m)	SB-128	SB-129	Cetesb Residencial
Chumbo	0,50	50,4	85,9	14,9	16	1304	232	300
Cobre	1,50	10,3	245	26	24,1	207	70,4	400
Cromo	1,50	28,5	44,5	37,2	37	2598	296	300
Mercúrio	0,32	nd	nd	nd	nd	14,3	4,61	36
Zinco	2,50	27,2	293	52,8	63,9	3916	1255	1000

nd não detectado

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 42 - Resultados analíticos para metais amostras de solo coletadas em 2004 (mg/kg)

Parâmetros analisados	Limite de Quantificação	SB-130 (1,0m)	SB-131 (1,0m)	SB-132 (1,0m)	SB-133 (1,0m)	SB-134	SB-135	Cetesb Residencial
Chumbo	0,50	296	603	509	666	487	479	300
Cobre	1,50	196	415	263	435	169	137	400
Cromo	1,50	2060	3135	1808	3098	727	1044	300
Mercúrio	0,32	39,9	115	81,2	172	11,9	8,89	36
Zinco	2,50	4193	6257	3663	5119	2570	2499	1000

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 43 - Resultados analíticos para metais amostras de solo coletadas em 2004 (mg/kg)

Parâmetros analisados	Limite de Quantificação	SB-136 (1,0m)	SB-136 (2,0m)	SB-137 (1,0m)	SB-137 (2,0m)	SB-138 (1,0m)	SB-138 (2,5m)	Cetesb Residencial
Chumbo	0,50	19,7	14,2	5,85	21,2	96,2	48,9	300
Cobre	1,50	48,9	43,4	15,3	28	90,7	59,1	400
Cromo	1,50	74,6	34,1	9,76	95,2	795	161	300
Mercúrio	0,32	4,5	nd	nd	2,05	11,7	nd	36
Zinco	2,50	59,5	166	117	97,5	82	190	1000

nd não detectado

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 44 - Resultados analíticos para metais amostras de solo coletadas em 2004 (mg/kg)

Parâmetros analisados	Limite de Quantificação	SB-139 (1,0m)	SB-139 (2,5m)	SB-140 (1,0m)	SB-141 (1,0m)	SB-141 (2,0m)	SB-142	Cetesb Residencial
Chumbo	0,50	27,1	43,7	20,3	6,05	23,9	52,2	300
Cobre	1,50	38,3	78,2	51,6	18,8	38,3	49,3	400
Cromo	1,50	221	113	44,5	19,4	106	438	300
Mercúrio	0,32	nd	nd	nd	nd	3,37	10,6	36
Zinco	2,50	47,9	952	71,2	252	184	177	1000

nd não detectado

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 45 - Resultados analíticos para metais amostras de solo coletadas em 2004 (mg/kg)

Parâmetros analisados	Limite de Quantificação	SB-143	SB-144	SB-145	SB-146	SB-147	Cetesb Residencial
Chumbo	0,50	60,0	37,6	48,4	64,3	95,3	300
Cobre	1,50	43,0	60,6	53,3	61,1	59,6	400
Cromo	1,50	412	363	417	473	572	300
Mercúrio	0,32	9,44	14,8	16,8	17,7	17,8	36
Zinco	2,50	235	164	157	265	382	1000

Fonte Cetesb (2001) a

O mercúrio está bastante presente nas lagoas 4A e 4B, de tratamento de efluentes, com valores que ultrapassam muito o limite de intervenção da Cetesb, que é relativamente alto. Os demais metais também aparecem de forma constante em todas as amostras e particularmente nos locais onde outrora existiram lagoas nos quais, chumbo, cromo e zinco ultrapassam, em alguns casos, os limites de intervenção da Cetesb. Em especial a área de uma antiga lagoa apresenta valores mais elevados, para estes metais, possivelmente por que quando em atividade recebia efluentes das plantas de formol, das caldeiras, do “spray dry”, das resinas e das lagoas. Os dados são bons e representativos do local.

Na tabela 46 são apresentados os resultados analíticos para VOC no solo em amostras coletadas em 2004.

Tabela 46 - Resultados analíticos de VOC em amostras de solo coletadas em 2004 (mg/kg)

Amostra	SB-127 (1,0m)	SB-128 (1,0m)	SB-129	SB-130	SB-131	SB-132	Cetesb Resi- dencial	Padrão Holan- dês (l)	EPA Região 9
Parâmetros									
Clorometano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,6
Cloreto de vinila	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,2	-	-
Bromometano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	13
Cloroetano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	6,5
1,1-dicloroetano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	0,15	-
Cloreto de metileno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	21
Acetona	0,039	nd	nd	0,204	0,667	0,821	-	-	6000
Dissulfeto de Car- bono	0,008	nd	nd	0,049	0,139	0,305	-	-	720
Trans-1,2- dicloroetano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
1,1-Dicloroetano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	7,5	-
Cis-1,2-Dicloroetano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Clorofórmio (Triclorometano)	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	12
1,1,1-Tricloroetano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	20	-	-
Tetracloroeto de Carbono	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,55
Benzeno	nd	nd	nd	nd	nd	0,053	1,5	-	-
1,2-Dicloroetano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1	-	-
2-Butanona	nd	nd	nd	nd	0,153	0,168	-	-	-
Tricloroetano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	30	-	-
1,2-Dicloropropano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,74
Bromodiclorometano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	1,8
Cis-1,3- Dicloropropeno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Tolueno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	40	-	-
Trans-1,3- Dicloropropeno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
1,1,2-Tricloroetano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	5	-
Tetracloroetano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	10	-	-
Dibromoclorometano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,6
2-Hexanona	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
4-Metil-2-pentanona	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Clorobenzeno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	530
Etilbenzeno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	25	-
Xilenos (Total)	nd	nd	nd	nd	nd	0,074	6	-	-
Estireno	nd	nd	nd	nd	nd	nd	35	-	-
Bromofórmio	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	220
1,1,2,2- Tetracloroetano	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,93

nd = não detectado, (-) sem padrão para comparação

Fonte Cetesb (2001 a)

Os limites de quantificação para as substâncias desta tabela apresentaram inconsistências com valores declarados em outras.

Os VOC, nas amostras acima apresentaram valores bastante baixos de concentração e não representam causa de preocupação primeira. Além dos resultados mostrados na tabela 48, apenas a amostra SB-138, a 1,0 m, na lagoa 2, mostrou a existência de etilbenzeno na concentração de 0,278 mg/kg de solo e a amostra SB-140, a 2,0 m, na lagoa, que apresentou a concentração de 0,278 mg/kg de etilbenzeno. Para os demais compostos e demais amostras as quantidades foram sempre nd – não detectada. Os dados apresentam alguns problemas, principalmente com respeito aos limites de quantificação, que apresentaram inconsistência com valores mostrados em tabelas anteriores, pelo que foram suprimidos desta. Os dados, no entanto, foram utilizados e merecem ressalvas.

Nas tabelas 47 a 53 são apresentados os resultados analíticos para PAH em amostras de solo coletadas em 2004.

Tabela 47 - Resultados analíticos de PAH para solo (mg/kg)

Amostra	Limite de Quantificação	SB-69 (0,5m)	SB-70 (1,0m)	SB-73 (2,5m)	SB-75 (0,5m)	SB-76 (0,5m)	SB-78 (0,5m)	CETESB Residencial	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Parâmetro										
Naftaleno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	60	-	-
2-metilnaftaleno	0,162	nd	nd	nd	nd	2,530*	nd	-	-	-
Acenaftileno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Acenafteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	29000
Fluoreno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	26000
Fenantreno	0,162	nd	nd	nd	nd	4,032*	nd	-	-	-
Antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	100000
Fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	22000
Pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	29000
Benzo(a)antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Criseno	0,162	nd	nd	nd	nd	6,126	nd	-	-	210
Benzo(b)fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Benzo(k)fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	21
Benzo(a)pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,21
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Dibenzo(a,h)antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,21
Benzo(g,h,i)perileno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação, (*) estimado

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 48 - Resultados analíticos de PAH para solo (mg/kg)

Amostra	Limite de Quantificação	SB-81 (1,0m)	SB-85 (1,0m)	SB-86 (0,5m)	SB-88 (0,5m)	SB-90 (2,0m)	SB-102 (1,0m)	CETESB Residencial	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Parâmetro										
Naftaleno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	60	-	-
2-metilnaftaleno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Acenaftileno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd		-	
Acenafteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	29000
Fluoreno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	26000
Fenantreno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	100000
Fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	22000
Pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	29000
Benzo(a)antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Criseno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	210
Benzo(b)fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Benzo(k)fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	21
Benzo(a)pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,21
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Dibenzo(a,h)antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,21
Benzo(g,h,i)perileno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação, (*) estimado

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 49 - Resultados analíticos de PAH para solo (mg/kg)

Amostra	Limite de Quantificação	SB-127 (1,0m)	SB-128	SB-129	SB-129	SB-130	SB-131	Cetesb Residencial	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Parâmetro										
Naftaleno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	60	-	-
2-metilnaftaleno	0,162	nd	nd	nd	nd	0,645*	nd	-	-	-
Acenaftileno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Acenafteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	29000
Fluoreno	0,162	nd	nd	nd	nd	0,651*	nd	-	-	26000
Fenantreno	0,162	nd	nd	nd	nd	3,514	1,141	-	-	-
Antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	100000
Fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	2,155	nd	-	-	22000
Pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	7,269	3,273	-	-	29000
Benzo(a)antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Criseno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	210
Benzo(b)fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Benzo(k)fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	21
Benzo(a)pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	0,853	nd	-	-	0,21
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Dibenzo(a,h)antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,21
Benzo(g,h,i)perileno	0,162	nd	nd	nd	nd	0,798*	nd	-	-	-

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação, (*) estimado

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 50 - Resultados analíticos de PAH para solo (mg/kg)

Amostra	Limite de Quantificação	SB-132	SB-133	SB-134	SB-135	SB-136 (1,0m)	SB-136 (2,0m)	Cetesb Residencial	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Parâmetro										
Naftaleno	0,162	1,673	nd	nd	nd	1,496	1,753	60	-	-
2-metilnaftaleno	0,162	nd	nd	nd	nd	0,537	nd	-	-	-
Acenaftileno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd		-	
Acenafteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	29000
Fluoreno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	26000
Fenantreno	0,162	1	1,191	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	100000
Fluoranteno	0,162	0,701*	0,852	nd	nd	nd	nd	-	-	22000
Pireno	0,162	nd	3,944	nd	nd	nd	nd	-	-	29000
Benzo(a)antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Criseno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	210
Benzo(b)fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Benzo(k)fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	21
Benzo(a)pireno	0,162	nd	0,913	nd	nd	nd	nd	-	-	0,21
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Dibenzo(a,h)antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,21
Benzo(g,h,i)perileno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação, (*) estimado

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 51 - Resultados analíticos de PAH para solo (mg/kg)

Amostra	Limite de Quantificação	SB-137 (1,0m)	SB-137 (2,0m)	SB-138 (1,0m)	SB-138 (2,0m)	SB-139 (1,0m)	SB-139 (2,5m)	Cetesb Residencial	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Parâmetro										
Naftaleno	0,162	0,441*	1,1	1,576	3,088	0,451*	1,753	60	-	-
2-metilnaftaleno	0,162	nd	0,396*	1,319	0,6*	nd	0,318*	-	-	-
Acenaftileno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Acenafteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	29000
Fluoreno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	26000
Fenantreno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	100000
Fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	22000
Pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	29000
Benzo(a)antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Criseno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	210
Benzo(b)fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Benzo(k)fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	21
Benzo(a)pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,21
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Dibenzo(a,h)antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,21
Benzo(g,h,i)perileno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação, (*) estimado

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 52 - Resultados analíticos de PAH para solo (mg/kg)

Amostra	Limite de Quantificação	SB-140 (1,0m)	SB-140 (2,0m)	SB-141 (1,0m)	SB-141 (2,0m)	SB-142	Cetesb Residencial	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Parâmetro									
Naftaleno	0,162	0,556*	0,586	nd	0,865	1,363	60	-	-
2-metilnaftaleno	0,162	nd	0,234*	nd	nd	0,858	-	-	-
Acenaftileno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Acenafteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	29000
Fluoreno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	26000
Fenantreno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	100000
Fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	22000
Pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	29000
Benzo(a)antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Criseno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	210
Benzo(b)fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Benzo(k)fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	21
Benzo(a)pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,21
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Dibenzo(a,h)antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,21
Benzo(g,h,i)perileno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação, (*) estimado

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 53- Resultados analíticos de PAH para solo (mg/kg)

Amostra	Limite de Quantificação	SB-143	SB-144	SB-145	SB-146	SB-147	CETESB Residencial	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Parâmetro									
Naftaleno	0,162	2,170	1,862	1,974	4,587	4,601	60	-	-
2-metilnaftaleno	0,162	1,613	1,191	1,507	5,099	4,096	-	-	-
Acenaftileno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd		-	
Acenafteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	29000
Fluoreno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	26000
Fenantreno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-
Antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	100000
Fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	22000
Pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	29000
Benzo(a)antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Criseno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	210
Benzo(b)fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Benzo(k)fluoranteno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	21
Benzo(a)pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,21
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	2,1
Dibenzo(a,h)antraceno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	0,21
Benzo(g,h,i)perileno	0,162	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação, (*) estimado

Fonte Cetesb (2001) a

No ponto SB-130, na lagoa, foi detectado o teor de 0,853 mg/kg de benzo(a)pireno. Nenhum outro composto ou amostra teve resultado digno de nota. Os dados utilizados apresentam-se bons, foram obedecidas as normas regulamentadoras e são representativos do local.

Nas tabelas 54 e 55 são apresentados os resultados analíticos para a série nitrogenada em amostras de solo coletadas em 2004.

Tabela 54 - Resultados analíticos série nitrogenada para solo (mg/kg)

Amostra	Limite de Quantificação	SB-103 (1,0m)	SB-105 (1,5m)	SB-108 (1,0m)	SB-112 (2,0m)	SB-113 (1,5m)	SB-115 (1,0m)	Cetesb Industrial	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Parâmetro										
Nitrogênio amoniacal	3	539	53,5	153	972	137	1460	-	-	-
Nitrato	4	nd	nd	7,18	354	6,53	6,22	-	-	-
Nitrito	0,3	nd	nd	nd	0,38	0,52	nd	-	-	-
Nitrogênio Kjeldahl	25	1794	253	283	2918	358	3969	-	-	-
Nitrogênio orgânico	25	1255	200	130	1946	221	2509	-	-	-

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação, (*) estimado

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 55- Resultados analíticos série nitrogenada para solo (mg/kg)

Amostra	Limite de Quantificação	SB-116 (0,5m)	SB-120 (1,0m)	SB-121 (1,0m)	SB-122 ^a (1,5m)	SB-127 (1,0m)	Cetesb Industrial	Padrão Holandês (I)	EPA Região 9
Parâmetro									
Nitrogênio amoniacal	3	575	716	725	14,3	52,5	-	-	-
Nitrato	4	4,78	nd	nd	nd	6,55	-	-	-
Nitrito	0,3	-	nd	nd	nd	-	-	-	-
Nitrogênio Kjeldahl	25	575	1890	2501	88,7	133	-	-	-
Nitrogênio orgânico	25	nd	1174	1776	74,4	80,5	-	-	-

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação, (*) estimado

Fonte Cetesb (2001) a

Não foram encontrados valores elevados de nitrito e nitrato, como se pode verificar nas tabelas 54 e 55. Os valores de nitrogênio Kjeldahl e orgânico apresentam-se altos. Os dados apresentam-se bons, representativos e foram obedecidas as normas regulamentadoras.

Na tabela 56 são apresentados os resultados analíticos para PCB em amostras de solo coletadas em 2004.

Tabela 56 - Resultados analíticos de PCB para solo (mg/kg)

Amostra	Limite de quantificação	SB-93 (0,2m)	SB-94 (0,7m)	SB-96 (0,5m)	SB-99 (0,4m)	SB-100 (0,4m)	Cetesb	EPA Região 9
Parâmetro								
Araclor - 1016	ni	nd	nd	nd	nd	nd	-	21
Araclor - 1221	ni	nd	nd	nd	nd	nd	-	74
Araclor - 1232	ni	nd	nd	nd	nd	nd	-	0,74
Araclor - 1242	ni	nd	nd	nd	nd	nd	-	0,74
Araclor - 1248	ni	nd	nd	nd	nd	nd	-	0,74
Araclor - 1254	ni	nd	nd	nd	nd	nd	-	0,74
Araclor - 1260	ni	nd	nd	0,11	nd	nd	-	0,74

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação, (*) estimado, ni não informado

Fonte Cetesb (2001) a

Não foram encontrados resultados de PCB importantes, no solo. Os dados apresentados são de qualidade, as normas foram obedecidas e o resultado é representativo da área em questão. Não existem padrões da lista holandesa neste caso.

Nas tabelas 57 e 58 são apresentados os resultados analíticos para BTEX e estireno em amostras de solo coletadas em 2004.

Tabela 57 - Resultados analíticos de BTEX e estireno para solo (µg/kg)

Amostra Parâmetro	Limite de Quantificação	SB-69 (0,5m)	SB-73 (2,5m)	SB-75 (0,5m)	SB-78 (0,5m)	SB-88 (0,5m)	SB-90 (2,0m)	SB-102 (1,0m)	Cetesb Industrial	Padrão Holandês (I)
Benzeno	ni	nd	0,011	nd	nd	nd	nd	nd	1,5	-
Tolueno	ni	nd	0,001*	nd	nd	nd	nd	nd	40	-
Etilbenzeno	ni	nd	0,007	nd	nd	nd	nd	nd	-	25
Xilenos (totais)	ni	nd	0,002*	nd	nd	nd	nd	nd	6	-
Estireno	ni	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	35	-
Fenol	ni	na	na	na	na	nd	nd	na	10	-

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação, na não analisado, ni não informado. * avaliado.

Fonte Cetesb (2001) a

Tabela 58 - Resultados analíticos de BTEX e estireno para solo (µg/kg)

Amostra Parâmetro	Limite de Quantificação	SB-103 (1,0m)	SB-105 (1,5m)	SB-112 (2,0m)	SB-120 (1,0m)	SB-121 (1,0m)	SB-128 (1,0m)	Cetesb Residencial	Padrão Holandês (I)
Benzeno	ni	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,5	-
Tolueno	ni	nd	nd	nd	nd	nd	nd	40	-
Etilbenzeno	ni	nd	nd	nd	nd	0,001*	nd	-	25
Xilenos (totais)	ni	nd	nd	nd	nd	nd	nd	6	-
Estireno	ni	nd	nd	nd	nd	0,001*	nd	35	-
Fenol	ni	nd	nd	na	na	na	nd	10	-

nd não detectado, (-) sem padrão de comparação, na não analisado, ni não informado (*) avaliado

Fonte Cetesb (2001) a

Não foram encontrados valores elevados para BTEX e estireno, nestas amostras de solo, em termos significativos. Não foram indicados os limites de quantificação, o que torna os dados menos valiosos.

5.2 TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO UTILIZADAS

A remediação das áreas contaminadas foi executada pela simples remoção do material, sedimentos e solo contaminados. A remoção, mesmo que elimine a presença do poluente, o que nem sempre é o caso, não resolve o problema da contaminação, apenas o transfere, em especial neste caso, em que metais estavam presentes. O solo retirado precisa sofrer um novo tratamento adequado. Neste caso, o tratamento utilizado foi a incineração, levada a efeito em outro estado da federação. Ainda assim o tratamento aplicado não foi o final. Por existirem substâncias não degradáveis por incineração, os metais, resultou na formação de resíduos, que foram destinados a aterro industrial de resíduos perigosos. A melhor solução ambiental para este tipo de resíduos, teria sido o reúso ao invés de sacrificar uma outra área para depositá-lo. Com o mesmo propósito, Alem Sobrinho (2000) fez um estudo no qual concluiu que seria possível reclassificar lamas de galvanoplastia, que continham metais, como os encontrados neste terreno, pelo encapsulamento dos resíduos com cimento e reutilizá-los.

As quantidades de resíduos tratados para descontaminação do terreno da empresa A foram distribuídas ao longo de três anos, de 2003 a 2005 segundo as seguintes parcelas:

- Sedimentos das lagoas em quantidade de 400 t/ano, enviados a forno industrial cujas cinzas foram encaminhadas a aterro industrial,
- Resíduos sólidos pastosos, em quantidade de 200 t/ano, enviados a forno industrial, correspondentes aos 636 tambores encontrados enterrados,
- Óleos, graxas, impurezas e umidade, em quantidade de 100 t/ano, enviados a forno industrial,

- Resíduos pastosos com resina e óleo de áreas degradadas, em quantidade de 200 t/ano, enviados a forno industrial,
- Sacaria impregnada com terra e resina, resultante da limpeza de áreas degradadas, em quantidade de 100 t/ano, enviada a forno industrial,
- Mistura de borras e resinas da limpeza de áreas degradadas, em quantidade de 600 t/ano, enviada forno industrial,
- Solo contaminado, em quantidade de 4000 t/ano, que devido a suas características de contaminação foi enviado diretamente a aterro industrial,
- Solo contaminado, em quantidade de 3000 t/ano, enviado a forno industrial, cujas cinzas foram encaminhadas a aterro industrial,
- Solo contaminado, em quantidade de 6000 t/ano, enviado a forno industrial, cujas cinzas foram encaminhadas a aterro industrial.

Estes resíduos somados atingiram a quantidade de 14600 t/ano, que computados durante os três anos de remoção, resultaram em 43800 t, retiradas de uma área total de 103908,5 m² de terreno.

5.3 RESUMO DAS CONCENTRAÇÕES MAIS PREOCUPANTES DO ESTUDO DE CASO

Nas tabelas 59 a 61, é mostrado o resumo das concentrações mais preocupantes encontradas no programa de amostragem feito na área contaminada em estudo e correspondentemente nas figuras, a seguir às tabelas: a de número 4, onde é apresentado o resumo dos dados para a contaminação do solo, a de número 5, que é apresentado o resumo dos dados para a contaminação da água superficial e a de número 6, onde é apresentado o resumo dos dados para a contaminação das águas subterrâneas.

Tabela 59 – Concentração de substâncias no solo

Composto	Concentração (mg/kg)	Local Nº Sondagem
Chumbo	1304	SB-128
Cromo	2598	SB-128
Cromo	2060	SB-130
Cromo	3135	SB-131
Cromo	1808	SB-132
Cromo	3908	SB-133
Cromo	1044	SB-135
Zinco	3916	SB-128
Zinco	4193	SB-130
Zinco	6257	SB-131
Zinco	3663	SB-132
Zinco	5119	SB-133
Zinco	2570	SB-134
Zinco	2449	SB-135
Mercúrio	39,9	SB-130
Mercúrio	115	SB-131
Mercúrio	81,2	SB-132
Mercúrio	172	SB-133
Benzo(a)pireno	0,853	SB-130
Benzo(a)pireno	0,913	SB-133

Fonte Cetesb (2001) a

Legenda

- Sondagem com trado manual (1997)
- Sondagem com trado manual (2001)
- Poço de monitoramento
- Poço de monitoramento (1997; 1998)
- Área potencial de risco
- Réguas

Figura 4 – Planta com as concentrações acima do limite para o solo.

Tabela 60 - Concentração de substâncias na água superficial

Composto	Concentração (mg/L)	Local
Amônia não ionizável	0,045	Lagoa de concreto
Sulfetos	0,02	Lagoa de concreto
Ferro solúvel	0,264	

Fonte Cetesb (2001)a

Tabela 61 - Concentração de substâncias na água subterrânea

Composto	Concentração (µg/L)	Local Nº Sondagem
Mercúrio	3,8	PM-24
Cloreto de vinila	15	PM-23
Benzeno	11	PM-19
Etilbenzeno	8414	PM-22
Estireno	3256	PM-22
Estireno	79	PM-24
Amônia	5,6	PM-02
Amônia	310	PM-32
Amônia	142	PM-33
Amônia	34,5	PM-34
Araclor 1254	23	PM-22
Araclor 1254	233	PM-38
Araclor 1260	22	PM-22
Araclor 1260	233	PM-38
Xilenos	6	PM-01
MEK	61	PM-24
MIBC	36	PM-01
Tolueno	703	PM-24
Zinco	164	PM-13

Fonte Cetesb (2001) a

Legenda

Figura 5 – Planta com as concentrações acima do limite para a água superficial.

