



GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS

Procedimentos para identificação e caracterização, métodos de remediação – atenuação natural e controle, tratamento local ou externo

BASES DE REFERÊNCIA

- Decisão de Diretoria N° 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007, CETESB;
- Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas;
- Guia de elaboração de planos de intervenção para o Gerenciamento de
- áreas contaminadas. 1º Edição revisada. IPT, Governo do Estado de São Paulo e BNDES.

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

- Procedimento utilizado para definir a existência e a localização de áreas contaminadas:

- Definição da região de interesse:

- Identificação de áreas com potencial de contaminação;

- Avaliação preliminar;

- Investigação confirmatória.

Órgão de controle ambiental, em São Paulo é a CETESB

Responsável legal

AVALIAÇÃO PRELIMINAR

- Obtenção de evidências e fatos que indiquem o potencial da existência de contaminação na área, contemplando as seguintes atividades:
 - Obtenção e análise de documentos relativos ao histórico de ocupação da área, indicando todas as atividades desenvolvidas;
 - Levantamento aerofotogramétrico ao longo do tempo;
 - Obtenção de informações em inspeções de campo;
 - Elaboração de modelo conceitual, apresentando uma descrição e representação gráfica do empreendimento, das características do local e processos potencialmente envolvidos no transporte de contaminantes.



INVESTIGAÇÃO CONFIRMATÓRIA

- Coleta de dados existentes, principalmente em relação aos usos presentes ou passados da área, para uma previsão dos possíveis tipos de contaminantes presentes;
- Estabelecimento de um plano de investigação, com a definição do protocolo para coleta de amostras e análises químicas a serem realizadas;
- Realização da coleta de amostras representativas de solo e/ou água subterrânea para a caracterização química;
- Comparação dos resultados obtidos com os valores de intervenção propostos pelo órgão de controle ambiental;

Valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo (CETESB, Decisão de Diretoria nº 256/2016/E)

Substância	CAS N°	Solo (mg kg ⁻¹ peso seco)					Águas Subterrâneas (µg L ⁻¹)
		Valor de Referência Qualidade	Valor de Prevenção	Valor de Intervenção (VI)			
		(VRQ)	(VP)	Agrícola	Residencial	Industrial	VI
INORGÂNICOS							
Antimônio ⁽¹⁾	7440-36-0	<0,5	2	5	10	25	5
Arsênio ⁽¹⁾	7440-38-2	3,5	15	35	55	150	10
Bário	7440-39-3	75	120	500	1300	7300	700
Boro	7440-42-8	-	-	-	-	-	2400
Cádmio	7440-43-9	<0,5	1,3	3,6	14	160	5
Chumbo	7439-92-1	17	72	150	240	4400	10
Cobalto ⁽¹⁾	7440-48-4	13	25	35	65	90	70
Cobre ⁽²⁾	7440-50-8	35	60	760	2100	10000 ^(a)	2000
Crômio total ⁽¹⁾	7440-47-3	40	75	150	300	400	50
Crômio hexavalente	18540-29-9	-	-	0,4	3,2	10	-
Mercúrio	7439-97-6	0,05	0,5	1,2	0,9	7	1
Molibdênio	7439-98-7	<4	5	11	29	180	30
Níquel ⁽²⁾	7440-02-0	13	30	190	480	3800	70
Nitrato (como N)	14797-55-8	-	-	-	-	-	10000
Prata ⁽¹⁾	7440-22-4	0,25	2	25	50	100	50
Selênio	7782-49-2	0,25	1,2	24	81	640	10
Zinco	7440-66-6	60	86	1900	7000	10000 ^(a)	1800

Valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo (CETESB, Decisão de Diretoria nº 256/2016/E)

Substância	CAS Nº	Solo (mg kg ⁻¹ peso seco)					Águas Subterrâneas (µg L ⁻¹)
		Valor de Referência Qualidade	Valor de Prevenção	Valor de Intervenção (VI)			
		(VRQ)	(VP)	Agrícola	Residencial	Industrial	VI
HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS VOLÁTEIS							
Benzeno	71-43-2	-	0,002	0,02	0,08	0,2	5
Estireno	100-42-5	-	0,5	50	60	480	20
Etilbenzeno	100-41-4	-	0,03	0,2	0,6	1,4	300
Tolueno	108-88-3	-	0,9	5,6	14	80	700
Xilenos	1330-20-7	-	0,03	12	3,2	19	500

MÉTODOS PARA COLETA E PRESERVAÇÃO DE AMOSTRAS

- Para a efetiva caracterização da área no processo de investigação confirmatória é necessária a realização da coleta de amostras para análise em laboratório;
- No caso de solos podem ser obtidas amostras:
 - Deformadas: a estrutura original do solo foi alterada ou destruída, obtidas a partir da coleta de amostras superficiais, ou subsuperficiais, por meio de escavação, sondagem subsuperficial, abertura de trincheiras ou corte de taludes;
 - Indeformadas: a estrutura original do solo é mantida, obtidas a partir de amostradores de solo para esta finalidade ou remoção de blocos por escavação.



Amostra de solo obtida por
amostrador tipo tubo
(Fonte: IPT)



Amostrador tipo trado (Fonte: IPT)

MÉTODOS PARA COLETA E PRESERVAÇÃO DE AMOSTRAS (CONT.)