- S-00 Sondagem com trado manual (1997)
- SB-00 Sondagem com trado manual (2001)
- PM-00 Poço de monitoramento
- PM-00 (1997; 1998) Poço de monitoramento (1997; 1998)
- Area potencial de risco de PCB
- Réguas

5.3.1 Efeitos dos contaminantes presentes sobre a saúde humana

5.3.1.1 Carcinogênicos⁹

5.3.1.1.1 Benzeno

É caracterizado como um carcinogênico A, de acordo com revisão feita pela EPA em 1986. Há evidências convincentes de carcinogenicidade em humanos, para todas as rotas de exposição, bem como existem evidências de suporte em estudos com animais. Um dos efeitos esperados é a leucemia. O banco de dados Iris da EPA apresenta ainda como efeito a diminuição dos glóbulos brancos, para a qual a RfD é de $4,0 \times 10^{-3}$ mg/kg.dia.

A estimativa quantitativa de risco para exposição oral, “slope factor” ou fator de carcinogenicidade é de $1,5 \times 10^{-2}$ (mg/kg.dia)⁻¹. O risco unitário para a água de beber é $4,4 \times 10^{-7}$ por µg/L.

5.3.1.1.2 Benzo(a)pireno

É um provável carcinogênico humano B2, baseado em evidências de carcinogenicidade em animais. Há falta de dados que conectem o benzo(a)pireno à carcinogenicidade humana, todavia com animais, por inúmeras rotas, existem estas evidências. O benzo(a)pireno tem mostrado resultados positivos em numerosos ensaios de genotoxicidade. Os efeitos mais prováveis são papilomas e carcinomas gástricos. Não há, no banco de dados Iris da EPA, registro de efeitos não carcinogênicos para esta substância.

A estimativa quantitativa de risco para exposição oral, fator de carcinogenicidade oral, é de $7,3 \text{ (mg/kg.dia)}^{-1}$. O risco unitário é $2,1 \times 10^{-4} \text{ (}\mu\text{g/L)}^{-1}$, para o consumo de água de beber.

5.3.1.1.3 Cloreto de vinila

É considerado carcinogênico A, por inalação de vapores. Com base em dados de saúde de humanos, para rota oral, por meio de dados de bioensaios em animais e por intermédio de farmacocinética para extrapolação entre rotas. Também é considerado altamente provável carcinogênico por contato dérmico, por ser altamente absorvido pela pele e por agir sistemicamente. Efeitos esperados angiosarcoma do fígado, carcinoma hepatocelular e nódulos neoplásicos detectados em ratos.

A estimativa quantitativa de risco para exposição oral, fator de carcinogenicidade, é de $7,2 \times 10^{-1} \text{ (mg/kg.dia)}^{-1}$, quando avaliado pelo método da exposição contínua pelo período de vida durante a fase adulta e de $1,5 \text{ (mg/kg.dia)}^{-1}$, quando avaliado pelo método de exposição contínua pelo período de vida desde o nascimento. O risco unitário para a água de beber é $2,1 \times 10^{-5} \text{ (}\mu\text{g/L)}^{-1}$, considerada a exposição contínua ao longo da vida durante a fase adulta, ou $4,2 \times 10^{-5} \text{ (mg/kg.dia)}^{-1}$, quando considerada a exposição contínua ao longo da vida a partir do nascimento. O risco unitário para exposição por inalação está estimado em $4,4 \times 10^{-6} \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)}^{-1}$, considerada a exposição contínua pelo período de vida durante a fase adulta, ou ainda $8,8 \times 10^{-6}$, quando considerada a exposição pelo período de vida desde o nascimento.

⁹ A única fonte de informações considerada, de onde os dados foram obtidos foi o banco de dados IRIS da EPA, disponível em <http://cfpub.epa.gov/iris>. Acesso em 20/01/2007.

5.3.1.1.4 Cromo VI

Classificado como carcinogênico A por via inalatória. A carcinogenicidade por via oral não pode ser determinada. Não foram encontrados dados na literatura que sugerissem a carcinogenicidade por via oral. O efeito esperado é o câncer de pulmão em humanos. O risco unitário para o ar é $1,2 \times 10^{-2} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$.

5.3.1.1.5 PCB

Considerado carcinogênico B2, provável carcinogênico humano, com base em evidências suficientes de carcinogenicidade em animais. Um estudo de 1996 encontrou tumores no fígado de ratos fêmea expostos a Araclor 1260, 1254, 1242 e 1016 e no de machos expostos ao Araclor 1260. Estas misturas contêm congêneres similares aos encontrados no meio ambiente. Estudos mais recentes encontraram o mesmo efeito devido ao Clophen A 60, registrado aqui apenas pela informação sobre efeito em si do PCB sobre a saúde, uma vez que este composto não existe no caso em estudo. Estudos começam a identificar congêneres que agem como dioxinas e podem promover tumores por diferentes modos de ação. Os PCB são absorvidos por ingestão, inalação e por contato dérmico, depois do que são transportados de modo similar pela circulação. Isto provê base razoável para se esperar efeitos similares por diferentes rotas de exposição ambiental. Informações sobre absorção relativa sugerem que as diferenças de toxicidade por diferentes vias de exposição são pequenas. Os estudos em humanos estão na fase de atualização e as evidências correntemente disponíveis ainda são inadequadas. Os efeitos em ratos foram adenomas hepatocelulares no fígado, carcinomas, colangiomas ou colangiocarcinomas, pelas rotas oral e dietética.

A estimativa quantitativa de risco para exposição oral, ou fator de carcinogenicidade oral, considerados o menor risco e persistência, com estimativa central do fator de carcinogenicidade, é de $4 \times 10^{-2} (\text{mg}/\text{kg}.\text{dia})^{-1}$ e de $2,0 (\text{mg}/\text{kg}.\text{dia})^{-1}$, considerados

alto risco e persistência e limite superior do fator de carcinogenicidade. O risco unitário para a água de beber é $1 \times 10^{-5} (\mu\text{g/L})^{-1}$. Para inalação foi estabelecido o risco unitário em $1 \times 10^{-1} (\mu\text{g/m}^3)^{-1}$.

5.3.1.2 Não carcinogênicos¹⁰

5.3.1.2.1 Benzeno

O benzeno causa efeitos no sangue, com a diminuição de leucócitos (leucopenia). A dose de referência é $4,0 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.dia}$.

5.3.1.2.2 Chumbo

O chumbo provoca neurotoxicidade, atraso no desenvolvimento, hipertensão, problemas de audição, impede a síntese da hemoglobina. Apresenta efeitos significativos particularmente em crianças. A dose de referência oral é de $3,6 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.dia}$.

5.3.1.2.3 Cromo VI

Nenhum efeito foi relatado para o cromo em humanos, apenas em ratos, estabeleceu-se o NAOEL em $2,5 \text{ mg/kg.dia}$ e a RfD em $3 \times 10^{-3} \text{ mg/kg.dia}$, baseada em estudos em ratos.

5.3.1.2.4 Estireno

Considerado tóxico para as células vermelhas do sangue e por seus efeitos no fígado, com base em estudos de efeito subcrônico oral em cão. A confiança no estudo, no banco de dados e na dose de referência é média, tanto para a exposição oral, quanto para a inalação. O efeito crítico é no sistema nervoso central.

A dose de referência oral é de 2×10^{-1} mg/kg.dia, para o efeito sobre as células vermelhas do sangue e sobre o fígado, o NOAEL é 200 mg/kg.dia. Para a inalação, a concentração de referência é de 1 mg/m³ e o NOAEL, 34 mg/m³.

5.3.1.2.5 Etilbenzeno

Considerado tóxico aos rins e ao fígado, baseado em bioensaios de efeito subcrônico a crônico em ratos, por administração oral, a confiança nos estudos é baixa, bem como no banco de dados e na dose de referência. Efeito crítico nos rins e fígado.

A dose de referência é de 1×10^{-1} mg/kg.dia e o NOEL, 97,1 mg/kg.dia, para a toxicidade ao fígado e rins. Para inalação crônica o valor é de 1 mg/m³ e o NOAEL, 434 mg/m³, para desenvolvimento da toxicidade.

5.3.1.2.6 Mercúrio

Considerado tóxico, com efeitos sobre a memória e disfunção autônoma. A confiança nos estudos, banco de dados e dose de referência é média. Nos estudos que

¹⁰ A única fonte de informações considerada, de onde os dados foram obtidos foi o banco de dados IRIS da EPA, disponível em <http://cfpub.epa.gov/iris>. Acesso em 20/01/2007, corroborada em alguns casos por outras fontes

tentaram associar o mercúrio à carcinogenicidade foram encontradas falhas que os descredenciam ou lhes impõem severas limitações. É, portanto, classificado como não carcinogênico. Os efeitos críticos são os já citados, a perturbações de memória, disfunção autônoma, ao que se acresce o tremor nas mãos.

A dose de referência é de 3×10^{-4} mg/m³ e o LOAEL é de 0,009 mg/m³, para o desenvolvimento de tremor nas mãos, perturbações de memória e disfunção autônoma.

5.3.1.2.7 Metiletilcetona (MEK)

Produz efeitos nos rins, com aumento do seu peso. A dose de referência oral está estabelecida em 0,6 mg/kg.dia.

5.3.1.2.8 Tolueno

O tolueno provoca aumento do peso dos rins, quando administrado oralmente. A dose de referência é de 0,08 mg/kg.dia. Quando inalado produz efeitos neurológicos e a concentração de referência é de 5 mg/m³. Morita (1993) cita ainda os seguintes efeitos: arritmia cardíaca, acidose tubular renal e dermatite, como decorrentes de exposição prolongada. Cita ainda, devido à exposição aguda, os seguintes efeitos: depressão do sistema nervoso central, fadiga, confusão mental, lacrimejamento e parestesias (200 ppm, por 8 horas), euforia, cefaléia, dilatação da pupila, náuseas (660 ppm, por 8 horas), nervosismo, fadiga muscular, insônia (800 ppm, por 8 horas) e danos à córnea.

5.3.1.2.9 Xilenos

Produz emagrecimento e aumento da mortalidade, a Rfd oral é de 0,2 mg/kg.dia. Quando inalado provoca perda de coordenação motora e a concentração de referência é de 0,1 mg/m³. Morita (1993), cita os seguintes efeitos, devidos à exposição por vias respiratória e cutânea: formação de vesículas na pele, disfunção temporária até morte, por exposição prolongada. Disfunção hepática temporária até morte por edema pulmonar (10000 ppm por 18 h), perda de sentidos, sonolência, descoordenação, anorexia, náuseas e dores abdominais (200 ppm), vacuolização reversível da córnea (junto com outros solventes), eritema e descamação da pele, irritação nos olhos, nariz e garganta.

5.3.1.2.10 Zinco

Os efeitos críticos do zinco são a diminuição da atividade dos eritrócitos cobre-zinco dismutase superóxido (ESOD) em adultos em homens e mulheres voluntários saudáveis. A confiança no estudo é de média/alta e para o banco de dados e dose de referência a confiança é alta.

A dose de referência oral é de 0,3 mg/m³ e o LOAEL, 0,91 mg/kg.dia, para diminuição da atividade dos ESOD.

5.4 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO RCBA

A aplicação do RBCA resultou nas planilhas das tabelas 62, 63 e 64 a seguir apresentadas, que mostram as metas de remediação para o terreno da empresa A de acordo com os níveis de risco correspondentes a 10⁻⁶, 10⁻⁵ e 10⁻⁴, respectivamente.

Ambiental	Ingestão/ Dermal/ Inalação	Residencial	Carcinogênico		5,1E+00	4,5E-02	8,4E+03					1,4E-01		2,2E-01		
			Perigo	4,6E+03	2,1E+02		2,3E+02	5,4E+03	2,7E+02	9,9E+00	2,2E+04		9,9E+03	7,8E+03	1,7E+02	3,0E+03
		Comercial/ Industrial	Carcinogênico		1,1E+01	9,7E-02	1,3E+04					2,7E-01			4,7E-01	
			Perigo	2,5E+04	1,2E+03		3,6E+03	3,2E+04	4,3E+03	4,8E+01	1,2E+05		5,6E+04	4,1E+04	1,0E+03	1,4E+04
Ambiental	Inalação de vapores do ar interno	Residencial	Carcinogênico		2,1E-02	SAT						2,1E+01			1,9E-03	
			Perigo	2,0E+02	1,1E+00		1,5E+02		1,7E+00	7,9E+02		9,5E+02	3,1E+01	3,8E-01	8,2E+00	
		Comercial/ Industrial	Carcinogênico		1,0E-01	SAT					1,0E+02			9,5E-03		
			Perigo	2,3E+03	1,2E+01		SAT			9,2E+03		SAT	3,6E+02	4,4E+00	9,5E+01	
	Inalação de vapores do ar externo	Residencial	Carcinogênico		4,5E-01	SAT						4,4E+02			4,2E-02	
			Perigo	4,2E+03	2,3E+01		SAT		3,5E+01	1,7E+04		SAT	6,6E+02	8,1E+00	1,8E+02	
		Comercial/ Industrial	Carcinogênico		6,7E-01	SAT					6,6E+02			6,2E-02		
			Perigo	1,5E+04	8,0E+01		SAT		1,3E+02	SAT		SAT	SAT	2,8E+01	SAT	
	Ingestão de água subterrânea impactada por lixiviação	Residencial	Carcinogênico		7,2E-03	7,5E-01						8,3E-01			1,6E-04	
			Perigo	1,1E+00	2,8E-01		6,6E+00	3,6E+01	3,4E+00	2,3E+00	8,9E+00		1,5E+02	3,7E+01	1,3E-01	4,8E+01
		Comercial/ Industrial	Carcinogênico		2,5E-02	2,7E+00						2,9E+00			5,9E-04	
			Perigo	1,2E+01	2,9E+00		6,8E+01	3,7E+02	3,5E+01	2,4E+01	9,3E+01		1,5E+03	3,9E+02	1,4E+00	5,0E+02
Subterrânea	Ingestão de água subterrânea	Residencial	Carcinogênico		8,1E-04	6,1E-06						2,2E-05			3,0E-05	
			Perigo	7,8E-01	3,1E-02		2,3E-02	7,8E-01	2,8E-02	2,3E-03	4,7E+00		1,6E+00	1,6E+00	2,3E-02	1,6E+00
		Comercial/ Industrial	Carcinogênico		2,9E-03	2,2E-05						7,9E-05			1,1E-04	
			Perigo	8,1E+00	3,2E-01		2,4E-01	8,1E+00	2,9E-01	2,4E-02	4,9E+01		1,6E+01	1,6E+01	2,4E-01	1,6E+01
	Inalação de vapores do ar interno	Residencial	Carcinogênico		4,8E-02	>Sol						7,9E-03			9,0E-03	
			Perigo	1,9E+03	2,5E+00		7,2E+01		3,5E-02	5,7E+03		1,8E+02	2,8E+01	1,7E+00	5,6E+00	
		Comercial/ Industrial	Carcinogênico		2,4E-01	>Sol					3,9E-02			4,4E-02		
			Perigo	2,2E+04	2,8E+01		>Sol		4,0E-01	6,7E+04		>Sol	3,2E+02	2,0E+01	6,5E+01	
	Inalação de vapores do ar externo	Residencial	Carcinogênico		7,5E+00	>Sol						>Sol			1,7E+00	
			Perigo	1,1E+05	3,8E+02		>Sol		5,5E+00	>Sol		>Sol	>Sol	>Sol	3,3E+02	>Sol
		Comercial/ Industrial	Carcinogênico		1,1E+01	>Sol					>Sol			2,6E+00		
			Perigo	4,0E+05	1,3E+03		>Sol		1,9E+01	>Sol		>Sol	>Sol	>Sol	1,2E+03	>Sol
Parâmetro mg/l	Ingestão/ Dermal	Residencial	Carcinogênico		1,0E-02	1,6E-06						5,5E-06			8,4E-04	
			Perigo	4,2E+01	4,2E-01		1,1E+00	3,6E+00	1,6E+00	1,1E-01	1,5E+02		9,3E+00	1,1E+01	6,3E-01	6,6E+00
Ambiental	Inalação de vapores do ar interno	Residencial	Carcinogênico		2,7E-01	>VP	>VP					3,6E-03			2,3E-01	
			Perigo	1,6E+02	1,3E+01		4,5E+02		1,3E-01	4,5E+02		4,5E+02	1,7E+02	4,5E+01	>VP	
		Comercial/ Industrial	Carcinogênico		8,0E-01	>VP	>VP				1,1E-02			6,9E-01		
			Perigo	1,1E+03	9,5E+01		3,2E+03		9,5E-01	3,2E+03		3,2E+03	1,2E+03	3,2E+02	>VP	
	Inalação de vapores do ar externo	Residencial	Carcinogênico		5,3E-01	>VP	>VP					7,2E-03			4,6E-01	
			Perigo	3,1E+02	2,7E+01		9,1E+02		2,7E-01	9,1E+02		9,1E+02	3,4E+02	8,9E+01	>VP	
		Comercial/ Industrial	Carcinogênico		8,0E-01	>VP	>VP				1,1E-02			6,9E-01		
			Perigo	1,1E+03	9,5E+01		3,2E+03		9,5E-01	3,2E+03		3,2E+03	1,2E+03	3,2E+02	>VP	
Ambiental	Inalação de vapores do ar interno	Residencial	Carcinogênico		4,6E+02	>VP						>VP			3,4E+02	
			Perigo	2,0E+05	2,3E+04		>VP		6,1E+02	8,3E+05		>VP	3,0E+05	>VP	>VP	
		Comercial/ Industrial	Carcinogênico		2,4E+03	>VP					>VP			1,8E+03		
			Perigo	>VP	2,9E+05		>VP		7,3E+03	>VP		>VP	>VP	>VP	>VP	>VP
	Inalação de vapores do ar externo	Residencial	Carcinogênico		1,4E+05	>VP						>VP			>VP	
			Perigo	>VP	>VP		>VP		2,0E+05	>VP		>VP	>VP	>VP	>VP	>VP
		Comercial/ Industrial	Carcinogênico		2,1E+05	>VP						>VP			>VP	

Tipo de contaminação [mg/kg]	Via de exposição	Uso do solo	Residencial		Comercial/Industrial		Perigo		Perigo		Perigo		Perigo		Perigo	
			Carcinogênico	Perigo	Carcinogênico	Perigo	Carcinogênico	Perigo	Carcinogênico	Perigo	Carcinogênico	Perigo	Carcinogênico	Perigo	Carcinogênico	Perigo
			4,6E+03	2,1E+02	1,1E+02	1,2E+03	2,5E+04	1,2E+03	3,6E+03	3,2E+04	4,3E+03	4,8E+01	1,2E+05	5,6E+04	4,1E+04	1,0E+03
Subsuperficial [mg/kg]	Inalação de vapores do ar interno	Residencial	Carcinogênico		2,1E-01	SAT						2,1E+02			1,9E-02	
			Perigo	2,0E+02	1,1E+00		1,5E+02		1,7E+00	7,9E+02		9,5E+02	3,1E+01	3,8E-01	8,2E-02	
		Comercial/Industrial	Carcinogênico		1,0E+00	SAT					1,0E+03			9,5E-02		
			Perigo	2,3E+03	1,2E+01		SAT			9,2E+03	SAT	3,6E+02	4,4E+00	9,5E-02		
	Inalação de vapores do ar externo	Residencial	Carcinogênico		4,5E+00	SAT						SAT			4,2E-01	
			Perigo	4,2E+03	2,3E+01		SAT		3,5E+01	1,7E+04		SAT	6,6E+02	8,1E+00	1,8E-01	
		Comercial/Industrial	Carcinogênico		6,7E+00	SAT					SAT			6,2E-01		
			Perigo	1,5E+04	8,0E+01		SAT		1,3E+02	SAT		SAT	SAT	2,8E+01	SAT	
	Ingestão de água subterrânea impactada por lixiviação	Residencial	Carcinogênico		7,2E-02	7,5E+00						8,3E+00			1,6E-03	
			Perigo	1,1E+00	2,8E-01		6,6E+00	3,6E+01	3,4E+00	2,3E+00	8,9E+00		1,5E+02	3,7E+01	1,3E-01	4,8E-02
		Comercial/Industrial	Carcinogênico		2,5E-01	SAT						2,9E+01			5,9E-03	
			Perigo	1,2E+01	2,9E+00		6,8E+01	3,7E+02	3,5E+01	2,4E+01	9,3E+01		1,5E+03	3,9E+02	1,4E+00	5,0E-02
Água subterrânea [mg/l]	Ingestão de água subterrânea	Residencial	Carcinogênico		8,1E-03	6,1E-05						2,2E-04			3,0E-04	
			Perigo	7,8E-01	3,1E-02		2,3E-02	7,8E-01	2,8E-02	2,3E-03	4,7E+00		1,6E+00	1,6E+00	2,3E-02	1,6E-02
		Comercial/Industrial	Carcinogênico		2,9E-02	2,2E-04						7,9E-04			1,1E-03	
			Perigo	8,1E+00	3,2E-01		2,4E-01	8,1E+00	2,9E-01	2,4E-02	4,9E+01		1,6E+01	1,6E+01	2,4E-01	1,6E-01
	Inalação de vapores do ar interno	Residencial	Carcinogênico		4,8E-01	>Sol						7,9E-02			9,0E-02	
			Perigo	1,9E+03	2,5E+00		7,2E+01		3,5E-02	5,7E+03		1,8E+02	2,8E+01	1,7E+00	5,6E-02	
		Comercial/Industrial	Carcinogênico		2,4E+00	>Sol					3,9E-01			4,4E-01		
			Perigo	2,2E+04	2,8E+01		>Sol		4,0E-01	6,7E+04		>Sol	3,2E+02	2,0E+01	6,5E-02	
	Inalação de vapores do ar externo	Residencial	Carcinogênico		7,5E+01	>Sol						>Sol			1,7E+01	
			Perigo	1,1E+05	3,8E+02		>Sol		5,5E+00	>Sol		>Sol	>Sol	3,3E+02	>Sol	
		Comercial/Industrial	Carcinogênico		1,1E+02	>Sol					>Sol			2,6E+01		
			Perigo	4,0E+05	1,3E+03		>Sol		1,9E+01	>Sol		>Sol	>Sol	1,2E+03	>Sol	
Água usada para irrigação [mg/l]	Ingestão/Dermal	Residencial	Carcinogênico		1,0E-01	1,6E-05					5,5E-05			8,4E-03		
			Perigo	4,2E+01	4,2E-01		1,1E+00	3,6E+00	1,6E+00	1,1E-01	1,5E+02		9,3E+00	1,1E+01	6,3E-01	6,6E-02
Ar [ug/m3]	Inalação de vapores do ar interno	Residencial	Carcinogênico		2,7E+00	>VP	>VP					3,6E-02			2,3E+00	
			Perigo	1,6E+02	1,3E+01		4,5E+02		1,3E-01	4,5E+02		4,5E+02	1,7E+02	4,5E+01	>VP	
		Comercial/Industrial	Carcinogênico		8,0E+00	>VP	>VP				1,1E-01			6,9E+00		
			Perigo	1,1E+03	9,5E+01		3,2E+03		9,5E-01	3,2E+03		3,2E+03	1,2E+03	3,2E+02	>VP	
	Inalação de vapores do ar externo	Residencial	Carcinogênico		5,3E+00	>VP	>VP					7,2E-02			4,6E+00	
			Perigo	3,1E+02	2,7E+01		9,1E+02		2,7E-01	9,1E+02		9,1E+02	3,4E+02	8,9E+01	>VP	
Gás do solo [ug/m3]	Inalação de vapores do ar interno	Residencial	Carcinogênico		4,6E+03	>VP						>VP			3,4E+03	
			Perigo	2,0E+05	2,3E+04		>VP		6,1E+02	8,3E+05		>VP	3,0E+05	>VP	>VP	
		Comercial/Industrial	Carcinogênico		2,4E+04	>VP					>VP			1,8E+04		
			Perigo	>VP	2,9E+05		>VP		7,3E+03	>VP		>VP	>VP	>VP	>VP	
	Inalação de vapores do ar externo	Residencial	Carcinogênico		>VP	>VP					>VP			>VP		
			Perigo	>VP	>VP		>VP		2,0E+05	>VP		>VP	>VP	>VP	>VP	
		Comercial/Industrial	Carcinogênico		>VP	>VP					>VP			>VP		
			Perigo	>VP	>VP		>VP		>VP	>VP		>VP	>VP	>VP	>VP	
MCL [mg/l]				ND	5,00E-03	2,00E-04	ND	7,00E-01	1,50E-02	2,00E-03	ND	5,00E-04	1,00E-01	1,00E+00	2,00E-03	1,00E-02

Observações: MCL – concentração máxima permitida na água pela EPA; ND – não disponível; SAT – acima da saturação; Sol – acima da solubilidade e VP – acima da pressão de vapor.

Inalação Dermal/Industrial	Comercial/Industrial	Carcinogênico		1,1E+03	9,7E+00	1,3E+06					2,7E+01			4,7E+01	
		Perigo	2,5E+04	1,2E+03		3,6E+03	3,2E+04	4,3E+03	4,8E+01	1,2E+05		5,6E+04	4,1E+04	1,0E+03	1,0E+03
Inalação de vapores do ar interno	Residencial	Carcinogênico		2,1E+00	SAT						SAT			1,9E-01	
		Perigo	2,0E+02	1,1E+00			1,5E+02		1,7E+00	7,9E+02		9,5E+02	3,1E+01	3,8E-01	8,0E-01
	Comercial/Industrial	Carcinogênico		1,0E+01	SAT						SAT			9,5E-01	
		Perigo	2,3E+03	1,2E+01			SAT			9,2E+03		SAT	3,6E+02	4,4E+00	9,0E-01
Inalação de vapores do ar externo	Residencial	Carcinogênico		4,5E+01	SAT						SAT			4,2E+00	
		Perigo	4,2E+03	2,3E+01			SAT		3,5E+01	1,7E+04		SAT	6,6E+02	8,1E+00	1,0E+01
	Comercial/Industrial	Carcinogênico		6,7E+01	SAT						SAT			6,2E+00	
		Perigo	1,5E+04	8,0E+01			SAT		1,3E+02	SAT		SAT	SAT	2,8E+01	
Ingestão de água subterrânea impactada por lixiviação	Residencial	Carcinogênico		7,2E-01	SAT						8,3E+01			1,6E-02	
		Perigo	1,1E+00	2,8E-01		6,6E+00	3,6E+01	3,4E+00	2,3E+00	8,9E+00		1,5E+02	3,7E+01	1,3E-01	4,0E-01
	Comercial/Industrial	Carcinogênico		2,5E+00	SAT						2,9E+02			5,9E-02	
		Perigo	1,2E+01	2,9E+00		6,8E+01	3,7E+02	3,5E+01	2,4E+01	9,3E+01		1,5E+03	3,9E+02	1,4E+00	5,0E-01
Ingestão de água subterrânea	Residencial	Carcinogênico		8,1E-02	6,1E-04						2,2E-03			3,0E-03	
		Perigo	7,8E-01	3,1E-02		2,3E-02	7,8E-01	2,8E-02	2,3E-03	4,7E+00		1,6E+00	1,6E+00	2,3E-02	1,0E-01
	Comercial/Industrial	Carcinogênico		2,9E-01	>Sol						7,9E-03			1,1E-02	
		Perigo	8,1E+00	3,2E-01		2,4E-01	8,1E+00	2,9E-01	2,4E-02	4,9E+01		1,6E+01	1,6E+01	2,4E-01	1,0E-01
Inalação de vapores do ar interno	Residencial	Carcinogênico		4,8E+00	>Sol						>Sol			9,0E-01	
		Perigo	1,9E+03	2,5E+00			7,2E+01		3,5E-02	5,7E+03		1,8E+02	2,8E+01	1,7E+00	5,0E-01
	Comercial/Industrial	Carcinogênico		2,4E+01	>Sol						>Sol			4,4E+00	
		Perigo	2,2E+04	2,8E+01			>Sol		4,0E-01	6,7E+04		>Sol	3,2E+02	2,0E+01	6,0E-01
Inalação de vapores do ar externo	Residencial	Carcinogênico		7,5E+02	>Sol						>Sol			1,7E+02	
		Perigo	1,1E+05	3,8E+02			>Sol		5,5E+00	>Sol		>Sol	>Sol	3,3E+02	
	Comercial/Industrial	Carcinogênico		1,1E+03	>Sol						>Sol			2,6E+02	
		Perigo	4,0E+05	1,3E+03			>Sol		1,9E+01	>Sol		>Sol	>Sol	1,2E+03	
Ingestão/Dermal	Residencial	Carcinogênico		1,0E+00	1,6E-04						5,5E-04			8,4E-02	
		Perigo	4,2E+01	4,2E-01		1,1E+00	3,6E+00	1,6E+00	1,1E-01	1,5E+02		9,3E+00	1,1E+01	6,3E-01	6,0E-01
Inalação de vapores do ar interno	Residencial	Carcinogênico		2,7E+01	>VP	>VP					3,6E-01			2,3E+01	
		Perigo	1,6E+02	1,3E+01			4,5E+02		1,3E-01	4,5E+02		4,5E+02	1,7E+02	4,5E+01	
	Comercial/Industrial	Carcinogênico		8,0E+01	>VP	>VP					1,1E+00			6,9E+01	
		Perigo	1,1E+03	9,5E+01			3,2E+03		9,5E-01	3,2E+03		3,2E+03	1,2E+03	3,2E+02	
Inalação de vapores do ar externo	Residencial	Carcinogênico		5,3E+01	>VP	>VP					7,2E-01			4,6E+01	
		Perigo	3,1E+02	2,7E+01			9,1E+02		2,7E-01	9,1E+02		9,1E+02	3,4E+02	8,9E+01	
	Comercial/Industrial	Carcinogênico		8,0E+01	>VP	>VP					1,1E+00			6,9E+01	
		Perigo	1,1E+03	9,5E+01			3,2E+03		9,5E-01	3,2E+03		3,2E+03	1,2E+03	3,2E+02	
Inalação de vapores do ar interno	Residencial	Carcinogênico		4,6E+04	>VP						>VP			3,4E+04	
		Perigo	2,0E+05	2,3E+04			>VP		6,1E+02	8,3E+05		>VP	3,0E+05	>VP	
	Comercial/Industrial	Carcinogênico		2,4E+05	>VP						>VP			>VP	
		Perigo	>VP	2,9E+05			>VP		7,3E+03	>VP		>VP	>VP	>VP	
Inalação de vapores do ar externo	Residencial	Carcinogênico		>VP	>VP						>VP			>VP	

5.5 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO PROCESSO RISC WORKBENCH

São apresentados no anexo A os resultados obtidos com a aplicação dos dados de entrada do TIER 1 do ACBR no programa RISC Workbench, que foram apresentados nas tabelas 4 e 5. Os dados de concentração utilizados foram as concentrações máximas encontradas no local, conforme as tabelas 59, 60 e 61. Considerou-se sempre o risco total ou o perigo total como soma de todas as diferentes parcelas individuais, para as substâncias cancerígenas o risco foi incondicionalmente somado em todas as circunstâncias. Para as substâncias não cancerígenas, foi eleito um critério, baseado nos efeitos particulares de cada contaminante existente no terreno objeto deste estudo. A soma de riscos obedeceu ao critério de similaridade de efeitos. Assim, os efeitos do chumbo, do zinco e do estireno, que se manifestam no sangue, foram somados. Os efeitos do etilbenzeno e do estireno também foram somados pois, ambos causam danos ao fígado. Os efeitos do chumbo e do mercúrio foram igualmente somados dado que ambos produzem danos neurológicos. Os valores obtidos foram comparados e escolhido o maior deles como representativo do risco em cada cenário e indicado nas tabelas em *itálico*.

Nas tabelas 65, 66 e 67 a seguir, são mostrados os resultados dos quocientes de perigo a que estão submetidos respectivamente, os trabalhadores no cenário industrial, os adultos no cenário residencial e as crianças no cenário residencial, todos considerados como exposição típica. Não foi considerado o cenário recreacional, por não se constituir uma vocação de uso local. Foi escolhido o cenário industrial, por ser o cenário existente no local e com perspectiva de continuar a ser no futuro, o cenário residencial foi escolhido para verificar a possibilidade de novo uso do terreno pela municipalidade. A exposição típica foi escolhida por não introduzir excessos na exposição, uma vez que, por rigor, já foram usadas as concentrações máximas encontradas no terreno, além disso, particularmente no caso do cromo foi utilizado o composto mais tóxico, que é o cromo VI, devido à ausência de informações mais detalhadas sobre ele no local.

5.5.1 Quocientes de perigo para o cenário industrial.

Tabela 65 - Resumo quantitativo dos quocientes de perigo para adultos no cenário industrial

	Ingestão de solo	Contato dérmico com o solo	Subtotal	Ingestão de água subter- rânea	Contato dérmico (chuveiro)	Inalação no chuveiro	Subtotal	Total
Benzeno	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,2E-02	2,4E-05	1,7E+00	1,8E+00	1,8E+00
Cromo VI	8,0 E-01	2,6 E-01	1,1E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,1E+00
Etilbenzeno	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,1E+00	2,9E-02	1,8E-02	2,1E+00	2,1E+00
Chumbo	2,2 E-01	7,1E-02	2,9E-01	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,9E-01
Mercúrio	3,5E-01	1,1E+00	1,5E+00	3,1E-01	1,0E-04	2,1E-02	3,3E-01	1,8E+00
Metiletilcetona	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,5E-03	2,4E-06	3,3E-05	2,5E-03	2,5E-03
Estireno	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,0E-01	4,2E-03	6,7E-03	4,1E-01	4,1E-01
Tolueno	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	8,7E-02	7,4E-04	4,2E-03	9,8E-02	9,8E-02
Xilenos	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	7,3E-05	1,1E-06	1,9E-05	9,3E-05	9,3E-05
Zinco	1,3E-02	4,1E-03	1,7E-02	1,3E-02	1,5E-06	0,0E+00	1,3E-02	3,0E-02
TOTAL	0,58E+00	1,2E+00	1,8E+00	2,5E+00	3,3E-02	1,7E+00	4,3E+00	6,3E+00

Os números em negrito e *itálico* na tabela 65 indicam as somas dos perigos para efeitos semelhantes, conforme estabelecido em Material e Métodos, assim, foram somados os efeitos de 6 grupos de compostos, formados por: benzeno, chumbo, estireno e zinco, que produzem efeitos deletérios no sangue; chumbo, mercúrio, estireno e tolueno, que produzem efeitos neurológicos; etilbenzeno, Metiletilcetona e tolueno, que produzem efeitos nos rins; etilbenzeno e estireno que produzem efeitos no fígado; cromo que produz efeito no septo nasal e por último xilenos que provocam perda de controle motor. Para cada um destes grupos foram somados os quocientes de perigo e escolhido o maior valor para representar na tabela o perigo do cenário industrial para adultos.

O risco total de 6,3, é muito alto, devido principalmente à inalação de vapores de benzeno durante o banho, à ingestão de água subterrânea contaminada por etilbenzeno, devido à ingestão de solo contaminado por chumbo, ao contato dérmico com solo contaminado por mercúrio e à ingestão de água contaminada com estireno. Percebe-se que o maior risco está na água subterrânea, o que recomenda o consumo de água tratada pela concessionária de distribuição, enquanto não se soluciona o problema do aquífero freático, mas também é recomendada a remediação do solo, pois o perigo de 2,5, imposto pelo chumbo, mercúrio e zinco, é muito elevado.

Os quocientes de perigo nulos na tabela significam a inexistência do composto correspondente no meio considerado, por exemplo, o benzeno não está presente no solo e o cromo não aparece na água. Esta observação vale também para os demais cenários a seguir, apenas para o caso dos quocientes de perigo.

5.5.2 Quocientes de perigo para adultos no cenário residencial.

Tabela 66 - Resumo quantitativo dos quocientes de perigo para adultos no cenário residencial

	Ingestão de solo	Contato Dérmico com o solo	Subtotal	Ingestão de água subter- rânea	Contato dérmico (chuveiro)	Inalação no chu- veiro	Subtotal	Total
Benzeno	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,6E-02	8,4E-08	3,3E-03	1,9E-02	1,9E-02
Cromo VI	2,1 E+00	3,3 E-01	2,1 E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,1 E+00
Etilbenzeno	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	2,7 E+00	3,8 E-02	2,4 E-02	2,7 E+00	2,7 E+00
Chumbo	5,8E-01	9,2E-02	9,2E-02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	6,7E-01
Mercúrio	9,2E-01	1,5E+00	1,5E+00	4,0 E-01	1,3 E-04	2,7 E-02	5,4 E-01	2,0E+00
Metiletilcetona	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,2 E-03	3,1 E-06	4,3 E-05	3,3 E-03	3,3 E-03
Estireno	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	5,2 E-01	5,5 E-03	8,7 E-03	5,3 E-01	5,3 E-01
Tolueno	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,1 E-01	9,6 E-04	5,5 E-03	5,5 E-03	5,5 E-03
Xilenos	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	9,6 E-05	1,53 E-06	2,4 E-05	1,2 E-04	1,2 E-04
Zinco	3,3E-02	5,3E-03	3,9E-02	1,7 E-02	2,0 E-06	0,0 E-00	1,7 E-02	5,6 E-02
TOTAL	2,1 E+00	1,6E+00	3,7E+00	3,2E+00	4,4E-02	4,1.E-02	3,8E+00	7,3E+00

Novamente de acordo com o descrito em Material e Métodos, e conforme fora feito anteriormente, com a tabela 65 são apresentadas a seguir na tabela 67 as considerações sobre os quocientes de perigo para adultos no cenário residencial segundo o critério adotado.

O risco total, de 7,3, é muito alto, causado praticamente em partes iguais, pela contaminação do solo e pela contaminação das águas, esta um pouco maior. O cromo VI é o responsável pelo perigo na ingestão de solo, já pelo contato dérmico o chumbo e o mercúrio o são. Com a água subterrânea, a ingestão e o contato dérmico causam os maiores problemas, devidos principalmente à contaminação pelo etilbenzeno e pelo estireno. No entanto, a inalação de vapores durante o banho acarreta perigo devido ao etilbenzeno, mercúrio e tolueno. Igualmente, neste cenário, a recomendação é a de remediar o solo e evitar o consumo de água do aquífero freático, enquanto não for feito o seu tratamento.

5.5.3 Quocientes de perigo para crianças no cenário residencial.

Tabela 67- Resumo quantitativo dos quocientes de perigo para crianças no cenário residencial

	Ingestão de solo	Contato Dérmico com o solo	Subtotal	Ingestão de água subter- rânea	Contato dérmico (chuveiro)	Inalação no chu- veiro	Subtotal	Total
Benzeno	0,0.E+00	0,0.E+00	0,0.E+00	6,4.E-02	1,5.E-04	1,3.E-04	6,4.E-02	6,4.E-02
Cromo VI	1,7 E+01	5,8 E-01	1,7.E+01	0,0.E+00	0,0.E+00	0,0.E+00	0,0.E+00	1,7.E+01
Etilbenzeno	0,0.E+00	0,0.E+00	0,0.E+00	5,4.E+00	6,7.E-02	6,8.E-02	5,5.E+00	5,5.E+00
Chumbo	4,6.E+00	1,6.E-01	1,6.E-01	0,0.E+00	0,0.E+00	0,0.E+00	0,0.E+00	1,6.E-01
Mercúrio	7,3.E+00	2,6.E+00	2,6.E+00	8,1.E-01	2,3.E-04	7,9.E-02	7,9.E-02	2,7.E+00
Metiletilcetona	0,0.E+00	0,0.E+00	0,0.E+00	6,5.E-03	5,5.E-06	1,3.E-04	6,6.E-03	6,6.E-03
Estireno	0,0.E+00	0,0.E+00	0,0.E+00	1,0.E+00	9,6.E-03	2,5.E-02	1,0.E+00	1,0.E+00
Tolueno	0,0.E+00	0,0.E+00	0,0.E+00	2,2.E-01	1,7.E-03	1,6.E-02	1,6.E-02	1,6.E-02
Xilenos	0,0.E+00	0,0.E+00	0,0.E+00	1,9.E-04	2,6.E-06	7,0.E-05	2,6.E-04	2,6.E-04
Zinco	2,7.E-01	9,3.E-03	2,8.E-01	3,5.E-02	3,5.E-06	0,0.E+00	3,5.E-02	3,2.E-01
TOTAL	1,7 E+01	2,8.E+00	2,0.E+01	5,4.E+00	7,6.E-02	1,2.E-01	6,6.E+00	26,4.E+00

Novamente de acordo com o descrito em Material e Métodos, e conforme fora feito anteriormente, com as tabelas 65 e 66, são apresentadas a seguir as considerações sobre os quocientes de perigo para crianças no cenário residencial, mostrados na tabela 67, segundo o critério adotado.

O quociente de perigo total de 26,4, é por demais alto. O maior constituinte é o solo, com a contaminação principal representada por mercúrio, cromo VI e chumbo, nesta ordem de importância. O cromo VI é o grande responsável pelo quociente de perigo devido à ingestão de solo. Mercúrio e chumbo são os responsáveis pelo quociente de perigo por contato dérmico.

Na ingestão de água subterrânea, os maiores participantes são o etilbenzeno e o estireno, que também são os principais causadores do perigo por contato dérmico durante o banho. Os responsáveis pelo quociente de perigo com respeito à inalação de vapores durante o banho, são o mercúrio, o estireno e o tolueno, sem, contudo, causar perigo de fato, pois o quociente conjunto dos três compostos está muito abaixo do valor unitário, limite estabelecido como seguro.

5.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO PROGRAMA RISC WORKBENCH PARA O QUOCIENTE DE PERIGO – DOENÇAS QUE NÃO O CÂNCER.

Os quocientes de perigo foram calculados para os cenários apresentados, para o solo, no que diz respeito à: ingestão e contato dérmico e para a água subterrânea no que concerne à: ingestão, contato dérmico e inalação de vapores durante o banho.

Os números em negrito e itálico nas tabelas 64, 65 e 66 indicam as somas dos perigos para efeitos semelhantes, conforme estabelecido em Material e Métodos, assim, foram somados os efeitos de 6 grupos de compostos, formados por: benzeno, chumbo, estireno e zinco, que produzem efeitos deletérios no sangue; chumbo, mercúrio, estireno e tolueno, que produzem efeitos neurológicos; etilbenzeno, metiletilcetona e tolueno, que produzem efeitos nos rins; etilbenzeno e estireno que produzem efeitos no fígado; cromo que produz efeito no septo nasal e por último, xilenos que provocam perda de controle motor. Para cada um destes grupos foram somados os quocientes de perigo e escolhido o maior valor para representar na tabela o perigo do cenário industrial para adultos, conforme 5.5 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO PROCESSO RISC WORKBENCH.

Os quocientes de perigo nulos nas tabelas significam a inexistência do composto correspondente no meio considerado, por exemplo, o benzeno não está presente no solo e o cromo não aparece na água. Esta observação vale também para os demais cenários porem, apenas para o caso dos quocientes de perigo.

5.6.1 Cenário industrial

O risco total de 6,3 é muito alto, devido principalmente à inalação de vapores de benzeno durante o banho, à ingestão de água subterrânea contaminada por etilbenzeno, devido à ingestão de solo contaminado por cromo VI, ao contato dérmico com solo contaminado por mercúrio e à ingestão de água contaminada com estireno. Percebe-se que o maior risco está na água subterrânea, o que recomenda o consumo de água tratada pela concessionária de distribuição, enquanto não se soluciona o problema do aquífero freático, mas também é recomendada a remediação do solo, pois o perigo de 1,8, imposto pelo chumbo, mercúrio e zinco, é elevado.

5.6.1.1 Solo superficial

Além do perigo mencionado, o cromo também participa com um valor subtotal para o solo, de 1,1, maior que a unidade, por ingestão e contato dérmico, embora seja um perigo menor que o representado pelo conjunto formado por chumbo, mercúrio e zinco, ainda assim é preocupante.

Para o contato dérmico, o mercúrio é o que se sobressai, com quociente de perigo de 1,1.

O maior quociente de perigo subtotal é o representado pelo chumbo, mercúrio e zinco, com o valor de 1,8.

5.6.1.2 Água subterrânea

A água subterrânea representa perigo para adultos no cenário industrial, pela ingestão, devido ao etilbenzeno e ao estireno, com um quociente de 2,5, pela inalação de

vapores de benzeno, principalmente, e de estireno, bem menos. O contato dérmico durante o banho, com um quociente de perigo de 0,033, não constitui um problema. Em resumo, para exercer a atividade industrial no local é necessário tratar a água subterrânea ou proibir seu uso e utilizar água de concessionária de saneamento e tratar o solo ou impermeabilizá-lo para evitar o contato físico. Estas condicionantes devem constar das exigências técnicas presentes na licença prévia.

5.6.2 Cenário residencial

Novamente de acordo com o descrito em Material e Métodos, e conforme fora feito anteriormente, com a tabela 64, são apresentadas a seguir as considerações sobre os quocientes de perigo para adultos no cenário residencial segundo o critério adotado.

O risco total, de 7,3, é bastante alto, causado praticamente em partes iguais, pela contaminação do solo e pela contaminação das águas, um pouco maior. Os contaminantes mais importantes na composição deste quociente, neste cenário foram o cromo VI, o etilbenzeno, o mercúrio, o estireno e o tolueno, notadamente os três primeiros, que ultrapassam o valor unitário em dobro, ou mais.

5.6.2.1 Risco para adultos

5.6.2.1.1 Solo superficial

O cromo VI é o responsável pelo perigo na ingestão de solo, embora o mercúrio, que está abaixo do quociente unitário, represente um grande contribuinte, praticamente no limite da segurança. Já pelo contato dérmico novamente o mercúrio e o chumbo são os mais importantes, em especial o primeiro.

5.6.2.1.2 Água subterrânea

Para a água subterrânea, a ingestão causa o maior problema, devido principalmente ao etilbenzeno e ao estireno, com quociente de perigo de 3,2. No entanto, o contato dérmico com a água do chuveiro e a inalação de vapores durante o banho não acarretam grande perigo isoladamente. Igualmente, neste cenário, a recomendação é a de remediar o solo e evitar o consumo de água do aquífero freático, enquanto não for feito o seu tratamento.

5.6.2.2 Risco para crianças

Novamente de acordo com o descrito em Material e Métodos, e conforme fora feito anteriormente, com as tabelas 64 e 65, são apresentadas a seguir as considerações sobre os quocientes de perigo para crianças no cenário residencial segundo o critério adotado.

O quociente de perigo total de 26,4, é por demais alto. O maior constituinte é o solo, com a contaminação principal representada por mercúrio, cromo VI e chumbo, nesta ordem de importância. O cromo VI é o grande responsável pelo quociente de perigo devido à ingestão de solo. Mercúrio e chumbo são os responsáveis pelo quociente de perigo por contato dérmico.

5.6.2.2.1 Solo superficial

O solo superficial apresenta para crianças, no cenário residencial, o único que é a elas aplicável, perigos diversos. Para a ingestão de solo, o chumbo tem um quociente de 4,6, bastante alto, o mercúrio de 7,3, maior ainda e o chumbo que ultrapassa a todos é da ordem de 17.

O contato dérmico com o solo, tem um participante importante no quociente de perigo, que é o mercúrio, com o valor de 2,6, também elevado.

5.6.2.2.2 Água subterrânea

Na ingestão de água subterrânea, os maiores participantes são o etilbenzeno e o estireno, este no limite do perigo, com valor 1,0, mas que em conjunto com o etilbenzeno, torna-se muito importante. Ambos compostos são também os principais causadores do perigo por contato dérmico durante o banho, embora para a criança, neste cenário, não seja importante este tipo de contaminação isoladamente. Os responsáveis pelo quociente de perigo com respeito à inalação de vapores durante o banho, são o mercúrio, o estireno e o tolueno, sem, contudo, causar isoladamente, perigo de fato, pois o quociente conjunto dos três compostos está muito abaixo do valor unitário, limite estabelecido como seguro, em conjunto no entanto, o perigo causado pela água subterrânea tem caráter importante, com um quociente de 6,6.

Da mesma forma que nos cenários anteriores, neste a indicação é de remediar o solo e descontaminar a água.

5.7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO PROGRAMA RISC WORKBENCH PARA O RISCO DE CÂNCER

5.7.1 Cenário industrial

Neste cenário o risco total é de $2,2 \times 10^{-3}$, correspondente à soma dos riscos parciais representados pelo solo, que é de $1,1 \times 10^{-5}$, e pela água subterrânea, que é de $2,2 \times 10^{-3}$. Os compostos de interesse são o benzo(a)pireno, no solo e benzeno, PCBs e cloreto de vinila na água subterrânea.

5.7.1.1 Solo superficial

Apresenta-se, a seguir, a tabela 68 na qual estão resumidos os riscos de câncer para o cenário industrial, para o solo superficial.

Tabela 68 - Resumo dos riscos de câncer para trabalhadores no cenário industrial – solo superficial

	Ingestão de solo	Contato dérmico com o solo	TOTAL
Benzeno	0,0	0,0	0,0
Benzo(a)pireno	$2,7 \times 10^{-6}$	$8,6 \times 10^{-5}$	$1,1 \times 10^{-5}$
Cromo VI	0,0	0,0	0,0
PCBs	0,0	0,0	0,0
Cloreto de vinila	0,0	0,0	0,0
TOTAL	$2,7 \times 10^{-6}$	$8,6 \times 10^{-5}$	$1,1 \times 10^{-5}$

Os valores nulos são devido à inexistência da substância na via considerada o como o caso do cromo VI, que tanto na ingestão de solo, como no contato dérmico, o composto está presente, mas não existe na literatura “slope factor” ou seja fator de carcinogenicidade para nenhuma das duas vias de exposição. Portanto no caso do cenário industrial, o qual se aplica apenas a adultos, o risco de câncer neste local e vias de ingresso, só existe para o benzo(a)pireno e se trata de um risco acima do que foi imposto inicialmente como seguro, por um fator multiplicativo de 2,7 para a ingestão de solo, no entanto no caso de contato dérmico é uma ordem de grandeza maior.

É recomendada a remediação do solo para este cenário e vias de exposição.

5.7.1.2 Água subterrânea

A tabela 69 apresenta os valores de risco para a água subterrânea.

Tabela 69 - Resumo dos riscos de câncer para trabalhadores no cenário industrial – água subterrânea

	Ingestão de água	Contato dérmico chuveiro	TOTAL
Benzeno	$1,0 \times 10^{-6}$	$4,2 \times 10^{-9}$	$1,0 \times 10^{-6}$
Benzo(a)pireno	0,0	0,0	0,0
Cromo VI	0,0	0,0	0,0
PCBs	$1,7 \times 10^{-3}$	$4,1 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-3}$
Cloreto de vinila	$7,3 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-7}$	$7,4 \times 10^{-5}$
TOTAL	$1,8 \times 10^{-3}$	$4,1 \times 10^{-4}$	$2,2 \times 10^{-3}$

O risco representado pela água subterrânea é maior que o do solo, para o mesmo cenário e os responsáveis são a ingestão de água, pelo que apresentam de risco tanto os PCBs, quanto o cloreto de vinila. O benzeno, embora no limite para a ingestão de água, contribui para o aumento do risco total.

O contato dérmico apresenta risco isolado elevado para os PCBs que predomina no risco conjunto.

Neste cenário também é recomendada a remediação do solo e a descontaminação da água subterrânea.

5.7.2 Cenário residencial

5.7.2.1 Risco para adultos

O risco total para adultos no cenário residencial é de $1,4 \times 10^{-2}$, bastante alto, correspondente à soma dos riscos devido ao solo superficial, de $1,8 \times 10^{-5}$ e à água subterrânea, de $1,4 \times 10^{-2}$.

5.7.2.1.1 Solo superficial

São apresentados na tabela 70 a seguir, os riscos de câncer para adultos no cenário residencial.

Tabela 70 - Resumo dos riscos de câncer para adultos no cenário residencial – solo superficial

	Ingestão de solo	Contato dérmico com o solo	TOTAL
Benzeno	0,0	0,0	0,0
Benzo(a)pireno	$7,0 \times 10^{-6}$	$1,1 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$
Cromo VI	0,0	0,0	0,0
PCBs	0,0	0,0	0,0
Cloreto de vinila	0,0	0,0	0,0
TOTAL	$7,0 \times 10^{-6}$	$1,1 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$

Da mesma forma que no cenário industrial, o risco à saúde neste cenário, para o solo, é representado pelo benzo(a)pireno, em particular para o contato dérmico, embora apresente isoladamente, risco também para a ingestão de solo. O valor do risco para ingestão de solo é maior, por um fator multiplicativo de 7,0, do que o estabelecido inicialmente de 10^{-6} . O risco total é uma ordem de grandeza maior que o inicialmente estabelecido como aceitável.

5.7.2.1.2 Água subterrânea

Na tabela 71 é apresentado o resumo dos riscos de câncer para adultos no cenário residencial, devido ao uso de água subterrânea.

Tabela 71 - Resumo dos riscos de câncer para adultos no cenário residencial – água subterrânea

	Ingestão	Contato dérmico no banho	TOTAL
Benzeno	$6,7 \times 10^{-6}$	$2,7 \times 10^{-8}$	$6,8 \times 10^{-6}$
Benzo(a)pireno	0,0	0,0	0,0
Cromo VI	0,0	0,0	0,0
PCBs	$1,1 \times 10^{-2}$	$2,7 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-2}$
Cloreto de vinila	$4,8 \times 10^{-4}$	$6,6 \times 10^{-7}$	$4,8 \times 10^{-4}$
TOTAL	$1,1 \times 10^{-2}$	$2,7 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-2}$

A ingestão de água subterrânea é o risco maior deste cenário, com $1,1 \times 10^{-2}$, devido principalmente aos PCBs, mas com a presença de risco devido ao cloreto de vinila e ao benzeno, respectivamente de $1,1 \times 10^{-2}$ e $6,7 \times 10^{-6}$.

Recomenda-se neste cenário a remediação do solo e a descontaminação da água subterrânea.

5.7.2.2 Risco para crianças

O risco total para crianças no cenário residencial atinge o valor de $4,1 \times 10^{-2}$, correspondente à soma dos riscos devido à parcela correspondente ao solo, ingestão e contato dérmico, com a correspondente à água subterrânea, respectivamente de $1,2 \times 10^{-4}$ e $4,1 \times 10^{-2}$.

5.7.2.2.1 Solo superficial

Na tabela 72 são apresentados os valores de risco de câncer para crianças, no cenário residencial.

Tabela 72 - Resumo dos riscos de câncer para crianças no cenário residencial - solo superficial

	Ingestão de solo	Contato dérmico	TOTAL
Benzeno	0,0	0,0	0,0
Benzo(a)pireno	$8,5 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-5}$	$1,2 \times 10^{-4}$
Cromo VI	0,0	0,0	0,0
PCBs	0,0	0,0	0,0
Cloreto de vinila	0,0	0,0	0,0
TOTAL	$8,5 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-5}$	$1,2 \times 10^{-4}$

O único risco existente, neste cenário, é o imposto pelo benzo(a)pireno e que soma $1,2 \times 10^{-4}$, demasiado alto. As demais substâncias não estão presentes no solo, ou no caso do cromo VI que não apresenta carcinogenicidade para a ingestão de solo e para o contato dérmico.

5.7.2.2.2 Água subterrânea

Na tabela 73 são apresentados os valores de risco para crianças, no cenário residencial.

Tabela 73 - Resumo dos riscos de câncer para crianças no cenário residencial. - água subterrânea

	Ingestão	Contato dérmico no banho	TOTAL
Benzeno	$2,5 \times 10^{-5}$	$7,2 \times 10^{-8}$	$2,0 \times 10^{-5}$
Benzo(a)pireno	0,0	0,0	0,0
Cromo VI	0,0	0,0	0,0
PCBs	$3,3 \times 10^{-2}$	$7,1 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-2}$
Cloreto de vinila	$1,4 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-3}$
TOTAL	$3,4 \times 10^{-2}$	$7,2 \times 10^{-3}$	$4,1 \times 10^{-2}$

A água subterrânea neste cenário apresenta os maiores riscos individualizados para crianças, comparativamente aos do solo. O maior risco por ingestão de água subterrânea é o causado pelos PCBs, com $3,3 \times 10^{-2}$, seguido pelo cloreto de vinila com $1,4 \times 10^{-3}$ e pelo benzeno que aparece com $2,5 \times 10^{-5}$. O risco total por ingestão de água subterrânea é de $3,4 \times 10^{-2}$.

O contato dérmico com a água subterrânea apresenta risco devido aos PCBs e ao cloreto de vinila, respectivamente com $7,1 \times 10^{-3}$ e $1,8 \times 10^{-6}$, todavia o benzeno, que comparece com um risco de $7,2 \times 10^{-8}$, abaixo do risco estabelecido como aceitável, também contribui para o risco total desta via de exposição e portanto, para o cenário.

Neste cenário também se recomenda a remediação do solo e a descontaminação das águas subterrâneas.

5.8 CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES

Alguns valores de risco de câncer apresentam discrepâncias quando comparados com a tabela 62 que apresenta os NABR para o risco de 10^{-6} . Um estudo mais aprofundado poderia indicar as razões das diferenças, o que não pode ser feito no âmbito desta dissertação.

Devido aos índices de perigo e aos riscos de câncer obtidos, é altamente recomendável a remediação do solo para as substâncias de interesse ou a impermeabilização do mesmo para impedir o contato humano com o solo, quer seja para o cenário industrial quer seja para o cenário residencial.

É igualmente recomendável que a água subterrânea seja remediada tanto para o cenário industrial como para o cenário residencial. Alternativamente se pode impedir a utilização da água subterrânea para consumo humano, hipótese de viabilidade duvidosa.

É de se notar que mesmo que se tivesse estabelecido o risco aceitável de câncer como de 10^{-5} ou até de 10^{-4} , ainda assim este local não seria apropriado para utilização sem restrições, tanto no cenário industrial, como no cenário residencial, igualmente para adultos e para crianças.

6 PROPOSTA DE MÉTODO PARA ESTABELECEER A LEGISLAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Atualmente a legislação de uso e ocupação do solo é estabelecida politicamente, com base no equilíbrio das pressões produzidas pela sociedade, pela economia e pelo uso já dado ao local. A decisão política final é tomada pela Câmara de Vereadores do município, sua aplicação, no entanto, depende de sanção do Poder Executivo.

O método aqui proposto continuará a ser político, pois deve garantir a participação de todos os envolvidos no processo e baseado no equilíbrio destas forças, porém introduz uma variável técnica adicional, a avaliação de risco à saúde.

O método consiste em investigar previamente cada terreno público ou abandonado, para aqueles em que existirem suspeitas de contaminação, baseadas nas atividades anteriormente exercidas no local, investigar detalhadamente e caso as suspeitas se confirmem, utilizar a avaliação de risco à saúde. O resultado desta avaliação de risco poderá apontar a necessidade de remediação a ser feita pelo poder público. Na inexistência de risco, o terreno pode ser utilizado para qualquer uso. No caso de haver necessidade de remediação, a sociedade deve decidir o quanto quer pagar pela descontaminação ou, em outras palavras, o quão profunda deseja que a remediação seja feita. Esta decisão da sociedade, equilibrada pelas demais forças, indicará o uso a ser dado a cada local específico.

A sociedade deve discutir qual uso deseja para a área em discussão, associado à profundidade com a qual quer que a remediação seja feita. As duas variáveis estão sempre interligadas, pelo que a direção técnica dos debates deverá, desde o início do processo, tornar claro aos partícipes este aspecto, uma vez que os custos recairão direta ou indiretamente na população.

A manifestação da sociedade se fará durante reunião em local público, de preferência na Câmara Municipal ou na Prefeitura Municipal, por meio de um porta-voz,

escolhido pelos partícipes e autorizado pelo poder que convocou a reunião, após discussão, debate públicos, seguidos de votação pública do assunto. A sociedade será mobilizada nos mesmos moldes em que atualmente o é, para o caso de poluição em outros compartimentos ambientais, nos locais onde a opinião pública é mais desenvolvida. Esta consciência foi conquistada nesses municípios, a custa de educação ambiental, informação e organização, em um grande esforço para desenvolvimento da cidadania, para esta causa.

Para que a decisão da sociedade tenha a necessária representatividade, deverão ser convocados e estar presentes, com direito a assessores técnicos conhecedores do assunto, os interessados e os setores organizados da sociedade, que escolherão dentre as diferentes alternativas, a que lhes for mais conveniente.

A proposta assim escolhida passará por análise técnica pelos poderes executivo e legislativo, de onde deverá surgir a aprovação técnica e indicação de encaminhamento, ou uma alternativa de solução. A palavra final será dada pela votação no plenário da Câmara Municipal, seguida de sanção do Poder Executivo.

Para os terrenos de propriedade privada a investigação, em suas diversas fases, deve ser obrigatória e executada pelo proprietário.

7 RECOMENDAÇÕES

Como a atividade humana degrada o Meio Ambiente, é aconselhável que a legislação ambiental tenha caráter preventivo e leve em conta os problemas de contaminação do meio ambiente já existentes, bem como o ciclo de vida do produto e da empresa.

Aconselha-se que as Leis Municipais de Uso e Ocupação do Solo e os Planos Diretores do Município devem considerar o ciclo de vida dos empreendimentos.

Recomenda-se que os planos Diretores do Município e as Leis de Zoneamento Urbano baseiem-se na avaliação de risco à saúde da população e à proteção dos bens a que se refere à Legislação.

Recomenda-se que a legislação de uso e ocupação do solo inclua a obrigatoriedade de um certificado de conformidade de uso do solo para atestar as possíveis utilizações dos terrenos que outrora abrigaram indústria ou outra atividade potencialmente poluidora.

Aconselha-se que a legislação ambiental e a de uso e ocupação do solo coordenadamente introduzam o registro ambiental dos imóveis.

É recomendado que o processo de desativação de um empreendimento não omita a fase de avaliação de risco à saúde.

Recomenda-se que a instalação de uma nova atividade ou empreendimento em local não contaminado ou recuperado contemple os avanços tecnológicos necessários a prevenir a deterioração significativa da área.

Recomenda-se estabelecer grupo de trabalho para estudar substâncias químicas atualmente sem valores orientadores para o solo e águas subterrâneas e estabelecer esses valores com base no princípio da precaução.

É aconselhável aprofundar os estudos comparativos entre os dois métodos de avaliação de risco à saúde e ao meio ambiente, o ACBR e o Csoil.

É aconselhável fazer estudos para determinação de valores específicos, para solos tropicais, para os parâmetros envolvidos neste processo de cálculo.

8 CONCLUSÕES

O método utilizado nesta dissertação mostrou-se adequado para identificar os perigos e riscos associados a substâncias químicas presentes na água subterrânea, no solo e no ar provenientes do aquífero freático ou do solo. Esta conclusão se justifica pelo fato de uma vez conhecida a concentração do contaminante existente em um ou mais compartimentos ambientais, ser possível quantificar suas conseqüências.

A metodologia proposta mostrou-se eficaz na determinação do uso a ser dado a áreas contaminadas, uma vez que o procedimento permite quantificar os riscos existentes e conseqüentemente possibilitar a escolha de atividades a serem exercidas localmente, sem causar efeitos deletérios à saúde humana, dentro dos níveis de risco inicialmente propostos e tidos como aceitáveis.

A metodologia proposta mostrou-se adequada para estabelecer o uso e ocupação do solo, portanto para orientar na elaboração da legislação pertinente.

A remediação levada a efeito no solo, até o momento em que foram colhidos os dados, ainda não foi suficiente para permitir uso mais nobre do terreno utilizado na análise de caso, a rigor, para nenhum uso sem a imposição de restrições grandes.

A ingestão de água representa o maior risco à saúde e a maior limitação de uso dos solos contaminados.

O aquífero freático no terreno da indústria objeto do estudo de caso não pode ser utilizado para consumo humano, esta limitação não impede que o sítio seja utilizado industrialmente, desde que não se consuma a água do aquífero freático.

O terreno como está só possibilita reúso, com grandes restrições, no entanto, com a remediação do solo e descontaminação da água subterrânea poderá até mesmo ser utilizado para finalidade residencial.

REFERÊNCIAS

ALEM SOBRINHO, P – **Encapsulamento de Resíduos de Lamas Galvânicas através da Solidificação em Matrizes de Cimento**, in Seminário Nacional sobre Reúso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais. Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo agosto de 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT, - ABNT NBR 10004:2004 – Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004

ANDRÉA, M.M. **Contaminação do solo por pesticidas**. Centro de Proteção Ambiental do Instituto Biológico. O Biológico, vol 60 nº 2, s/d. Disponível em: http://www.geocities.com/~esabio/agua/contaminacao_pesticidas.htm. Acessada em 30 de dezembro de 2006.

ARMIENTA, M. A., et al. – **Heavy Metals Dynamics in a River Impacted by Mining in México**. XIII International Conference on Heavy Metals in the Environment – Rio de Janeiro, 5 a 9 de junho de 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIAL - ASTM E 1739 - 95 (2002) **Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites**. Publicação ASTM Internacional (RBCA)

AYRES DA SILVA, A. C. M., 2002, **A importância dos fatores ambientais na reutilização de imóveis industriais em São Paulo**. Dissertação de mestrado IGUSP, 106 p.

BLANC, A. et al. **Life cycle assessment as a tool for controlling the development of technical activities: application to the remediation of a site contaminated by sulfur**. Advances in Environmental Research, vol 8, no 3-4, 613-627.

BRANCO, S. MURGEL – **O Fenômeno Cubatão na Visão do Ecólogo**, CETESB/ASCETESB, 1984

BRASIL Lei Federal Nº 9.605, DE 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. (Lei de Crimes Ambientais) 1998

_____. Ministério da Saúde Portaria nº 518 de 25 de março de 2004, publicada no DOU, nº 59, em 26 de março de 2004, seção 1, p 266 a 270 Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

BRUNA, G.C.; ANDRADE; ROMERO, M., **Uso e Ocupação do Solo na Região Metropolitana de São Paulo e seus Reflexos nos Recursos Hídricos**. In XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Cancun México 2002.

CARRARA,S.M.C.M.; MORITA,D.M.; BOSCOV,M.E. – **Biorremediação de áreas contaminadas por plastificantes: caso do ftalato de di-2-etilhexila** - Curso de Bio-remediação Ambiental São Paulo, 18 de maio de 2005

CASARINI, D.C.P.; SPILBORGHES, M.C.F., 1995 - **Biorremediação: Tecnologia Inovativa para Remediação de Locais Contaminados**. CETESB 1995

CETESB,1999 **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas** CETESB/GTZ. – São Paulo:CETESB,1999. 385 p.

CETESB 2001 – **Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. CETESB S.P.

CETESB 2001a - Processo 25/00060/01.

CETESB, 2001b – **Ações Corretivas Baseadas em Risco (ACBR) Aplicadas a Áreas Contaminadas com Hidrocarbonetos Derivados de Petróleo e Outros Combustíveis Líquidos – Procedimentos** Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br> Consulta em 12 dez 2006.

CETESB 2003 - Parecer Técnico 100/ESCA/03 – Relatório interno.

CETESB: GTZ, 2003 – Guia Para Avaliação do Potencial de Contaminação em Imóveis

CETESB, 2006 – www.cetesb.sp.gov.br - página consultada em 20 de julho de 2006,

CHEVALIER, L.R et al. **Experimental Investigation of Surfactant Enhanced Dissolution of Residual NAPL in Saturated Soil** Ground Water Monitoring Review, vol. 17, no. 4, pp. 89-98, 1997.

CHUN-YANG, Y, SHAABAN G, MAHMUD H B. **Chemical Stabilization of Scrap Metal Yard Contaminated Soil Using Ordinary Portland Cement: Strength and Leachability Aspects**, Building and Environment vol 42, no 2, 794-802, 2007 (no prelo)

CONAMA, 1986. **Resolução 020/86** Data da legislação: 18/06/1986 - Publicação DOU: 30/07/1986, que "Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Disponível à página <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Consulta em 20 out 2005

CONAMA, 2005. **Resolução 357/05** Resolução CONAMA Nº 357/2005 - Publicada no DOU em 18 mar 2005. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>

COURA, R. B.et al – **Quantification of Zinc Concentration in Rural Áreas Near to Industry of Lead recycling FAE S/A** – XIII International Conference on Heavy Metals in the Environment – Rio de Janeiro, 5 a 9 de junho de 2005.

COUTO, M. L. TEIXEIRA - **Atualização dos fatores de exposição e sua influência nos valores de intervenção para solo do estado de São Paulo**. Dissertação de Mestrado na UNICAMP. [s.n.], 2006.

CUBATÃO Lei Complementar Nº 2.512, 10 DE SETEMBRO DE 1.998 Institui o novo plano diretor do município de Cubatão, e dá outras providências. Município de Cubatão.

____ Lei Municipal Complementar nº 2513, de 10 de setembro de 1.998, que institui normas sobre o parcelamento, uso e ocupação do solo do município de Cubatão, e dá outras providências. Município de Cubatão.

____ Lei complementar nº 2514 de 10 de setembro de 1.998, que dispõe sobre o código de obras e edificações do município de Cubatão. Município de Cubatão.

CUNHA, R.C.A., 1997 – **Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas por Fontes Industriais Desativadas – Estudo de Caso**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia. USP - Instituto de Geociências.

Decreto 47400 de 4 de dezembro de 2002 regulamentador da Lei Estadual 9509 de 20 de março de 1997, que dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente, seus fins e mecanismo de formulação e aplicação.

DOMINGOS, M., 1998, **Biomonitoramento da fitotoxicidade da poluição aérea e da contaminação do solo na região do complexo industrial de Cubatão**, São Paulo, utilizando *Tibouchina pulchra* Cogn. como espécie indicadora. Tese de doutorado, 216 p.

EEA (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY). **Progress in management of contaminated sites (CSI 015)** Assessment DRAFT created Jul 2006. Disponível em http://themes.eea.europa.eu/IMS/ISpecs/ISpecification20041007131746/IAssessment1152619898983/view_content. Acesso em 17/03/2006.

EKOS Brasil **Remediação e Revitalização de Áreas Contaminadas**, 2004 (diversos autores) – Editores Ernesto Moeri, Rodrigo Coelho, Andreas Marker.

EKOS IV Seminário Internacional sobre Remediação de Sites Contaminados – Instituto Ekos Brasil 2006. Consulta na Internet <http://www.ekosbrasil.org/seminário>. Consulta em 27/7/2006

EPA, 1971 - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. U. S. EPA National Exposure Research Laboratory (NERL). Microbiological and Chemical Exposure Assessment Research Division (MCEARD). Method 354.1. Nitrogen, Nitrite (Spectrophotometric). Cincinnati, Ohio: EPA. 1971.

____ 1974 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. U. S. EPA National Exposure Research Laboratory (NERL). Microbiological and Chemical Exposure Assessment Research Division (MCEARD). Method 350.2. Nitrogen, Ammonia

(Colorimetric; Titrimetric; Potentiometric - Distillation Procedure). Cincinnati, Ohio: EPA. 1974.

____ 1974a - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. U. S. EPA National Exposure Research Laboratory (NERL). Method 353.3. Nitrogen, Nitrate-Nitrite (Spectrophotometric, Cadmium Reduction). Cincinnati, Ohio: EPA. 1974.

____ 1978 - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. U. S. EPA National Exposure Research Laboratory (NERL). Method 351.3. Nitrogen, Kjeldahl, Total (Colorimetric; Titrimetric; Potentiometric). Cincinnati, Ohio: EPA. 1978.

____ 1985 – **Development of Statistical Distribution or Ranges of Standard Factors Used in Exposure Assessments**. Office of Health and Environmental Assessment.

____ 1989 – **Guidance Manual for Assessing Human Health Risks From Chemically Contaminated Fish and Shellfish**. Office of Marine and Estuarine Protection. EPA/503/8-89/002

____ 1989a – **Risk Assessment for Superfund– Human Health Evaluation Manual** – (Part A) – Vol I Interim Final EPA/540/1-89/02, dec. 1989.

____ 1989b. – **Exposure Factors Handbook**. Office of Health and Environmental Assessment. EPA/600/8-89/043. 1989.

____ 1989c – **Interim Final Guidance for Soil Ingestion Rates**. Office of Solid Waste and Emergency Response. (OSWER Directive 9850.4).

____ 1994 - **How to Evaluate Alternative Cleanup Technologies for Underground Storage Tanks Sites - A Guide for corrective action plan reviewers** (EPA 510-B-94-003)

____ 1994a ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. U. S. EPA National Exposure Research Laboratory (NERL). Microbiological and Chemical Exposure Assessment Research Division (MCEARD). Method 245.1. Mercury (Manual Cold Vapor Technique). Cincinnati, Ohio: EPA. Revision 3.0, 1994.

____ 1997 – <http://www.epa.gov/reg50air/tristate/airrsk.htm>

____ 1997a **Ecological Risk Assessment Guidance for Superfund: Process for Designing and Conducting Ecological Risk Assessments** - Interim Final June 1997, EPA 540-R-97-006. Disponível em www.epa.gov. Acesso em 16 dez 2006.

____ 1999 - **Ecological Risk Assessment and Risk Management Principles for Superfund Sites**, (Issuance of Final Guidance) October 7, 1999. Disponível em www.epa.gov. Acesso em 17 dez 2006.

____ 2004 - **Preliminary Remediation Goal** - EPA - Region 9" Disponível em <http://www.epa.gov/region09>>. Acessado em 28 jul de 2006.

_____,2005 **Contaminated Sediment Research Multi-Year Implementation Plan** 2005, EPA/600/R-05/033 May 2005

_____,2006 - EPA 6010B, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. SW-846 On-line2006.Disponível em <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/main.htm#table>.

_____,2006 - EPA, 8082,ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. SW-846 On-line 2006. Disponível em <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/main.htm#table>.

_____,2006 - EPA, 8260B ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. SW-846 On-line 2006. Disponível em <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/main.htm#table>.

_____,2006 - EPA, 8100 ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. SW-846 On-line 2006. Disponível em <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/main.htm#table>.

_____,2006 - EPA, 8270C ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. SW-846 On-line 2006. Disponível em <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/main.htm#table>.

ESTADOS UNIDOS– **Emscher Park Case Study** USEPA Internacional Cooperation/Urban Environment/International Brownfields Partnership/Emscher Park Case Study (s.d.)

FERGUSON, C. et al (editors) 1998 **Risk Assessment for Contaminated Sites in Europe**. Volume 1. Scientific Basis. LQM Press, Nottingham.

FOLHA ONLINE – cotidiano 22/08/2005 – www1.folha.uol.com.br, consulta em 26/07/2006.

Folha www.folha.com.br – cotidiano 22/06/2006, consulta em 26/07/2006.

GLOEDEN, E. **Gerenciamento de Áreas Contaminadas na Bacia Hidrográfica do Reservatório Guarapiranga**. Tese de Doutorado, 1999. IG-USP

GRAZIA, C. A. E PESTANA, M. H. D., 2005 – **Mercury Contaminated Soils in Gold Mining Areas of Lavras do Sul, RS, Brazil**. In XIII International Conference on Heavy Metals in the Environment – Rio de Janeiro, 5 a 9 de junho de 2005.

GUTBERLET, J. 1996 Cubatão: **Desenvolvimento, Exclusão Social e Degradação Ambiental** – Edit. Universidade de São Paulo, FAPESP

HULING,S.G. AND PIVETZ, B.E. **In-Situ Chemical Oxidation. Engineering Issue** EPA/600/R-06/072 August 2006.

INCA – Instituto Nacional do Câncer www.inca.gov.br acessado em 18 de julho de 2006.

INTERNATIONAL BROWNFIELD EXPERIENCE - **The Nature of Possibility**. Disponível em http://www.waterfronttrail.org/pdfs/ibe_2000_02.pdf. Acessado em 10 dez 2006.

GROUP COUNCIL ON ENVIRONMENTAL QUALITY **.Improving Federal Facilities Cleanup: Report of the Federal Facilities Policy**. Oct 1995 Disponível em: <http://www.epa.gov/fedfac/documents/octscan.htm>. Acesso em 09 dezembro 2006.

KUNKEL, AM et al. **Remediation of elemental mercury using in situ thermal desorption (ISTD)**, ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY, 40 (7): 2384-2389 APR 1 2006. Acesso <portal.ISI Web of Knowlegde.com>, em 12 dez 2006.

LAGREGA, D.M.; BUCKINGHAM, P.L.; EVANS, J.C.; **Environmental Resources Management. Hazardous Waste Management**, 2nd ed. McGraw-Hill, 2001. 1202 p.

LEE K K et al, Yu. Dae Won Ind Co Ltd (Daew-N); Keang Nam Enterprises Ltd (Kean-N); Korea Inst Constr Technology (Kocs-N); Ecoland Co Ltd (Ecol-N) B09C-001/00; B09C-001/08, Coréia KR2006009978-A 27 Jul 2004 , publicada em 02 Fev 2006

Lu X, Yuan S, Univ Huazhong Sci & Technology (Uyhu-N), B09C-001/00; B09C-001/08, CN1827248-A, 12 Abr 2006 publicada em 06 set 2006

MacDonald D.H., Connor J and Morrison M. - Economic Instruments for Managing Water Quality in New Zealand - CSIRO LAND and WATER Folio N S/03/1393 Final report, jan 2004.

MORITA, D.M. IV Congresso Estadual de Áreas Contaminadas e Saúde: Contaminação do Solo e Recursos Hídricos. 8 a 9 de dezembro de 2005 FSP USP

MORITA, D.M. **Tratabilidade de Águas Residuárias Contendo Poluentes Perigosos: Estudo de Caso**. Tese (doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo. 1993. 4v. 948p.

MOURA, A.N.; MORITA, D.M. **Remediação de solos contaminados com metais pesados utilizando *Thiobacillus sp*** – Curso de Bio-remediação Ambiental – São Paulo, 18 de maio de 2005.

MPCA - Minnesota Pollution Control Agency – **Framework for Pollution Prevention Activities at Remediation Sites** – Issue Brief N. 1, October, 15, 1998.

NAKAGAWA, LIA EMI, 2003, **Alteração das características do solo para remoção de hexaclorobenzeno de área contaminada**. Tese de doutoramento.

NATO 1998 Annual Report NATO CCMS **Pilot Study – Evaluation of demonstrated and emerging technologies for the treatment and clean up of contaminated land and groundwater Phase III** Vienna Austria February 23-27, 1998

PAO, E.M., FLEMING, K.H., E MICKLE, S.J. 1982. **Food Commonly Eaten by Individuals: Amount Per Day and Per Eating Ocasión**. U.S. Department of Agriculture.

PEREIRA, W.S.; FREIRE, R.S.. **Ferro zero: uma nova abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes**. Quím. Nova., São Paulo, v. 28, n. 1, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>>. Acesso em: 18 Nov 2006.

PETTS, J A; PHILIPPI JR.. Urban Agriculture in London jan/2001. Relatório da WHO – Regional Office for Europe EUR/01/5026025(1)

PHILIPPI JR, A., ROMÉRO, M.A., BRUNA, G.C. Curso de Gestão Ambiental, USP, FSP, FAU, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental, Barueri, SP: Manole, 2004

PINTO, C. S. **Cubatão História de uma Cidade Industrial**, 194 p.:il. ISBN 905229, 2005.

PIRES, F.R. et al . **Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. Planta daninha**. Viçosa, v. 21, n. 2, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>> Acesso em: 19 Nov 2006.

QICHAO W, , ZHIGUO, S. LEI, ZHANG, 2005 – **Study on Evolving Process of Mercury Pollution and its Mechanism in the Second Songhua River**, China. XIII International Conference on Heavy Metals in the Environment – Rio de Janeiro, 5 a 9 de junho de 2005.

RASMUSSEN, G, OLSEN, R A - **Sorption and biological removal of creosote-contaminants from groundwater in soil/sand vegetated with orchard grass (*Dactylis glomerata*)** Advances in Environmental Research vol 8 no 3 and 4, march 2004, 313-327

REDDY, L.R., SEMER, R. E J.A. ADAMS: **Air Flow Optimization and Surfactant Enhancement to Remediate Toluene-Contaminated Saturated Soils Using Air Sparging** Environmental Health and Management, vol. 10, no. 1, pp. 52-63, 1999.

consultado em 26 de julho de 2007.

RISC Workbench – Human Health Risk Assessment Software for Contaminated Sites – User's Manual. Waterloo Hydrologic, Inc, 2001.

ROCCA, A. Tierramerica Médio Ambiente e Desarrollo, 19 de fevereiro de 2006,

SANCHEZ, L.E., Engenharia: **O Passivo Ambiental na Desativação de Empreendimentos Industriais**. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

SANTOS, R.C.F. et al **Influência do etanol na biodegradação do benzeno, em aquíferos contaminados por derramamento de gasolina**, Simpósio Ítalo - Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 3 – Gramado, 9 – 13 de junho de 1996.

SÃO PAULO (ESTADO) Lei Estadual Nº 9.509/97, de 20 de março de 1997. Dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. São Paulo 1997

____ Lei Estadual Nº 997, DE 31 DE MAIO DE 1976 Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. São Paulo, 1976 Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Consulta em 27 jul 2006.

____ 1976. Decreto 8468 Regulamento da Lei 997/76. Disponível em www.cetesb.sp.gov.br. Acesso em 02 ago 2006

SÃO PAULO (MUNICÍPIO) Decreto nº 42_319, de 21 de agosto de 2002 que dispõe sobre diretrizes e procedimentos relativos ao gerenciamento de áreas contaminadas no Município de São Paulo

____ Lei Municipal de São Paulo Nº 13.430 de 13 de setembro de 2002 (Projeto de Lei nº 290/02, do Executivo) que estabelece o Plano Diretor da Cidade de São Paulo

SARUBBI, A. **Remediación de suelos y aguas freáticas en sitios contaminados**. Ingeniería Sanitaria e Ambiental; (39); 66-70-jul-ago 1998.

SOUSA, C, 2001 – **Contaminated Sites: The Canadian Situation in an International Context** - Journal of Environmental Management, 62, 131-154.

SWARTJES, F.A. – RIVM report 711701030/2002 - **Variation in calculated human exposure**. National Institute for Public Health and the Environment 122p. CLARINET Working Group Human Health.

Senado Americano 107º ano, 1ª sessão. **Brownfield Revitalization and Environmental Restoration Act of 2001**. Report 107/02 Disponível à página da Internet: <<http://www.epa.gov/NE/brownfields/pdfs/LegislativeHistory.pdf>>. Acesso em 10 dez 2006.

SHIH-HSIEN C. et al. – **Comparison of RBCA and CALTOX for setting risk-based cleanup levels based on inhalation exposure**. 13 fev 2004. ScienceDirect – Chemosphere, vol 56, n. 4, jul 2004, pp 359, 367.

SILLOS, M. 2005 – **O Papel dos Processos de Biorremediação nos EUA e Brasil – Futuro dos Processos de Remediação**. SERVIMAR. Disponível em <www.remедиacao.com.br>. Consulta em 02 jul 2006.

SILVA, A.L.M.A. et al 2003. **Guia para Avaliação do Potencial de Contaminação em Imóveis** CETESB, 81 pág.

SUN, L., YUANGEN Y., XINBIN, F., WEIYANG, B., 2005 – **The Research of Nature Plant in the Lead/Zinc Mine in North Western Guizhou Province**. XIII International Conference on Heavy Metals in the Environment – Rio de Janeiro, 5 a 9 de junho de 2005.

TIBURTIUS, E. R. L. et al . **Degradação de BTXs via processos oxidativos avançados**. Quím. Nova., São Paulo, v. 28, n. 1, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo> Acesso em: 18 Nov 2006.

U.S. Environmental Protection Agency, Low Temperature Thermo Treatment System, EPA/540/MR-92-019, U.S. EPA, September 1992.

VAINRUB E. **Twenty Years after the Chernobyl nuclear power plant accident 2006** USEPA Improving Federal Facilities Cleanup: Report of the Federal Facilities Policy Group Council on Environmental Quality. Disponível em <http://www.epa.gov/fedfac/documents/octscan.htm> consulta em 20 de agosto de 2006.

VAN EPPS, A **Phytoremediation of Petroleum Hydrocarbons** August 2006 Environmental Careers Organization for U.S. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response Office of Superfund Remediation and Technology Innovation Washington, DC.

WESCHLER, C.J.; SHIELDS, H.C., **Indoor ozone/terpene reactions as a source of indoor particles**; Atmospheric Environmental; 33 (15):2301-2312, jul 1999.

<http://cfpub.epa.gov/iris>. Acesso em 19/01/2007.

http://www.essencis.com.br/serv_rem.asp

<http://www.epa.gov/radiation/rert/chernobyl.html> Acessada em 22/08/2006

http://epw.senate.gov/107th/fie_0629htm. Consulta em 28/07/2006

http://www.cetesb.sp.gov.br/Ambiente/camaras/texto_ca/com_deriv_petro.asp, consulta em 02 de agosto de 2006.

www.cetesb.sp.gov.br/Noticias/003/10/29_barao_maua. Acesso em 22/08/2006

<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/29092003estatisticasecxhtml.shtm> Acesso em 15/07/2006.

<http://radefx.bcm.tmc.edu/chernobyl/english/links.htm> Acesso em 26/08/2006.

GLOSSÁRIO, DEFINIÇÕES E EXPLICAÇÕES

Neste tópico é mostrado o significado dos termos mais importantes empregados no corpo desta dissertação. Não foi o objetivo ser exaustivo.

ACBR

Processo de cálculo de risco à saúde a partir de dados de concentração de contaminantes presentes no solo. É o acrônimo para Ações Corretivas Baseadas em Risco.

Ação corretiva

Seqüência de ações que incluem investigação da área, ação de remediação provisória, ação de remediação, operação e manutenção de equipamentos, monitoramento do progresso e encerramento da ação da ação de remediação. (ASTM E 1739 - 95 (2002)).

Área contaminada (AC)

Área onde há comprovadamente poluição causada por quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados, e que determina impactos negativos sobre os bens a proteger. (CETESB, 1999).

Análise temporal

Estudo de documentos e fotos aéreas de diferentes datas, visando à realização do estudo histórico de uma determinada área. (CETESB, 1999).

Área degradada

Área onde há ocorrência de alterações negativas das suas propriedades físicas, tais como sua estrutura ou grau de compacidade. (CETESB, 1999).

Área potencialmente contaminada (AP)

Área onde estão sendo desenvolvidas ou onde foram desenvolvidas atividades potencialmente contaminadoras. (CETESB, 1999).

Área suspeita de contaminação (AS)

Área na qual, após a realização de uma avaliação preliminar, foram observadas indicações que induzem a suspeitar da presença de contaminação. (CETESB, 1999).

Atenuação

Redução da concentração de composto químico de interesse no meio ambiente dada em uma distância e tempo, em função de processos como difusão, dispersão, absorção, degradação química, biodegradação etc. (ASTM E 1739 - 95 (2002)).

Atividade antropogênica

Neste contexto, são as atividades causadoras de impactos ambientais, exercidas pelo homem.(adaptado de EPA 1989^a)

Atividade potencialmente contaminadora

É aquela em que ocorre o manejo de substâncias cujas características físico-químicas, biológicas e toxicológicas podem acarretar danos aos bens a proteger, caso entrem em contato com os mesmos. (CETESB, 1999).

Avaliação de risco

Em relação à investigação de áreas contaminadas, é o processo pelo qual se identificam e avaliam os riscos potenciais e reais que a alteração do solo pode causar à saúde humana e a outros organismos vivos. (CETESB, 1999).

Avaliação ecológica

Estudo qualitativo do efeito atual ou potencial do composto químico de interesse em plantas e animais que não sejam pessoas ou espécies domésticas. (ASTM E 1739 - 95 (2002)).

Avaliação da exposição

Determinação ou a estimativa (qualitativa ou quantitativa) da magnitude, frequência, duração e rota de exposição. (ASTM E 1739 - 95 (2002)).

Avaliação preliminar

Etapa do gerenciamento de AC que objetiva encontrar indícios de uma possível contaminação do solo e águas subterrâneas, através das informações obtidas nos estudos histórico e de fotos aéreas e em inspeções em campo. A partir dessa etapa, a área em estudo poderá ser classificada como suspeita (AS) ou contaminada (AC). (CETESB, 1999).

Bens a proteger

Bens que, segundo a Política Nacional do Meio Ambiente e legislações decorrentes desta, devem ser protegidos. São considerados como bens a proteger:

- saúde e bem-estar da população;
- fauna e flora;
- qualidade do solo, das águas e do ar;
- interesses de proteção à natureza/paisagem;
- ordenação territorial e planejamento regional e urbano;
- segurança e ordem pública. (in CETESB, 1999).

Brownfield

“Brownfields”

Segundo o EPA, são locais abandonados, desocupados ou subutilizados onde a expansão ou redensolvimento é complicada por contaminação ambiental real ou percebida. www.epa.gov/swerosps/bf/.

Ou ainda:

O termo área brownfield significa uma propriedade, cuja expansão, redensolvimento ou reuso pode ser complicada pela presença ou potencial presença de substância perigosa, poluente ou contaminante.

Para o Clarinet

Brownfield em termos gerais é a terra usada no passado de forma que a deixou não disponível para novo uso de modo completo

Ou

Que tenha sido afetada pelo seu proprietário anterior ou pelo de algum vizinho ou que seja subutilizada ou vazia, que tenha problemas de contaminação real ou

percebida e geralmente encontra-se em locais urbanos e bem desenvolvidos e que necessitem de intervenção para trazê-las de volta a uso benéfico.

Cadastro de áreas contaminadas (AC)

Conjunto de operações que estabelecem o registro e o armazenamento dos dados obtidos sobre áreas potencialmente contaminadas (APs), áreas suspeitas de contaminação (ASs) e áreas contaminadas e áreas contaminadas (ACs). É considerado o instrumento central do gerenciamento de AC, sendo composto de duas partes principais: cadastro físico e cadastro informatizado. (CETESB, 1999).

Cadastro físico

Parte do cadastro de AC, em que devem ser armazenadas as informações disponíveis sobre as áreas na forma de fichas cadastrais, mapas, relatórios etc. (CETESB, 1999).

Cadastro informatizado

Parte do cadastro de AC, constituído por um banco de dados alfanumérico, associado ou não a um Sistema Geográfico de Informações (SGI), de forma a agilizar a visualização da situação e facilitar o planejamento das ações posteriores. (CETESB, 1999).

CERCLA

Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act Lei Americana que exige reação ambiental ampla e obriga à compensação e implica a responsabilidade sobre contaminações ambientais.

Classificação das áreas

É o procedimento central que por meio das informações da Ficha Cadastral de ACs, permite definir se as áreas são APs, ASs ou ACs. (CETESB, 1999).

Composto químico de interesse

Constituintes específicos identificados para avaliação em um processo de avaliação de risco. (ASTM E 1739 - 95 (2002)).

Contaminação

Introdução no meio ambiente de organismos patogênicos, substâncias tóxicas ou outros elementos, em concentrações que possam afetar a saúde humana. É um caso particular de poluição. (CETESB, 1999).

Controles de engenharia

Modificações efetuadas no local ou em facilidades (por exemplo barreiras de contenção com lama, cobertura e tratamento de água no ponto de consumo) para reduzir ou eliminar o potencial de exposição a um composto químico de interesse. (ASTM E 1739 - 95 (2002)).

CSoil

Aplicativo com a metodologia para cálculo de risco à saúde, semelhante ao ACBR

Definição de região de interesse

São os limites da região a ser considerada no gerenciamento de AC. (CETESB, 1999).

Estudo histórico industrial

Coleta e análise de informações existentes sobre a área, visando definir as formas como eram manuseadas as substâncias. (CETESB, 1999).

Exposição

Contato de um organismo com um composto químico de interesse na região de absorção (por exemplo, pele, pulmões e fígado) e disponíveis para absorção. (ASTM E 1739 - 95 (2002)).

Foco de contaminação

São os pontos em uma AC, onde são detectadas as maiores concentrações do(s) contaminante(s), na maioria das vezes relacionados à fonte de poluição. (CETESB, 1999).

Fonte de contaminação

Local onde foi gerada a contaminação ou onde funciona ou funcionou uma atividade potencialmente contaminadora. (CETESB, 1999).

Gerenciamento de AC

É o conjunto de medidas tomadas com o intuito de minimizar o risco proveniente da existência de áreas contaminadas, à população e ao meio ambiente. Essas medidas devem proporcionar os instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas. (CETESB, 1999).

Identificação de AP

Etapa do gerenciamento de AC em que são identificadas, dentro da região de interesse, as áreas potencialmente contaminadas, a partir de denúncias, reclamações e do levantamento das atividades potencialmente contaminadoras. (CETESB, 1999).

Índice de perigo

A soma de dois ou mais quocientes de perigo para múltiplos compostos químicos de interesse ou múltiplas vias de exposição, ou ambos. (ASTM E 1739 - 95 (2002)).

Instalação ('facility')

Propriedade, que contém a fonte do composto químico de interesse, onde um vazamento ocorreu. (ASTM E 1739 - 95 (2002)).

Investigação confirmatória

Etapa do gerenciamento de AC em que são feitos estudos e investigações com o intuito de comprovar a existência da contaminação em uma AP ou AS. (CETESB, 1999).

Investigação detalhada

Parte da recuperação de AC em que devem ser avaliadas as características da fonte de contaminação e do meio afetado, por meio da determinação das dimensões da área afetada, dos tipos e concentração dos contaminantes presentes e da pluma de

contaminação, visando obter dados suficientes para a realização da avaliação de risco e do projeto de recuperação. (CETESB, 1999).

Investigação para remediação

O objetivo é selecionar, dentre as várias opções de técnicas existentes, aquelas ou a combinação daquelas, que são possíveis, apropriadas e legalmente permitidas para o caso considerado. (CETESB, 1999).

LOAEL

Nível mais baixo de efeito adverso observado.

Nível basal

Nível de uma variável encontrado no ambiente independente da atividade humana. (adaptado de EPA 1989a)

NOAEL

Nível de efeito adverso não observado.

Métodos diretos de investigação

Aqueles em que a aquisição de informações sobre o meio ou extensão da contaminação é realizada por meio de coleta e análise de amostras de solo e águas subterrâneas, utilizando-se de diferentes técnicas de perfuração. (CETESB, 1999).

Métodos geofísicos

São técnicas indiretas de investigação das estruturas de subsuperfície por meio da aquisição e interpretação de dados instrumentais com métodos não invasivos e não destrutivos. (CETESB, 1999).

Métodos indiretos de investigação

Métodos de investigação em que são realizadas medidas de certas propriedades do meio que possam indicar as características da área, sem a realização de coleta de amostras para análise, por exemplo, os métodos geofísicos. (CETESB, 1999).

Modelo conceitual

É uma síntese das informações relativas a uma área em estudo, onde se pode visualizar, por meio de texto explicativo ou ilustração, a localização da contaminação, a sua forma de propagação e a sua relação com os bens a proteger existentes. (CETESB, 1999).

Monitoramento

Medição contínua ou periódica da qualidade ou características de um meio. (CETESB, 1999).

Níveis de risco carcinogênico incrementais

O potencial para efeitos incrementais carcinogênicos à saúde humana devido à exposição ao composto químico de interesse. (ASTM E 1739 - 95 (2002)).

Pluma de contaminação

Delimitação da extensão da contaminação de um meio (ar, água e solo). (CETESB, 1999).

Poluição

Definida na Lei Federal 6938/81

Art 3º: III – “Degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos” (CETESB, 1999).

PRG

“Preliminary remediation goals” Objetivos preliminares de remediação.

Priorização

Ação que conduz a um ordenamento das áreas a serem investigadas / remediadas, em função da importância relativa dos impactos que cada uma das áreas poderá causar, observando-se as características das substâncias presentes, importância dos bens a proteger e possibilidade destes serem atingidos pela contaminação. (CETESB, 1999).

Processo de identificação

É a base do gerenciamento de áreas contaminadas, tendo como objetivo principal a localização das áreas contaminadas.

Processo de recuperação de áreas contaminadas

Etapa do gerenciamento de AC que visa a compatibilização da qualidade da área com o uso do solo. Inclui medidas como remediação ou restrição ao uso do solo. (CETESB, 1999).

Projeto de remediação

É base técnica para o órgão gerenciador ou de controle ambiental avaliar a possibilidade de autorizar ou não a implantação e operação dos sistemas de remediação propostos.

Quociente de perigo

Relação entre o nível de exposição ao composto químico de interesse em um período de tempo especificado e a dose de referência para esse composto químico de interesse obtida para um período de exposição similar. (ASTM E 173 - 95 (2002)).

RBCA

Risk Based Corrective Actions – Ações corretivas baseadas em risco, é um processo de tomada de decisão baseada no risco à saúde humana ou ao meio ambiente. Trata-se do processo original desenvolvido pela ASTM, que veio a ser traduzido no Brasil pela Câmara de Comércio de Derivados de Petróleo e pela própria ASTM.

Redesenvolvimento

No contexto deste trabalho define-se redesenvolvimento como o aproveitamento de uma área anteriormente abandonada ou contaminada, após um processo de

recuperação que tornou possível sua reutilização de forma econômica, técnica social e ambientalmente aceitável.

Remediação ativa

Ações tomadas para reduzir a concentração de compostos químicos de interesse. É a alternativa a ser seguida quando os processos de remediação passiva e “nenhuma ação futura” forem considerados não adequados. (ASTM E 1739 - 95 (2002))

Remediação de áreas contaminadas

Aplicação de técnica ou conjunto de técnicas em uma área contaminada, visando à remoção ou contenção dos contaminantes presentes, de modo a assegurar uma utilização para a área, com limites aceitáveis de riscos aos bens a proteger. (CETESB, 1999).

Remediação passiva

Para os efeitos deste trabalho, são os métodos de remediação que fazem uso de técnicas que não necessitam da aplicação de energia externa para continuidade da ação, por exemplo, barreira hidráulica, barreira hidráulica permeável etc.

Risco (referente a áreas contaminadas)

É a probabilidade de ocorrência de um efeito adverso aos bens a proteger em decorrência da sua exposição aos contaminantes presentes em uma AC. (CETESB, 1999).

Rota de exposição

O modo pelo qual um composto químico de interesse entra em contato com um organismo (por exemplo, ingestão, inalação e contato dérmico). (ASTM E 1739 - 95 (2002)).

Sistema Geográfico de Informações (SGI)

É um sistema destinado ao tratamento de dados referenciados espacialmente. Este sistema manipula dados de diversas fontes, como mapas, imagens de satélite, cadastro e outras, permitindo recuperar e combinar informações e efetuar diversos tipos de análise sobre os dados. (CETESB, 1999).

TAC

Termo de ajustamento de conduta. Compromisso entre o Ministério Público, a CETESB e a empresa com passivos ambientais pelo qual esta se propõe a corrigir seus passivos ambientais e ressarcir economicamente o Estado pelos problemas ambientais que causara.

Valores de intervenção

São valores-limite usados para induzir medidas de remediação imediata. (CETESB, 1999).

Valores de investigação

São valores-limite de determinado elemento ou substância no meio avaliado, que ao serem ultrapassados implicam a adoção de ações específicas. (CETESB, 1999).

Valores naturais

São as concentrações observadas naturalmente no solo, água subterrânea e outros meios. (CETESB, 1999).

Via de exposição direta

Uma via de exposição na qual o ponto de exposição está na fonte, sem vazamento para outro meio. (ASTM E 1739 - 95 (2002)).

Via de exposição indireta

Uma via de exposição com pelo menos um vazamento intermediário para qualquer meio entre a fonte e o ponto de exposição (por exemplo, composto químico de interesse a partir do solo, por meio da água subterrânea para o ponto de exposição). (ASTM E 1739 - 95 (2002)).

Vias de exposição

São os caminhos de entrada dos contaminantes no organismo: via inalação, ingestão e contato dérmico. (CETESB, 1999).

Vias de propagação

Meios pelos quais a contaminação se propaga a partir de uma fonte de contaminação: solo, ar, águas superficiais e águas subterrâneas. (CETESB, 1999).

ANEXO A

SUMMARY OF HAZARD QUOTIENTS
For Surface Soil

CASE 1:
Worker - Typical

	Ingestion of Soil	Dermal Contact Soil	TOTAL
Chromium (VI)	8.0E-01	2.6E-01	1.1E+00
Ethylbenzene	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Lead	2.2E-01	7.1E-02	2.9E-01
Mercury	3.5E-01	1.1E+00	1.5E+00
Methyl ethyl ketone	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Styrene	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Toluene	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Xylenes	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Zinc	1.3E-02	4.1E-03	1.7E-02
TOTAL	1.4E+00	1.5E+00	2.8E+00

SUMMARY OF HAZARD QUOTIENTS
For Groundwater

CASE 1:
Worker - Typical

	Ingestion of Groundwater	Dermal Contact Shower	Inhalation During Shower	TOTAL
Chromium (VI)	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Ethylbenzene	2.1E+00	2.9E-02	1.8E-02	2.1E+00
Lead	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Mercury	3.1E-01	1.0E-04	2.1E-02	3.3E-01
Methyl ethyl ketone	2.5E-03	2.4E-06	3.3E-05	2.5E-03
Styrene	4.0E-01	4.2E-03	6.7E-03	4.1E-01
Toluene	8.7E-02	7.4E-04	4.2E-03	9.2E-02
Xylenes	7.4E-05	1.1E-06	1.9E-05	9.4E-05
Zinc	1.3E-02	1.5E-06	0.0E+00	1.3E-02
TOTAL	2.9E+00	3.4E-02	5.0E-02	3.0E+00

NOTE: A zero hazard index may indicate that a RfD
was not entered for that chemical.

Title:
Dissertação Ncâncer
04/27/07 10:59

Scenarios:
Worker - Typical

Routes:
INGESTION OF SOIL
DERMAL CONTACT WITH SOIL
INGESTION OF GROUNDWATER
DERMAL CONTACT DURING SHOWER
INHALATION DURING SHOWER

Chemicals:
Benzo(a)pyrene
Chromium (VI)
Ethylbenzene
Lead
Mercury
Methyl ethyl ketone
Styrene
Toluene
Xylenes
Zinc

SCENARIO:

1

SUMMARY OF INPUT PARAMETERS

LIFETIME AND BODY WEIGHT

Body Weight (kg)	60.
Lifetime (years)	68.

INGESTION OF SOIL

Soil Ingestion Rate (mg/day)	50.
Exp. Frequency Soil (events/year)	2.70E+02
Exp. Duration Soil (years)	45.

Absorption Adjustment Factor for
Ingestion of Soil (-)

Benzo(a)pyrene	1.0
Chromium (VI)	1.0
Ethylbenzene	1.0
Lead	1.0
Mercury	1.0
Methyl ethyl ketone	1.0
Styrene	1.0
Toluene	1.0
Xylenes	1.0
Zinc	1.0

Soil Bioavailability (-)

Benzo(a)pyrene	1.0
Chromium (VI)	1.0
Ethylbenzene	1.0
Lead	1.0
Mercury	1.0
Methyl ethyl ketone	1.0
Styrene	1.0
Toluene	1.0
Xylenes	1.0
Zinc	1.0

DERMAL CONTACT WITH SOIL

Total Skin Surface Area (cm ²)	3.18E+03
Fraction Skin Exposed to Soil (-)	1.0
Adherence Factor for Soil (mg/cm ²)	0.50
Exposure Freq. Soil (events/year)	2.70E+02

Exposure Duration Soil (years)	45.
Absorption Adjustment Factor for	
Dermal Exposure to Soil (-)	
Benzo(a)pyrene	0.10
Chromium (VI)	1.00E-02
Ethylbenzene	0.10
Lead	1.00E-02
Mercury	0.10
Methyl ethyl ketone	0.10
Styrene	0.10
Toluene	0.10
Xylenes	0.10
Zinc	1.00E-02
Soil Bioavailability (-)	
Benzo(a)pyrene	1.0
Chromium (VI)	1.0
Ethylbenzene	1.0
Lead	1.0
Mercury	1.0
Methyl ethyl ketone	1.0
Styrene	1.0
Toluene	1.0
Xylenes	1.0
Zinc	1.0
INGESTION OF GROUNDWATER	
Ingestion rate (l/day)	2.0
Exp. Freq Groundwater (events/year)	2.70E+02
Exp. Duration Groundwater (years)	9.0
Absorption Adjustment Factor for	
Ingestion of water (-)	
Benzo(a)pyrene	1.0
Chromium (VI)	1.0
Ethylbenzene	1.0
Lead	1.0
Mercury	1.0
Methyl ethyl ketone	1.0
Styrene	1.0
Toluene	1.0
Xylenes	1.0
Zinc	1.0
DERMAL CONTACT DURING SHOWER	
Total Skin Surface Area (cm ²)	3.18E+03
Exp. Time For Washing Indoors[hr/d]	0.12
Exp. Freq Groundwater (events/year)	2.70E+02
Exp. Duration Groundwater (years)	9.0
Dermal Permeability Coefficient (cm/hour)	
Benzo(a)pyrene	1.2
Chromium (VI)	1.30E-03
Ethylbenzene	7.40E-02
Lead	0.0
Mercury	1.70E-03
Methyl ethyl ketone	5.00E-03
Styrene	5.50E-02
Toluene	4.50E-02
Xylenes	8.00E-02
Zinc	6.00E-04
Absorption Adjustment Factor for	
Dermal Exposure to Water (-)	
Benzo(a)pyrene	1.0
Chromium (VI)	1.0
Ethylbenzene	1.0
Lead	1.0
Mercury	1.0
Methyl ethyl ketone	1.0

Styrene	1.0
Toluene	1.0
Xylenes	1.0
Zinc	1.0
INHALATION DURING SHOWER	
Volume of Bathroom (m ³)	6.0
Temperature of Shower Water (C)	45.
Shower Flow Rate (l/min)	8.0
Droplet Diameter (cm)	0.10
Shower Droplet Droptime (s)	1.0
Exp. Time For Washing Indoors[hr/d]	0.12
Inhal. Rate in the Shower (m ³ /hr)	0.18
Lung Retention Factor (-)	1.0
Exp. Freq Groundwater (events/year)	2.70E+02
Exp. Duration Groundwater (years)	9.0
Absorption Adjustment Factor for Inhalation (-)	
Benzo(a)pyrene	1.0
Chromium (VI)	1.0
Ethylbenzene	1.0
Lead	1.0
Mercury	1.0
Methyl ethyl ketone	1.0
Styrene	1.0
Toluene	1.0
Xylenes	1.0
Zinc	1.0
Henry's Law Constant (-)	
Benzo(a)pyrene	4.63E-05
Chromium (VI)	0.0
Ethylbenzene	0.32
Lead	0.0
Mercury	0.47
Methyl ethyl ketone	2.33E-03
Styrene	0.11
Toluene	0.27
Xylenes	0.29
Zinc	0.0
Molecular Weight (g/mole)	
Benzo(a)pyrene	2.52E+02
Chromium (VI)	52.
Ethylbenzene	1.06E+02
Lead	0.0
Mercury	2.01E+02
Methyl ethyl ketone	72.
Styrene	1.04E+02
Toluene	92.
Xylenes	1.06E+02
Zinc	65.
MEDIA CONCENTRATIONS	

Concentration in Groundwater (mg/L)	
Used in calculating carcinogenic risk and hazard index	
Benzo(a)pyrene	0.0
Chromium (VI)	0.0
Ethylbenzene	8.4
Lead	0.0
Mercury	3.80E-03
Methyl ethyl ketone	6.10E-02
Styrene	3.3
Toluene	0.70
Xylenes	6.00E-03
Zinc	0.16

Concentration in Surficial Soil (mg/kg)
Used in calculating carcinogenic risk and hazard index

Benzo(a)pyrene	0.85
Chromium (VI)	3.91E+03
Ethylbenzene	0.0
Lead	1.30E+03
Mercury	1.72E+02
Methyl ethyl ketone	0.0
Styrene	0.0
Toluene	0.0
Xylenes	0.0
Zinc	6.26E+03

SLOPE FACTORS AND REFERENCE DOSES

Ingestion Slope Factor [1/(mg/kg-day)]

Benzo(a)pyrene	7.3
Chromium (VI)	ND
Ethylbenzene	ND
Lead	ND
Mercury	ND
Methyl ethyl ketone	ND
Styrene	ND
Toluene	ND
Xylenes	ND
Zinc	ND

Ingestion Reference Dose (mg/kg-day)

Benzo(a)pyrene	ND
Chromium (VI)	3.00E-03
Ethylbenzene	0.10
Lead	3.60E-03
Mercury	3.00E-04
Methyl ethyl ketone	0.60
Styrene	0.20
Toluene	0.20
Xylenes	2.0
Zinc	0.30

Inhalation Slope Factor [1/(mg/kg-day)]

Benzo(a)pyrene	3.1
Chromium (VI)	2.90E+02
Ethylbenzene	ND
Lead	ND
Mercury	ND
Methyl ethyl ketone	ND
Styrene	ND
Toluene	ND
Xylenes	ND
Zinc	ND

Inhalation Reference Dose (mg/kg-day)

Benzo(a)pyrene	ND
Chromium (VI)	ND
Ethylbenzene	0.29
Lead	ND
Mercury	8.60E-05
Methyl ethyl ketone	0.29
Styrene	0.29
Toluene	0.11
Xylenes	0.20
Zinc	ND

Dermal Slope Factor [1/(mg/kg-day)]

Benzo(a)pyrene	7.3
Chromium (VI)	ND

Ethylbenzene	ND
Lead	ND
Mercury	ND
Methyl ethyl ketone	ND
Styrene	ND
Toluene	ND
Xylenes	ND
Zinc	ND
Dermal Reference Dose (mg/kg-day)	
Benzo(a)pyrene	ND
Chromium (VI)	3.00E-03
Ethylbenzene	0.10
Lead	3.60E-03
Mercury	3.00E-04
Methyl ethyl ketone	0.60
Styrene	0.20
Toluene	0.20
Xylenes	2.0
Zinc	0.30

SUMMARY OF RESULTS

INGESTION OF SOIL

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene

CADD (mg/kg-day)	5.26E-07
LADD (mg/kg-day)	3.48E-07
Cancer Risk (-)	2.54E-06
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)

CADD (mg/kg-day)	2.41E-03
LADD (mg/kg-day)	1.59E-03
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	8.03E-01

Daily Doses and Risk for : Ethylbenzene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Lead

CADD (mg/kg-day)	8.04E-04
LADD (mg/kg-day)	5.32E-04
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	2.23E-01

Daily Doses and Risk for : Mercury

CADD (mg/kg-day)	1.06E-04
LADD (mg/kg-day)	7.02E-05
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	3.53E-01

Daily Doses and Risk for : Methyl ethyl ketone

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Styrene
 CADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 LADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 Cancer Risk (-) 0.00E+00
 Hazard Index (-) 0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Toluene
 CADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 LADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 Cancer Risk (-) 0.00E+00
 Hazard Index (-) 0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Xylenes
 CADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 LADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 Cancer Risk (-) 0.00E+00
 Hazard Index (-) 0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Zinc
 CADD (mg/kg-day) 3.86E-03
 LADD (mg/kg-day) 2.55E-03
 Cancer Risk (-) 0.00E+00
 Hazard Index (-) 1.29E-02

DERMAL CONTACT WITH SOIL

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene
 CADD (mg/kg-day) 1.67E-06
 LADD (mg/kg-day) 1.11E-06
 Cancer Risk (-) 8.08E-06
 Hazard Index (-) 0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)
 CADD (mg/kg-day) 7.66E-04
 LADD (mg/kg-day) 5.07E-04
 Cancer Risk (-) 0.00E+00
 Hazard Index (-) 2.55E-01

Daily Doses and Risk for : Ethylbenzene
 CADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 LADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 Cancer Risk (-) 0.00E+00
 Hazard Index (-) 0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Lead
 CADD (mg/kg-day) 2.56E-04
 LADD (mg/kg-day) 1.69E-04
 Cancer Risk (-) 0.00E+00
 Hazard Index (-) 7.10E-02

Daily Doses and Risk for : Mercury
 CADD (mg/kg-day) 3.37E-04
 LADD (mg/kg-day) 2.23E-04
 Cancer Risk (-) 0.00E+00
 Hazard Index (-) 1.12E+00

Daily Doses and Risk for : Methyl ethyl ketone
 CADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 LADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 Cancer Risk (-) 0.00E+00
 Hazard Index (-) 0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Styrene
 CADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 LADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 Cancer Risk (-) 0.00E+00
 Hazard Index (-) 0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Toluene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Xylenes

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Zinc

CADD (mg/kg-day)	1.23E-03
LADD (mg/kg-day)	8.12E-04
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	4.09E-03

INGESTION OF GROUNDWATER

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Ethylbenzene

CADD (mg/kg-day)	2.07E-01
LADD (mg/kg-day)	2.75E-02
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	2.07E+00

Daily Doses and Risk for : Lead

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Mercury

CADD (mg/kg-day)	9.37E-05
LADD (mg/kg-day)	1.24E-05
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	3.12E-01

Daily Doses and Risk for : Methyl ethyl ketone

CADD (mg/kg-day)	1.50E-03
LADD (mg/kg-day)	1.99E-04
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	2.51E-03

Daily Doses and Risk for : Styrene

CADD (mg/kg-day)	8.03E-02
LADD (mg/kg-day)	1.06E-02
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	4.01E-01

Daily Doses and Risk for : Toluene

CADD (mg/kg-day)	1.73E-02
LADD (mg/kg-day)	2.29E-03
Cancer Risk (-)	0.00E+00

Hazard Index (-)	8.67E-02
------------------	----------

Daily Doses and Risk for : Xylenes

CADD (mg/kg-day)	1.48E-04
LADD (mg/kg-day)	1.96E-05
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	7.40E-05

Daily Doses and Risk for : Zinc

CADD (mg/kg-day)	4.04E-03
LADD (mg/kg-day)	5.35E-04
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	1.35E-02

DERMAL CONTACT DURING SHOWER

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Ethylbenzene

CADD (mg/kg-day)	2.93E-03
LADD (mg/kg-day)	3.88E-04
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	2.93E-02

Daily Doses and Risk for : Lead

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Mercury

CADD (mg/kg-day)	3.04E-08
LADD (mg/kg-day)	4.02E-09
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	1.01E-04

Daily Doses and Risk for : Methyl ethyl ketone

CADD (mg/kg-day)	1.43E-06
LADD (mg/kg-day)	1.90E-07
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	2.39E-06

Daily Doses and Risk for : Styrene

CADD (mg/kg-day)	8.43E-04
LADD (mg/kg-day)	1.12E-04
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	4.21E-03

Daily Doses and Risk for : Toluene

CADD (mg/kg-day)	1.49E-04
LADD (mg/kg-day)	1.97E-05
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	7.44E-04

Daily Doses and Risk for : Xylenes

CADD (mg/kg-day)	2.26E-06
LADD (mg/kg-day)	2.99E-07

Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	1.13E-06
Daily Doses and Risk for : Zinc	
CADD (mg/kg-day)	4.63E-07
LADD (mg/kg-day)	6.13E-08
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	1.54E-06

INHALATION DURING SHOWER

Concentration in Bathroom Air (mg/m ³)	
Benzo(a)pyrene	0.0
Chromium (VI)	0.0
Ethylbenzene	20.
Lead	0.0
Mercury	6.80E-03
Methyl ethyl ketone	3.64E-02
Styrene	7.3
Toluene	1.7
Xylenes	1.41E-02
Zinc	0.0
Fraction Volatilized from Shower Water (-)	
Benzo(a)pyrene	8.31E-04
Chromium (VI)	8.31E-04
Ethylbenzene	0.24
Lead	0.24
Mercury	0.19
Methyl ethyl ketone	6.22E-02
Styrene	0.23
Toluene	0.26
Xylenes	0.24
Zinc	0.24
Total Mass Volatilized per Shower (mg)	
Benzo(a)pyrene	0.0
Chromium (VI)	0.0
Ethylbenzene	1.19E+02
Lead	1.19E+02
Mercury	4.08E-02
Methyl ethyl ketone	0.22
Styrene	44.
Toluene	10.
Xylenes	8.43E-02
Zinc	8.43E-02

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene	
CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)	
CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Ethylbenzene	
CADD (mg/kg-day)	5.27E-03
LADD (mg/kg-day)	6.97E-04
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	1.82E-02

Daily Doses and Risk for : Lead	
CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Mercury

CADD (mg/kg-day)	1.81E-06
LADD (mg/kg-day)	2.40E-07
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	2.11E-02

Daily Doses and Risk for : Methyl ethyl ketone

CADD (mg/kg-day)	9.71E-06
LADD (mg/kg-day)	1.28E-06
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	3.35E-05

Daily Doses and Risk for : Styrene

CADD (mg/kg-day)	1.96E-03
LADD (mg/kg-day)	2.59E-04
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	6.75E-03

Daily Doses and Risk for : Toluene

CADD (mg/kg-day)	4.65E-04
LADD (mg/kg-day)	6.16E-05
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	4.23E-03

Daily Doses and Risk for : Xylenes

CADD (mg/kg-day)	3.74E-06
LADD (mg/kg-day)	4.95E-07
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	1.87E-05

Daily Doses and Risk for : Zinc

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

SUMMARY OF CARCINOGENIC RISK
For Surface Soil

CASE 1:
Worker - Typical

	Ingestion of Soil	Dermal Contact Soil	TOTAL
Benzene	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Benzo(a)pyrene	2.7E-06	8.6E-06	1.1E-05
PCBs	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Vinyl Chloride	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
TOTAL	2.7E-06	8.6E-06	1.1E-05

SUMMARY OF CARCINOGENIC RISK
For Groundwater

CASE 1:
Worker - Typical

	Ingestion of Groundwater	Dermal Contact Shower	TOTAL
Benzene	1.0E-06	4.2E-09	1.0E-06
Benzo(a)pyrene	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
PCBs	1.7E-03	4.1E-04	2.1E-03
Vinyl Chloride	7.3E-05	1.0E-07	7.4E-05
TOTAL	1.7E-03	4.1E-04	2.2E-03

Title:
Dissert Cancer wrkr
04/27/07 11:45

Scenarios:
Worker - Typical

Routes:
INGESTION OF SOIL
DERMAL CONTACT WITH SOIL
INGESTION OF GROUNDWATER
DERMAL CONTACT DURING SHOWER

Chemicals:
Benzene
Benzo(a)pyrene
Chromium (VI)
PCBs
Vinyl Chloride

SCENARIO:

SUMMARY OF INPUT PARAMETERS

1

LIFETIME AND BODY WEIGHT

Body Weight (kg)	60.
Lifetime (years)	68.

INGESTION OF SOIL

Soil Ingestion Rate (mg/day)	50.
Exp. Frequency Soil (events/year)	2.70E+02
Exp. Duration Soil (years)	45.
Absorption Adjustment Factor for Ingestion of Soil (-)	
Benzene	1.0
Benzo(a)pyrene	1.0
Chromium (VI)	1.0
PCBs	1.0
Vinyl Chloride	1.0

Soil Bioavailability (-)

Benzene	1.0
Benzo(a)pyrene	1.0
Chromium (VI)	1.0
PCBs	1.0
Vinyl Chloride	1.0

DERMAL CONTACT WITH SOIL

Total Skin Surface Area (cm ²)	3.18E+03
Fraction Skin Exposed to Soil (-)	1.0
Adherence Factor for Soil (mg/cm ²)	0.50
Exposure Freq. Soil (events/year)	2.70E+02
Exposure Duration Soil (years)	45.
Absorption Adjustment Factor for Dermal Exposure to Soil (-)	
Benzene	0.10
Benzo(a)pyrene	0.10
Chromium (VI)	1.00E-02
PCBs	0.14
Vinyl Chloride	0.10

Soil Bioavailability (-)

Benzene	1.0
Benzo(a)pyrene	1.0
Chromium (VI)	1.0
PCBs	1.0
Vinyl Chloride	1.0

INGESTION OF GROUNDWATER

Ingestion rate (l/day)	2.0
Exp. Freq Groundwater (events/year)	2.70E+02
Exp. Duration Groundwater (years)	9.0
Absorption Adjustment Factor for Ingestion of water (-)	
Benzene	1.0
Benzo(a)pyrene	1.0
Chromium (VI)	1.0
PCBs	1.0
Vinyl Chloride	1.0

DERMAL CONTACT DURING SHOWER

Total Skin Surface Area (cm ²)	3.18E+03
Exp. Time For Washing Indoors[hr/d]	0.12
Exp. Freq Groundwater (events/year)	2.70E+02
Exp. Duration Groundwater (years)	9.0
Dermal Permeability Coefficient (cm/hour)	
Benzene	2.10E-02
Benzo(a)pyrene	1.2
Chromium (VI)	1.30E-03
PCBs	1.3
Vinyl Chloride	7.30E-03

Absorption Adjustment Factor for
Dermal Exposure to Water (-)

Benzene	1.0
Benzo(a)pyrene	1.0
Chromium (VI)	1.0
PCBs	1.0
Vinyl Chloride	1.0

MEDIA CONCENTRATIONS

Concentration in Groundwater (mg/L)

Used in calculating carcinogenic risk and hazard index

Benzene	1.10E-02
Benzo(a)pyrene	0.0
Chromium (VI)	0.0
PCBs	0.26
Vinyl Chloride	1.50E-02

Concentration in Surficial Soil (mg/kg)

Used in calculating carcinogenic risk and hazard index

Benzene	0.0
Benzo(a)pyrene	0.91
Chromium (VI)	3.92E+03
PCBs	0.0
Vinyl Chloride	0.0

SLOPE FACTORS AND REFERENCE DOSES

Ingestion Slope Factor [1/(mg/kg-day)]

Benzene	2.90E-02
Benzo(a)pyrene	7.3
Chromium (VI)	ND
PCBs	2.0
Vinyl Chloride	1.5

Ingestion Reference Dose (mg/kg-day)

Benzene	ND
Benzo(a)pyrene	ND
Chromium (VI)	3.00E-03
PCBs	ND
Vinyl Chloride	3.00E-03

Dermal Slope Factor [1/(mg/kg-day)]

Benzene	2.90E-02
Benzo(a)pyrene	7.3
Chromium (VI)	ND
PCBs	2.0
Vinyl Chloride	1.5
Dermal Reference Dose (mg/kg-day)	
Benzene	ND
Benzo(a)pyrene	ND
Chromium (VI)	3.00E-03
PCBs	ND
Vinyl Chloride	3.00E-03

SUMMARY OF RESULTS

INGESTION OF SOIL

Daily Doses and Risk for : Benzene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene

CADD (mg/kg-day)	5.63E-07
LADD (mg/kg-day)	3.72E-07
Cancer Risk (-)	2.72E-06
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)

CADD (mg/kg-day)	2.41E-03
LADD (mg/kg-day)	1.60E-03
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	8.05E-01

Daily Doses and Risk for : PCBs

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Vinyl Chloride

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

DERMAL CONTACT WITH SOIL

Daily Doses and Risk for : Benzene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene

CADD (mg/kg-day)	1.79E-06
LADD (mg/kg-day)	1.18E-06
Cancer Risk (-)	8.65E-06
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)
 CADD (mg/kg-day) 7.68E-04
 LADD (mg/kg-day) 5.08E-04
 Cancer Risk (-) 0.00E+00
 Hazard Index (-) 2.56E-01

Daily Doses and Risk for : PCBs
 CADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 LADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 Cancer Risk (-) 0.00E+00
 Hazard Index (-) 0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Vinyl Chloride
 CADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 LADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 Cancer Risk (-) 0.00E+00
 Hazard Index (-) 0.00E+00

INGESTION OF GROUNDWATER

Daily Doses and Risk for : Benzene
 CADD (mg/kg-day) 2.71E-04
 LADD (mg/kg-day) 3.59E-05
 Cancer Risk (-) 1.04E-06
 Hazard Index (-) 0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene
 CADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 LADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 Cancer Risk (-) 0.00E+00
 Hazard Index (-) 0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)
 CADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 LADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 Cancer Risk (-) 0.00E+00
 Hazard Index (-) 0.00E+00

Daily Doses and Risk for : PCBs
 CADD (mg/kg-day) 6.31E-03
 LADD (mg/kg-day) 8.35E-04
 Cancer Risk (-) 1.67E-03
 Hazard Index (-) 0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Vinyl Chloride
 CADD (mg/kg-day) 3.70E-04
 LADD (mg/kg-day) 4.90E-05
 Cancer Risk (-) 7.34E-05
 Hazard Index (-) 1.23E-01

DERMAL CONTACT DURING SHOWER

Daily Doses and Risk for : Benzene
 CADD (mg/kg-day) 1.09E-06
 LADD (mg/kg-day) 1.44E-07
 Cancer Risk (-) 4.17E-09
 Hazard Index (-) 0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene
 CADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 LADD (mg/kg-day) 0.00E+00
 Cancer Risk (-) 0.00E+00
 Hazard Index (-) 0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : PCBs

CADD (mg/kg-day)	1.57E-03
LADD (mg/kg-day)	2.07E-04
Cancer Risk (-)	4.14E-04
Hazard Index (-)	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Vinyl Chloride

CADD (mg/kg-day)	5.15E-07
LADD (mg/kg-day)	6.82E-08
Cancer Risk (-)	1.02E-07
Hazard Index (-)	1.72E-04

 Concentration in Groundwater (mg/L)

Used in calculating carcinogenic risk and hazard index

Benzene	1.10E-02	1.10E-02
Benzo(a)pyrene	0.0	0.0
Chromium (VI)	0.0	0.0
PCBs	0.26	0.26
Vinyl Chloride	1.50E-02	1.50E-02

Concentration in Surficial Soil (mg/kg)

Used in calculating carcinogenic risk and hazard index

Benzene	0.0	0.0
Benzo(a)pyrene	0.91	0.91
Chromium (VI)	3.92E+03	3.92E+03
PCBs	0.0	0.0
Vinyl Chloride	0.0	0.0

SLOPE FACTORS AND REFERENCE DOSES

Ingestion Slope Factor [1/(mg/kg-day)]

Benzene	2.90E-02	2.90E-02
Benzo(a)pyrene	7.3	7.3
Chromium (VI)	ND	ND
PCBs	2.0	2.0
Vinyl Chloride	1.5	1.5

Ingestion Reference Dose (mg/kg-day)

Benzene	ND	ND
Benzo(a)pyrene	ND	ND
Chromium (VI)	3.00E-03	3.00E-03
PCBs	ND	ND
Vinyl Chloride	3.00E-03	3.00E-03

Dermal Slope Factor [1/(mg/kg-day)]

Benzene	2.90E-02	2.90E-02
Benzo(a)pyrene	7.3	7.3
Chromium (VI)	ND	ND
PCBs	2.0	2.0
Vinyl Chloride	1.5	1.5

Dermal Reference Dose (mg/kg-day)

Benzene	ND	ND
Benzo(a)pyrene	ND	ND
Chromium (VI)	3.00E-03	3.00E-03
PCBs	ND	ND
Vinyl Chloride	3.00E-03	3.00E-03

SCENARIO:

SUMMARY OF RESULTS

1

2

INGESTION OF SOIL

Daily Doses and Risk for : Benzene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene

CADD (mg/kg-day)	1.46E-06	1.17E-05
LADD (mg/kg-day)	9.66E-07	1.17E-05
Cancer Risk (-)	7.05E-06	8.52E-05
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)

CADD (mg/kg-day)	6.26E-03	5.01E-02
LADD (mg/kg-day)	4.14E-03	5.01E-02
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	2.09E+00	1.67E+01

Daily Doses and Risk for : PCBs

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Vinyl Chloride

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

DERMAL CONTACT WITH SOIL

Daily Doses and Risk for : Benzene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene

CADD (mg/kg-day)	2.32E-06	4.09E-06
LADD (mg/kg-day)	1.54E-06	4.09E-06
Cancer Risk (-)	1.12E-05	2.98E-05
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)

Title:
Dissert Câncer
File not saved

Scenarios:
Adult Resident - Typical
Child Resident - Typical

Routes:
INGESTION OF SOIL
DERMAL CONTACT WITH SOIL
INGESTION OF GROUNDWATER
DERMAL CONTACT DURING SHOWER

Chemicals:
Benzene
Benzo(a)pyrene
Chromium (VI)
PCBs
Vinyl Chloride

SCENARIO:
SUMMARY OF INPUT PARAMETERS 1 2

LIFETIME AND BODY WEIGHT

Body Weight (kg)	60.	15.
Lifetime (years)	68.	6.0

INGESTION OF SOIL

Soil Ingestion Rate (mg/day)	1.00E+02	2.00E+02
Exp. Frequency Soil (events/year)	3.50E+02	3.50E+02
Exp. Duration Soil (years)	45.	6.0

Absorption Adjustment Factor for
Ingestion of Soil (-)

Benzene	1.0	1.0
Benzo(a)pyrene	1.0	1.0
Chromium (VI)	1.0	1.0
PCBs	1.0	1.0
Vinyl Chloride	1.0	1.0

Soil Bioavailability (-)

Benzene	1.0	1.0
Benzo(a)pyrene	1.0	1.0
Chromium (VI)	1.0	1.0
PCBs	1.0	1.0
Vinyl Chloride	1.0	1.0

DERMAL CONTACT WITH SOIL

Total Skin Surface Area (cm ²)	3.18E+03	1.40E+03
Fraction Skin Exposed to Soil (-)	1.0	1.0

Adherence Factor for Soil (mg/cm ²)	0.50	0.50
Exposure Freq. Soil (events/year)	3.50E+02	3.50E+02
Exposure Duration Soil (years)	45.	6.0
Absorption Adjustment Factor for		
Dermal Exposure to Soil (-)		
Benzene	0.10	0.10
Benzo(a)pyrene	0.10	0.10
Chromium (VI)	1.00E-02	1.00E-02
PCBs	0.14	0.14
Vinyl Chloride	0.10	0.10

Soil Bioavailability (-)		
Benzene	1.0	1.0
Benzo(a)pyrene	1.0	1.0
Chromium (VI)	1.0	1.0
PCBs	1.0	1.0
Vinyl Chloride	1.0	1.0

INGESTION OF GROUNDWATER

Ingestion rate (l/day)	2.0	1.0
Exp. Freq Groundwater (events/year)	3.50E+02	3.50E+02
Exp. Duration Groundwater (years)	45.	6.0
Absorption Adjustment Factor for		
Ingestion of water (-)		
Benzene	1.0	1.0
Benzo(a)pyrene	1.0	1.0
Chromium (VI)	1.0	1.0
PCBs	1.0	1.0
Vinyl Chloride	1.0	1.0

DERMAL CONTACT DURING SHOWER

Total Skin Surface Area (cm ²)	3.18E+03	1.40E+03
Exp. Time For Washing Indoors[hr/d]	0.12	0.12
Exp. Freq Groundwater (events/year)	3.50E+02	3.50E+02
Exp. Duration Groundwater (years)	45.	6.0
Dermal Permeability Coefficient (cm/hour)		
Benzene	2.10E-02	2.10E-02
Benzo(a)pyrene	1.2	1.2
Chromium (VI)	1.30E-03	1.30E-03
PCBs	1.3	1.3
Vinyl Chloride	7.30E-03	7.30E-03

Absorption Adjustment Factor for Dermal Exposure to Water (-)

Benzene	1.0	1.0
Benzo(a)pyrene	1.0	1.0
Chromium (VI)	1.0	1.0
PCBs	1.0	1.0
Vinyl Chloride	1.0	1.0

MEDIA CONCENTRATIONS

Child Resident - Typical

	Ingestion of Groundwater	Dermal Contact Shower	TOTAL
Benzene	2.0E-05	7.2E-08	2.0E-05
Benzo(a)pyrene	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
PCBs	3.3E-02	7.1E-03	4.0E-02
Vinyl Chloride	1.4E-03	1.8E-06	1.4E-03
TOTAL	3.4E-02	7.2E-03	4.1E-02

SUMMARY OF CARCINOGENIC RISK
For Surface Soil

CASE 1:

Adult Resident - Typical

	Ingestion of Soil	Dermal Contact Soil	TOTAL
Benzene	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Benzo(a)pyrene	7.0E-06	1.1E-05	1.8E-05
PCBs	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Vinyl Chloride	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
TOTAL	7.0E-06	1.1E-05	1.8E-05

CASE 2:

Child Resident - Typical

	Ingestion of Soil	Dermal Contact Soil	TOTAL
Benzene	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Benzo(a)pyrene	8.5E-05	3.0E-05	1.2E-04
PCBs	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Vinyl Chloride	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
TOTAL	8.5E-05	3.0E-05	1.2E-04

SUMMARY OF CARCINOGENIC RISK
For Groundwater

CASE 1:

Adult Resident - Typical

	Ingestion of Groundwater	Dermal Contact Shower	TOTAL
Benzene	6.7E-06	2.7E-08	6.8E-06
Benzo(a)pyrene	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
PCBs	1.1E-02	2.7E-03	1.4E-02
Vinyl Chloride	4.8E-04	6.6E-07	4.8E-04
TOTAL	1.1E-02	2.7E-03	1.4E-02

CASE 2:

CADD (mg/kg-day)	9.95E-04	1.75E-03
LADD (mg/kg-day)	6.59E-04	1.75E-03
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	3.32E-01	5.84E-01

Daily Doses and Risk for : PCBs

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Vinyl Chloride

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

INGESTION OF GROUNDWATER

Daily Doses and Risk for : Benzene

CADD (mg/kg-day)	3.52E-04	7.03E-04
LADD (mg/kg-day)	2.33E-04	7.03E-04
Cancer Risk (-)	6.75E-06	2.04E-05
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : PCBs

CADD (mg/kg-day)	8.18E-03	1.64E-02
LADD (mg/kg-day)	5.41E-03	1.64E-02
Cancer Risk (-)	1.08E-02	3.27E-02
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Vinyl Chloride

CADD (mg/kg-day)	4.79E-04	9.59E-04
LADD (mg/kg-day)	3.17E-04	9.59E-04
Cancer Risk (-)	4.76E-04	1.44E-03
Hazard Index (-)	1.60E-01	3.20E-01

DERMAL CONTACT DURING SHOWER

Daily Doses and Risk for : Benzene

CADD (mg/kg-day)	1.41E-06	2.48E-06
LADD (mg/kg-day)	9.32E-07	2.48E-06
Cancer Risk (-)	2.70E-08	7.19E-08
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : PCBs

CADD (mg/kg-day)	2.03E-03	3.57E-03
LADD (mg/kg-day)	1.34E-03	3.57E-03
Cancer Risk (-)	2.69E-03	7.15E-03
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Vinyl Chloride

CADD (mg/kg-day)	6.68E-07	1.18E-06
LADD (mg/kg-day)	4.42E-07	1.18E-06
Cancer Risk (-)	6.63E-07	1.76E-06
Hazard Index (-)	2.23E-04	3.92E-04

SUMMARY OF HAZARD QUOTIENTS
For Surface Soil

CASE 1:

Adult Resident - Typical

	Ingestion of Soil	Dermal Contact Soil	TOTAL
Chromium (VI)	2.1E+00	3.3E-01	2.4E+00
Ethylbenzene	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Lead	5.8E-01	9.2E-02	6.7E-01
Mercury	9.2E-01	1.5E+00	2.4E+00
Methyl ethyl ketone	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Styrene	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Toluene	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Xylenes	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Zinc	3.3E-02	5.3E-03	3.9E-02
TOTAL	3.6E+00	1.9E+00	5.5E+00

CASE 2:

Child Resident - Typical

	Ingestion of Soil	Dermal Contact Soil	TOTAL
Chromium (VI)	1.7E+01	5.8E-01	1.7E+01
Ethylbenzene	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Lead	4.6E+00	1.6E-01	4.8E+00
Mercury	7.3E+00	2.6E+00	9.9E+00
Methyl ethyl ketone	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Styrene	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Toluene	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Xylenes	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Zinc	2.7E-01	9.3E-03	2.8E-01
TOTAL	2.9E+01	3.3E+00	3.2E+01

SUMMARY OF HAZARD QUOTIENTS
For Groundwater

CASE 1:

Adult Resident - Typical

	Ingestion of	Dermal Contact	Inhalation During
--	-----------------	-------------------	----------------------

	Groundwater Shower	Shower	TOTAL	
Chromium (VI)	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Ethylbenzene	2.7E+00	3.8E-02	2.4E-02	2.8E+00
Lead	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Mercury	4.0E-01	1.3E-04	2.7E-02	4.3E-01
Methyl ethyl ketone	3.2E-03	3.1E-06	4.3E-05	3.3E-03
Styrene	5.2E-01	5.5E-03	8.7E-03	5.3E-01
Toluene	1.1E-01	9.6E-04	5.5E-03	1.2E-01
Xylenes	9.6E-05	1.5E-06	2.4E-05	1.2E-04
Zinc	1.7E-02	2.0E-06	0.0E+00	1.7E-02
TOTAL	3.7E+00	4.5E-02	6.5E-02	3.9E+00

CASE 2:

Child Resident - Typical

	Ingestion of Groundwater	Dermal Contact Shower	Inhalation During Shower	TOTAL
Chromium (VI)	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Ethylbenzene	5.4E+00	6.7E-02	6.8E-02	5.5E+00
Lead	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Mercury	8.1E-01	2.3E-04	7.9E-02	8.9E-01
Methyl ethyl ketone	6.5E-03	5.5E-06	1.3E-04	6.6E-03
Styrene	1.0E+00	9.6E-03	2.5E-02	1.1E+00
Toluene	2.2E-01	1.7E-03	1.6E-02	2.4E-01
Xylenes	1.9E-04	2.6E-06	7.0E-05	2.6E-04
Zinc	3.5E-02	3.5E-06	0.0E+00	3.5E-02
TOTAL	7.5E+00	7.8E-02	1.9E-01	7.8E+00

NOTE: A zero hazard index may indicate that a RfD was not entered for that chemical.

Title:
Dissertação Ncâncer
04/27/07 10:59

Scenarios:
Adult Resident - Typical
Child Resident - Typical

Routes:
INGESTION OF SOIL
DERMAL CONTACT WITH SOIL
INGESTION OF GROUNDWATER
DERMAL CONTACT DURING SHOWER
INHALATION DURING SHOWER

Chemicals:
Benzene
Benzo(a)pyrene
Chromium (VI)
Ethylbenzene
Lead
Mercury
Methyl ethyl ketone
Styrene
Toluene
Xylenes
Zinc

SCENARIO:

SUMMARY OF INPUT PARAMETERS

1 2

LIFETIME AND BODY WEIGHT

Body Weight (kg)	60.	15.
Lifetime (years)	68.	6.0

INGESTION OF SOIL

Soil Ingestion Rate (mg/day)	1.00E+02	2.00E+02
Exp. Frequency Soil (events/year)	3.50E+02	3.50E+02
Exp. Duration Soil (years)	45.	6.0
Absorption Adjustment Factor for Ingestion of Soil (-)		
Benzene	1.0	1.0
Benzo(a)pyrene	1.0	1.0
Chromium (VI)	1.0	1.0
Ethylbenzene	1.0	1.0
Lead	1.0	1.0
Mercury	1.0	1.0
Methyl ethyl ketone	1.0	1.0
Styrene	1.0	1.0
Toluene	1.0	1.0

Xylenes	1.0	1.0
Zinc	1.0	1.0

Soil Bioavailability (-)

Benzene	1.0	1.0
Benzo(a)pyrene	1.0	1.0
Chromium (VI)	1.0	1.0
Ethylbenzene	1.0	1.0
Lead	1.0	1.0
Mercury	1.0	1.0
Methyl ethyl ketone	1.0	1.0
Styrene	1.0	1.0
Toluene	1.0	1.0
Xylenes	1.0	1.0
Zinc	1.0	1.0

DERMAL CONTACT WITH SOIL

Total Skin Surface Area (cm ²)	3.18E+03	1.40E+03
Fraction Skin Exposed to Soil (-)	1.0	1.0
Adherence Factor for Soil (mg/cm ²)	0.50	0.50
Exposure Freq. Soil (events/year)	3.50E+02	3.50E+02
Exposure Duration Soil (years)	45.	6.0

Absorption Adjustment Factor for

Dermal Exposure to Soil (-)

Benzene	0.10	0.10
Benzo(a)pyrene	0.10	0.10
Chromium (VI)	1.00E-02	1.00E-02
Ethylbenzene	0.10	0.10
Lead	1.00E-02	1.00E-02
Mercury	0.10	0.10
Methyl ethyl ketone	0.10	0.10
Styrene	0.10	0.10
Toluene	0.10	0.10
Xylenes	0.10	0.10
Zinc	1.00E-02	1.00E-02

Soil Bioavailability (-)

Benzene	1.0	1.0
Benzo(a)pyrene	1.0	1.0
Chromium (VI)	1.0	1.0
Ethylbenzene	1.0	1.0
Lead	1.0	1.0
Mercury	1.0	1.0
Methyl ethyl ketone	1.0	1.0
Styrene	1.0	1.0
Toluene	1.0	1.0
Xylenes	1.0	1.0
Zinc	1.0	1.0

INGESTION OF GROUNDWATER

Ingestion rate (l/day)	2.0	1.0
------------------------	-----	-----

Exp. Freq Groundwater (events/year)	3.50E+02	3.50E+02
Exp. Duration Groundwater (years)	9.0	6.0
Absorption Adjustment Factor for		
Ingestion of water (-)		
Benzene	1.0	1.0
Benzo(a)pyrene	1.0	1.0
Chromium (VI)	1.0	1.0
Ethylbenzene	1.0	1.0
Lead	1.0	1.0
Mercury	1.0	1.0
Methyl ethyl ketone	1.0	1.0
Styrene	1.0	1.0
Toluene	1.0	1.0
Xylenes	1.0	1.0
Zinc	1.0	1.0

DERMAL CONTACT DURING SHOWER

Total Skin Surface Area (cm ²)	3.18E+03	1.40E+03
Exp. Time For Washing Indoors[hr/d]	0.12	0.12
Exp. Freq Groundwater (events/year)	3.50E+02	3.50E+02
Exp. Duration Groundwater (years)	9.0	6.0
Dermal Permeability Coefficient (cm/hour)		
Benzene	2.10E-02	2.10E-02
Benzo(a)pyrene	1.2	1.2
Chromium (VI)	1.30E-03	1.30E-03
Ethylbenzene	7.40E-02	7.40E-02
Lead	0.0	0.0
Mercury	1.70E-03	1.70E-03
Methyl ethyl ketone	5.00E-03	5.00E-03
Styrene	5.50E-02	5.50E-02
Toluene	4.50E-02	4.50E-02
Xylenes	8.00E-02	8.00E-02
Zinc	6.00E-04	6.00E-04

Absorption Adjustment Factor for
Dermal Exposure to Water (-)

Benzene	1.0	1.0
Benzo(a)pyrene	1.0	1.0
Chromium (VI)	1.0	1.0
Ethylbenzene	1.0	1.0
Lead	1.0	1.0
Mercury	1.0	1.0
Methyl ethyl ketone	1.0	1.0
Styrene	1.0	1.0
Toluene	1.0	1.0
Xylenes	1.0	1.0
Zinc	1.0	1.0

INHALATION DURING SHOWER

Volume of Bathroom (m ³)	6.0	6.0
Temperature of Shower Water (C)	45.	45.

Shower Flow Rate (l/min)	8.0	8.0
Droplet Diameter (cm)	0.10	0.10
Shower Droplet Droptime (s)	1.0	1.0
Exp. Time For Washing Indoors[hr/d]	0.12	0.12
Inhal. Rate in the Shower (m ³ /hr)	0.18	0.13
Lung Retention Factor (-)	1.0	1.0
Exp. Freq Groundwater (events/year)	3.50E+02	3.50E+02
Exp. Duration Groundwater (years)	9.0	6.0

Absorption Adjustment Factor for
Inhalation (-)

Benzene	1.0	1.0
Benzo(a)pyrene	1.0	1.0
Chromium (VI)	1.0	1.0
Ethylbenzene	1.0	1.0
Lead	1.0	1.0
Mercury	1.0	1.0
Methyl ethyl ketone	1.0	1.0
Styrene	1.0	1.0
Toluene	1.0	1.0
Xylenes	1.0	1.0
Zinc	1.0	1.0

Henry's Law Constant (-)

Benzene	0.23	0.23
Benzo(a)pyrene	4.63E-05	4.63E-05
Chromium (VI)	0.0	0.0
Ethylbenzene	0.32	0.32
Lead	0.0	0.0
Mercury	0.47	0.47
Methyl ethyl ketone	2.33E-03	2.33E-03
Styrene	0.11	0.11
Toluene	0.27	0.27
Xylenes	0.29	0.29
Zinc	0.0	0.0

Molecular Weight (g/mole)

Benzene	78.	78.
Benzo(a)pyrene	2.52E+02	2.52E+02
Chromium (VI)	52.	52.
Ethylbenzene	1.06E+02	1.06E+02
Lead	0.0	0.0
Mercury	2.01E+02	2.01E+02
Methyl ethyl ketone	72.	72.
Styrene	1.04E+02	1.04E+02
Toluene	92.	92.
Xylenes	1.06E+02	1.06E+02
Zinc	65.	65.

MEDIA CONCENTRATIONS

Concentration in Groundwater (mg/L)

Used in calculating carcinogenic risk and hazard index

Benzene	1.10E-02	1.10E-02
Benzo(a)pyrene	0.0	0.0
Chromium (VI)	0.0	0.0
Ethylbenzene	8.4	8.4
Lead	0.0	0.0
Mercury	3.80E-03	3.80E-03
Methyl ethyl ketone	6.10E-02	6.10E-02
Styrene	3.3	3.3
Toluene	0.70	0.70
Xylenes	6.00E-03	6.00E-03
Zinc	0.16	0.16

Concentration in Surficial Soil (mg/kg)

Used in calculating carcinogenic risk and hazard index

Benzene	0.0	0.0
Benzo(a)pyrene	0.85	0.85
Chromium (VI)	3.91E+03	3.91E+03
Ethylbenzene	0.0	0.0
Lead	1.30E+03	1.30E+03
Mercury	1.72E+02	1.72E+02
Methyl ethyl ketone	0.0	0.0
Styrene	0.0	0.0
Toluene	0.0	0.0
Xylenes	0.0	0.0
Zinc	6.26E+03	6.26E+03

SLOPE FACTORS AND REFERENCE DOSES

Ingestion Slope Factor [1/(mg/kg-day)]

Benzene	2.90E-02	2.90E-02
Benzo(a)pyrene	7.3	7.3
Chromium (VI)	ND	ND
Ethylbenzene	ND	ND
Lead	ND	ND
Mercury	ND	ND
Methyl ethyl ketone	ND	ND
Styrene	ND	ND
Toluene	ND	ND
Xylenes	ND	ND
Zinc	ND	ND

Ingestion Reference Dose (mg/kg-day)

Benzene	ND	ND
Benzo(a)pyrene	ND	ND
Chromium (VI)	3.00E-03	3.00E-03
Ethylbenzene	0.10	0.10
Lead	3.60E-03	3.60E-03
Mercury	3.00E-04	3.00E-04

Mercury	3.00E-04	3.00E-04
Methyl ethyl ketone	0.60	0.60
Styrene	0.20	0.20
Toluene	0.20	0.20
Xylenes	2.0	2.0
Zinc	0.30	0.30

SCENARIO:
SUMMARY OF RESULTS 1 2

INGESTION OF SOIL

Daily Doses and Risk for : Benzene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene

CADD (mg/kg-day)	1.36E-06	1.09E-05
LADD (mg/kg-day)	9.02E-07	1.09E-05
Cancer Risk (-)	6.59E-06	7.96E-05
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)

CADD (mg/kg-day)	6.25E-03	5.00E-02
LADD (mg/kg-day)	4.13E-03	5.00E-02
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	2.08E+00	1.67E+01

Daily Doses and Risk for : Ethylbenzene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Lead

CADD (mg/kg-day)	2.08E-03	1.67E-02
LADD (mg/kg-day)	1.38E-03	1.67E-02
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	5.79E-01	4.63E+00

Daily Doses and Risk for : Mercury

CADD (mg/kg-day)	2.75E-04	2.20E-03
LADD (mg/kg-day)	1.82E-04	2.20E-03
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	9.16E-01	7.33E+00

Mercury	3.00E-04	3.00E-04
Methyl ethyl ketone	0.60	0.60
Styrene	0.20	0.20
Toluene	0.20	0.20
Xylenes	2.0	2.0
Zinc	0.30	0.30

	SCENARIO:	
SUMMARY OF RESULTS	1	2

INGESTION OF SOIL

Daily Doses and Risk for : Benzene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene

CADD (mg/kg-day)	1.36E-06	1.09E-05
LADD (mg/kg-day)	9.02E-07	1.09E-05
Cancer Risk (-)	6.59E-06	7.96E-05
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)

CADD (mg/kg-day)	6.25E-03	5.00E-02
LADD (mg/kg-day)	4.13E-03	5.00E-02
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	2.08E+00	1.67E+01

Daily Doses and Risk for : Ethylbenzene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Lead

CADD (mg/kg-day)	2.08E-03	1.67E-02
LADD (mg/kg-day)	1.38E-03	1.67E-02
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	5.79E-01	4.63E+00

Daily Doses and Risk for : Mercury

CADD (mg/kg-day)	2.75E-04	2.20E-03
LADD (mg/kg-day)	1.82E-04	2.20E-03
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	9.16E-01	7.33E+00

Daily Doses and Risk for : Methyl ethyl ketone

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Styrene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Toluene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Xylenes

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Zinc

CADD (mg/kg-day)	1.00E-02	8.00E-02
LADD (mg/kg-day)	6.62E-03	8.00E-02
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	3.33E-02	2.67E-01

DERMAL CONTACT WITH SOIL

Daily Doses and Risk for : Benzene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene

CADD (mg/kg-day)	2.17E-06	3.82E-06
LADD (mg/kg-day)	1.43E-06	3.82E-06
Cancer Risk (-)	1.05E-05	2.79E-05
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)

CADD (mg/kg-day)	9.93E-04	1.75E-03
LADD (mg/kg-day)	6.57E-04	1.75E-03
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	3.31E-01	5.83E-01

Daily Doses and Risk for : Ethylbenzene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Lead

CADD (mg/kg-day)	3.31E-04	5.84E-04
LADD (mg/kg-day)	2.19E-04	5.84E-04
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	9.20E-02	1.62E-01

Daily Doses and Risk for : Mercury

CADD (mg/kg-day)	4.37E-04	7.70E-04
LADD (mg/kg-day)	2.89E-04	7.70E-04
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	1.46E+00	2.57E+00

Daily Doses and Risk for : Methyl ethyl ketone

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Styrene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Toluene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Xylenes

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Zinc

CADD (mg/kg-day)	1.59E-03	2.80E-03
LADD (mg/kg-day)	1.05E-03	2.80E-03
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	5.30E-03	9.33E-03

INGESTION OF GROUNDWATER

Daily Doses and Risk for : Benzene

CADD (mg/kg-day)	3.52E-04	7.03E-04
LADD (mg/kg-day)	4.65E-05	7.03E-04
Cancer Risk (-)	1.35E-06	2.04E-05
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Ethylbenzene

CADD (mg/kg-day)	2.69E-01	5.38E-01
LADD (mg/kg-day)	3.56E-02	5.38E-01
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	2.69E+00	5.38E+00

Daily Doses and Risk for : Lead

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Mercury

CADD (mg/kg-day)	1.21E-04	2.43E-04
LADD (mg/kg-day)	1.61E-05	2.43E-04
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	4.05E-01	8.10E-01

Daily Doses and Risk for : Methyl ethyl ketone

CADD (mg/kg-day)	1.95E-03	3.90E-03
LADD (mg/kg-day)	2.58E-04	3.90E-03
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	3.25E-03	6.50E-03

Daily Doses and Risk for : Styrene

CADD (mg/kg-day)	1.04E-01	2.08E-01
LADD (mg/kg-day)	1.38E-02	2.08E-01
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	5.20E-01	1.04E+00

Daily Doses and Risk for : Toluene

CADD (mg/kg-day)	2.25E-02	4.49E-02
LADD (mg/kg-day)	2.97E-03	4.49E-02

Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	1.12E-01	2.25E-01

Daily Doses and Risk for : Xylenes

CADD (mg/kg-day)	1.92E-04	3.84E-04
LADD (mg/kg-day)	2.54E-05	3.84E-04
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	9.59E-05	1.92E-04

Daily Doses and Risk for : Zinc

CADD (mg/kg-day)	5.24E-03	1.05E-02
LADD (mg/kg-day)	6.94E-04	1.05E-02
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	1.75E-02	3.49E-02

DERMAL CONTACT DURING SHOWER

Daily Doses and Risk for : Benzene

CADD (mg/kg-day)	1.41E-06	2.48E-06
LADD (mg/kg-day)	1.86E-07	2.48E-06
Cancer Risk (-)	5.41E-09	7.19E-08
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Ethylbenzene

CADD (mg/kg-day)	3.80E-03	6.69E-03
LADD (mg/kg-day)	5.03E-04	6.69E-03
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	3.80E-02	6.69E-02

Daily Doses and Risk for : Lead

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Mercury

CADD (mg/kg-day)	3.94E-08	6.94E-08
LADD (mg/kg-day)	5.21E-09	6.94E-08

Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	1.31E-04	2.31E-04

Daily Doses and Risk for : Methyl ethyl ketone

CADD (mg/kg-day)	1.86E-06	3.28E-06
LADD (mg/kg-day)	2.46E-07	3.28E-06
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	3.10E-06	5.46E-06

Daily Doses and Risk for : Styrene

CADD (mg/kg-day)	1.09E-03	1.92E-03
LADD (mg/kg-day)	1.45E-04	1.92E-03
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	5.46E-03	9.62E-03

Daily Doses and Risk for : Toluene

CADD (mg/kg-day)	1.93E-04	3.40E-04
LADD (mg/kg-day)	2.55E-05	3.40E-04
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	9.65E-04	1.70E-03

Daily Doses and Risk for : Xylenes

CADD (mg/kg-day)	2.93E-06	5.16E-06
LADD (mg/kg-day)	3.87E-07	5.16E-06
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	1.46E-06	2.58E-06

Daily Doses and Risk for : Zinc

CADD (mg/kg-day)	6.00E-07	1.06E-06
LADD (mg/kg-day)	7.94E-08	1.06E-06
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	2.00E-06	3.52E-06

INHALATION DURING SHOWER

Concentration in Bathroom Air (mg/m³)

Benzene	2.92E-02	2.92E-02
Benzo(a)pyrene	0.0	0.0
Chromium (VI)	0.0	0.0
Ethylbenzene	20.	20.
Lead	0.0	0.0
Mercury	6.80E-03	6.80E-03
Methyl ethyl ketone	3.64E-02	3.64E-02
Styrene	7.3	7.3
Toluene	1.7	1.7
Xylenes	1.41E-02	1.41E-02
Zinc	0.0	0.0

Fraction Volatilized from Shower Water (-)

Benzene	0.28	0.28
Benzo(a)pyrene	8.31E-04	8.31E-04
Chromium (VI)	8.31E-04	8.31E-04

Ethylbenzene	0.24	0.24
Lead	0.24	0.24
Mercury	0.19	0.19
Methyl ethyl ketone	6.22E-02	6.22E-02
Styrene	0.23	0.23
Toluene	0.26	0.26
Xylenes	0.24	0.24
Zinc	0.24	0.24
Total Mass Volatilized per Shower (mg)		
Benzene	0.18	0.18
Benzo(a)pyrene	0.0	0.0
Chromium (VI)	0.0	0.0
Ethylbenzene	1.19E+02	1.19E+02
Lead	1.19E+02	1.19E+02
Mercury	4.08E-02	4.08E-02
Methyl ethyl ketone	0.22	0.22
Styrene	44.	44.
Toluene	10.	10.
Xylenes	8.43E-02	8.43E-02
Zinc	8.43E-02	8.43E-02

Daily Doses and Risk for : Benzene

CADD (mg/kg-day)	1.01E-05	2.91E-05
LADD (mg/kg-day)	1.33E-06	2.91E-05
Cancer Risk (-)	3.60E-08	7.86E-07
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Benzo(a)pyrene

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Chromium (VI)

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Ethylbenzene

CADD (mg/kg-day)	6.83E-03	1.97E-02
LADD (mg/kg-day)	9.03E-04	1.97E-02
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	2.35E-02	6.80E-02

Daily Doses and Risk for : Lead

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

Daily Doses and Risk for : Mercury

CADD (mg/kg-day)	2.35E-06	6.78E-06
LADD (mg/kg-day)	3.11E-07	6.78E-06
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	2.73E-02	7.88E-02

Daily Doses and Risk for : Methyl ethyl ketone

CADD (mg/kg-day)	1.26E-05	3.63E-05
LADD (mg/kg-day)	1.67E-06	3.63E-05
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	4.34E-05	1.25E-04

Daily Doses and Risk for : Styrene

CADD (mg/kg-day)	2.54E-03	7.33E-03
LADD (mg/kg-day)	3.36E-04	7.33E-03
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	8.74E-03	2.53E-02

Daily Doses and Risk for : Toluene

CADD (mg/kg-day)	6.03E-04	1.74E-03
LADD (mg/kg-day)	7.99E-05	1.74E-03
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	5.48E-03	1.58E-02

Daily Doses and Risk for : Xylenes

CADD (mg/kg-day)	4.85E-06	1.40E-05
LADD (mg/kg-day)	6.42E-07	1.40E-05
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	2.43E-05	7.01E-05

Daily Doses and Risk for : Zinc

CADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
LADD (mg/kg-day)	0.00E+00	0.00E+00
Cancer Risk (-)	0.00E+00	0.00E+00
Hazard Index (-)	0.00E+00	0.00E+00

ANEXO B

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS MÉTODOS DE REMEDIAÇÃO

Método: Retirada da Fonte.

Aplicação: É a primeira medida, praticamente obrigatória, quando há uma fonte ativa. A retirada da fonte obriga ao tratamento adicional do material retirado, por meio de alguma tecnologia eficaz, por exemplo: incineração do solo contaminado para remoção de hidrocarbonetos clorados ou tratamento biológico de solo contaminado com hidrocarbonetos (este conhecido em uma de suas formas por *landfarming*).

Métodos passivos.

São métodos que uma vez instalados não necessitam de fornecimento de energia para continuar a operar.

Método: Contenção do contaminante.

Aplicação: É utilizado para evitar propagação da contaminação para uma área maior e para proteger a saúde pública, como forma de evitar que maior extensão, tanto do solo como da água subterrânea seja contaminada e possa prejudicar a posterior captação da água. A contenção de *per se* é aceita, segundo o usual nos EUA, quando a análise de risco indicar que os possíveis caminhos de contaminação da população de interesse tenham sido eliminados. Há uma razão evidente para apenas conter o contaminante, que é quando sua retirada causar um dano maior, ou ainda quando não houver possibilidade alguma de remoção do contaminante existente no meio, este último é o caso já citado de Chernobyl. Geralmente o método de contenção do contaminante é associado a outro tratamento in situ, como por exemplo: contenção do lençol freático e tratamento biológico do contaminante presente.

Método: Barreiras verticais

Aplicação: Para contenção dos contaminantes e desvio do fluxo de água subterrânea, de forma a evitar a continuidade do contato da água com o contaminante e cessar a contaminação do lençol freático. Uma barreira é construída nos limites da área contaminada de forma a isolar a água subterrânea da contaminação e permitir a recuperação do solo e deixar de afetar a qualidade do lençol. A barreira é construída desde a superfície até a camada impermeável abaixo do lençol freático, embora para contaminantes leves imiscíveis não haja necessidade de atingir solo impermeável. Este tipo de tratamento do solo aumenta a eficiência do sistema “pump and treat”, bombear e tratar, com o qual normalmente é utilizado. Após a redução aos níveis de contaminação aceitáveis pelo órgão de controle, a barreira permanece no local para reduzir a taxa de migração dos poluentes remanescentes para a subsuperfície. As barreiras podem ser ainda construídas, somente a montante ou a jusante do sítio contaminado. A parede de contenção pode ser construída por diversos materiais e técnicas, tais como lama de bentonita, concreto e outros e por técnicas tais como: paredes de diafragma, vigas vibratórias, bem como outras formas, de acordo com as indicações da engenharia.

Método: Barreiras horizontais.

Aplicação: Têm as mesmas finalidades das barreiras verticais, quais sejam: conter os contaminantes e redirecionar o fluxo de água. Na maioria dos casos devem ser construídas antes da deposição dos resíduos, como em aterros e lagoas de tratamento. Quando construídas in situ são muito importantes para contenção de fase líquida não aquosa densa – DNPA. A construção in situ, para lagoas, traz alguns inconvenientes relacionados à composição do contaminante presente, por exemplo, a bentonita não se hidrata idealmente na presença de ácidos, substâncias orgânicas ou produtos com concentração elevada de eletrólitos, em consequência não produz a camada de baixa permeabilidade desejada. Igualmente é desaconselhado para lagoas com turbulência elevada, devido ao desgaste prematuro por erosão.

Métodos ativos

São métodos de remediação que mesmo depois de instalados necessitam de suprimento de energia para prosseguir no funcionamento, contrariamente aos métodos citados anteriormente, que dela não mais necessitam, após a instalação.

Método: “Pump and treat” - Bombear e tratar.

Aplicação: Remoção de contaminantes presentes no lençol freático, tanto fases líquidas não densas - LNAPL, como densas - DNAPL, estas por vezes com ligeiras modificações. O primeiro passo é a contenção da pluma de contaminantes para a seguir, por um número conveniente de poços de extração, bombear o líquido para a superfície do solo, onde será tratado, normalmente in situ, por meio de algum dos diversos sistemas de tratamento existentes para efluentes contaminados. A vantagem do uso deste método é a versatilidade, no entanto conta com algumas desvantagens, como por exemplo, grande remoção de poluentes no início da operação do sistema, ao longo de aproximadamente um ano, na dependência de diversos fatores, seguida de uma remoção com taxa muito mais baixa. Esta característica exige um longo período de trabalho, com rendimento muito baixo após um período inicial de boa eficiência, o que aumenta o custo de operação. Outra desvantagem é o chamado efeito rebote, que corresponde ao aumento da concentração do contaminante com a cessação do processo de bombeamento.

Método: Aspersão de ar

Aplicação: Utilizado para orgânicos voláteis, é uma alternativa a bombear e tratar. A aspersão de ar força a passagem dos voláteis da fase líquida para a fase vapor, forma na qual é possível retirá-los, por meio de poços perfurados na zona não saturada para extração de vapor. Uma vantagem deste tratamento é a de aumentar a biodegradação aeróbia pela presença do oxigênio do ar injetado. Para obter maior proveito desta vantagem, deve ser utilizada baixa vazão de injeção, caso em que o processo recebe o nome de bioaspersão. As desvantagens deste método são novamente o efeito rebote e o possível espalhamento do poluente pela injeção de água nos poros do solo e a volatilização produzir movimento do contaminante.

Método: “In well stripping” – Arraste no poço, método patenteado nos EUA.

Aplicação: Usado para orgânicos voláteis. Um tubo de injeção de ar é colocado no interior do poço, as bolhas de ar sopradas no interior do líquido facilitam a volatilização dos orgânicos presentes no líquido e os arrasta para o topo do poço, por onde são captados e tratados na superfície do solo. A própria injeção de ar faz o líquido que sofreu a injeção subir e sair por furos existentes na parte superior do tubo do poço, acima da linha d'água, ao mesmo tempo em que por diminuição da pressão na base do poço, água contaminada entra no poço. A eficiência é elevada, o tempo para redução da concentração é baixo, mas ainda assim conta com limitações. O processo de arraste apenas transfere o problema da fase líquida para o ar que deve receber tratamento posterior local.

Método: Sistema de coleta “Drain tile” - Dreno e cobertura

Aplicação: Devido à drenagem de natureza contínua que proporciona é indicado para solos com forte presença de heterogeneidade e anisotropia, característica que permite a aceitação de grande variedade de conformações subsuperficiais como, lentes de areia, buracos de raízes, dutos enterrados ou antigos drenos aterrados, que geralmente em outros sistemas induzem desvios não previstos no projeto. Consiste de vala e filtro, com dreno ao fundo e uma cobertura da região contaminada, para evitar infiltração de água superficial. A desvantagem reside na necessidade de drenos profundos devido à ancoragem da escavação e a preocupação com a segurança dos trabalhadores. Neste caso é mais indicada a técnica dos biopolímeros.

Método: Valas de interceptação e de extração com biopolímeros.

Aplicação: São recomendadas para sítios com problema de segurança nas valetas, com profundidade muito grande, onde o método de dreno e cobertura pode ser desvantajoso. É um método rápido de prover um dreno subsuperficial profundo, de custo mais baixo, executado segundo a técnica construtiva de vala com coluna de lama, para manter a integridade física do solo. A lama neste caso, é uma mistura de materiais biodegradáveis, aditivos para retardar a biodegradação e água. A vala é preenchida com material de drenagem poroso. O material biodegradável é decomposto em água e carboidratos.

Método: Extração de vapor do solo

Aplicação: É uma opção utilizada para remover orgânicos voláteis do solo, na zona vadosa, zona não saturada acima da superfície do lençol freático ou ainda de solos escavados e empilhados. O processo consiste em passar um fluxo de ar através do solo e transferir desta forma os contaminantes deste para a corrente gasosa. Este método pode ser melhorado com a instalação de poços de extração ou com a adição de tubos perfurados na região de contaminação acoplados a um sistema de bomba de vácuo para forçar a retirada dos voláteis incorporados ao solo. Após a bomba de vácuo é necessário um vaso para a extração da umidade do solo em gotículas e um sistema de pós-tratamento dos vapores orgânicos voláteis previamente ao direcionamento do fluxo de ar para a atmosfera. A extração de vapor do solo não é indicada para solos com baixa permeabilidade, ou para contaminantes com baixa pressão de vapor, além de não ser também indicado para lençóis freáticos muito próximos da superfície. Deve ser considerado ainda, que o tempo necessário para remediação é não previsível.

Método: Paredes reativas permeáveis de tratamento ou barreiras reativas permeáveis. É um tratamento passivo.

Aplicação: Tratamento in situ de contaminantes presentes em águas subterrâneas. Consiste pelo menos de uma parede permeável, capaz de reagir com o contaminante presente no fluxo de água que passa através da barreira. As variáveis que governam o fenômeno são as mesmas que controlam reações químicas, tais como: pH, potencial de oxi-redução, concentração do contaminante e cinética da reação, dentre outras. O fluxo de água subterrânea é convenientemente direcionado para a parede permeável que contém os reagentes necessários à remediação, tempo de permanência suficiente é garantido na passagem através da membrana permeável, para possibilitar a reação. A jusante da barreira haverá água tratada que passou pela membrana permeável, pura dentro dos limites de eficiência da reação, enquanto na barreira ficarão retidos os contaminantes. Periodicamente a membrana terá que ser recuperada ou substituída devido à saturação. Há o recurso da montagem de barreiras permeáveis em série, para tratar diferentes compostos, neste tipo de arranjo cada uma delas trata um componente específico da contaminação do lençol. Como desvantagem surge a necessidade de conhecimento

profundo do comportamento do lençol freático, da composição do solo, da composição dos contaminantes e das diversas variáveis que influenciam o processo.

Método: Barreiras para tratamento de degradação. Tratamento passivo.

Aplicação: São utilizadas para degradar compostos não agressivos à saúde, os contaminantes presentes no fluxo de água subterrânea. Não se trata de método diferente, mas de uma subdivisão do método anterior. Nesta forma de tratamento, um composto reativo é colocado na parede permeável para degradar o poluente, por exemplo, no caso de compostos orgânicos clorados pode ser usado o Fe^0 , ferro de valência zero, para reagir com o composto e liberar o cloro. Também é usado o Fe^0 para transformar o Cr hexavalente em Cr trivalente.

Método: Paredes de sorção. Tratamento passivo

Aplicação: Utilizadas para contaminações com metais e produtos orgânicos hidrofóbicos que têm afinidade para serem absorvidos em superfícies de materiais apropriados. Estas superfícies podem ser constituídas de carvão ativo ou surfactantes catiônicos.

Método: Paredes de precipitação. Tratamento passivo.

Aplicação: Usadas para retenção e precipitação em especial de metais, como o chumbo, que precipita em barreiras que utilizam hidroxiapatita.

Método: Escavação e disposição

Aplicação: É o método mais simples de controle, no entanto não corrige o problema, tão somente transfere o solo contaminado para outro local. Não é permitido livremente no Estado de São Paulo, a disposição deve ser feita em local adequado, por exemplo, em um aterro para resíduos perigosos. Esta solução é muito pouco aplicada, tendo em vista o volume de solo removido, que é em geral muito grande e a rápida saturação do aterro que o recebe. A escavação e remoção é

o primeiro passo do controle e deve ser seguido pelo tratamento adequado dos resíduos removidos.

Método: Lavagem do solo.

Aplicação: É aplicável quando o solo contém alta percentagem de material de tamanho grande e relativamente baixa concentração de sólidos orgânicos. É um processo de separação derivado da indústria extrativa de minérios, que visa selecionar o material de granulometria grande, geralmente limpo e isolar aquele constituído de partículas menores, nas quais via de regra, os contaminantes estão fixados. A lavagem, que é apenas uma parte do processo. Pode ser feita com água, agentes extrativos aquosos, solventes e até mesmo com ar. O resultado final é a concentração dos contaminantes em uma porção muito menor de solo a ser tratado, enquanto a maior parte é considerada limpa e reaproveitável, por exemplo, como material de enchimento em construção.

Método: Descontaminação eletrocinética do solo.

Aplicação: Ainda em fase experimental em laboratório, onde foi conseguida a remoção de chumbo de resíduos que o continham. Trata-se da aplicação conjunta dos gradientes hidráulico, elétrico e químico para remover os contaminantes.

Método: Tratamento do solo a baixa temperatura.

Aplicação: Usado para produtos voláteis. Consiste no aquecimento do solo até temperaturas da ordem de 150°C a 200°C, bem abaixo das temperaturas de incineração. Ar é soprado através do solo como gás de arraste para remoção dos produtos orgânicos volatilizados.

Método: Remediação de NAPL aprimorada por surfactante.

Aplicação: Na melhora da remediação por NAPL em águas subterrâneas, pelo incremento do particionamento da fase não aquosa para a fase aquosa. Os surfactantes são eficazes na redução da tensão superficial dos contaminantes

orgânicos, notadamente da gasolina, contaminação muito abundante nos postos de abastecimento de combustíveis.