- Para a amostragem de água subterrânea, deve-se estabelecer o protocolo de coleta para água o aquífero superficial e/ou subterrâneo;
 - Necessidade de perfuração de poços.
- Neste caso utiliza-se os procedimentos padronizados definidos em literatura especializada:
 - Standard methods for the examination of water and wastewater;
- Também pode ser necessária a coleta de amostras de gases retidos no solo, para a identificação de contaminantes voláteis.

AVALIAÇÃO E GERENCIAMENTO DE RISCOS

- Etapa necessária para determinar a existência de risco à saúde da população exposta aos contaminantes presentes;
- Vai definir a necessidade ou não de medidas de intervenção na área em avaliação;
- A necessidade de intervenção, remediação, irá depender do grau de risco calculado com base em procedimentos específicos;
- Em função do nível de risco calculado é definida a estratégia para o gerenciamento da área:
 - Liberação da área;
 - Atenuação natural monitorada;
 - Remediação.

REMEDIACÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

- Para a definição da estratégia de remediação da área contaminada é necessário se dispor da caracterização adequada dos contaminantes presentes e das suas propriedades físico-químicas;
- O conhecimento das propriedades físico-químicas dos contaminantes permite definir de forma clara de que maneira o contaminante interage com o solo e a água subterrânea e qual a sua potencial distribuição em cada meio;
- Propriedades relevantes dos contaminantes:
 - Constante de dissociação ácida;
 - Coeficiente de partição octanol/água;
 - Pressão de vapor;
 - Solubilidade em água;
 - Carga elétrica;
 - Ponto isoelétrico, no caso de moléculas orgânicas.

Propriedades físico-químicas de
alguns compostos químicos
(Fonte: IPT)

Nome Químico	Fórmula Molecular	Peso molecular	Densidade (g.cm ⁻³)	Constante de Henry (atm.m ³ /mol)	Pressão de Vapor (mmHg/20°C)	Potencial de Ionização (eV)
Aromáticos e Alifáticos						
Benzeno	C ₆ H ₆	78,11	0,877	2,15E-01	75	9,24
Tolueno	C ₆ H ₅ CH ₃	92,1	0,87	2,62E-01	20 (18,3°C)	8,82
Etil Benzeno	C ₆ H ₅ CH ₂ CH ₃	106,2	0,87	0,322 (8,5E-3)	10 (26,1°C)	8,76
Xilenos (o/m/p)	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	106,2	0,88 a 0,86	3,04E-01	07/09/09	8,44 a 5,86
(n-)Octano	CH ₃ (CH ₂) ₆ CH ₃	114,2	0,7	5,5 (E-4)	10	9,82
Éter metil t-butílico (MTBE)	C ₅ H ₁₂ O	88,15	0,74	0,018 (5,5E-4)	245	10
VOCs clorados						
Cloreto de vinila	CH ₂ CHCl ₂ (Cloroeteno)	62,5	0,911	1,10E-02	>760	9,99
1,1 Dicloroetano (1,1-DCA)	CHCl ₂ CH ₃	99	1,18	1,80E-01	230 (25°C)	11,06
1,2-Dicloroetileno	(CH) ₂ Cl ₂ (1,2-DCE)	97	1,27 (25°C)	3,00E-02	180 a 264	9,65
1,1,2-Tricloroetano	CHCl ₂ CH ₂ Cl (TCA)	133,4	1,44	1,2	19	11
Tricloroetileno	ClCH=CCl ₂ (TCE)	131,4	1,46	8,90E-02	58	9,45
Tetracloroetileno	Cl ₂ C=CCl ₂ (Percloroetileno)	165,8	1,62	3,60E-02	14	9,35
Tetracloroeto de carbono	CCl ₄	153,8	1,59	3,30E-03	91	11,47

PROPRIEDADES DE CONTAMINANTES ORGÂNICOS

- Constante de dissociação ácida (k_a):



$$k_a = \frac{[H^+][R^-]}{[RH]}$$

- $pK_a = pH \rightarrow [RH] = [R^-]$
- $pK_a > pH \rightarrow [RH] > [R^-]$
- $pK_a < pH \rightarrow [RH] < [R^-]$

Qual a implicação destas condições sobre o comportamento do contaminante no ambiente?



CONCEITO SOBRE HIDROFOBICIDADE E HIDROFILICIDADE

- Hidrofilicidade: contaminantes apresentam maior afinidade pela água;
- Hidrofobicidade: contaminantes apresentam menor afinidade pela água.
- Como avaliar?
 - Baseado na carga elétrica líquida do contaminante em meio aquoso;
 - Solubilidade do contaminante em água;
 - Avaliação do coeficiente de partição do contaminante entre um solvente apolar e a água;
 - Coeficiente de partição octanol/água.

Rating Codes ● Above Average ○ Average ○ Below Average N/A - "Not Applicable" I/D - "Insufficient Data" ◇ - Level of Effectiveness highly dependent upon specific con- taminant and its application	Development Status	Treatment Train	Relative Overall Cost & Performance					Availability	Nonhalogenated VOC's	Halogenated VOC's	Nonhalogenated SVOC's	Halogenated SVOC's	Fuels	Inorganics	Radionuclides	Explosives	
			O&M	Capital	System Reliability & Maintainability	Relative Costs	Time										
Soil, Sediment, Bedrock, and Sludge																	
3.1 In Situ Biological Treatment																	
4.1 Bioventing	●	●	●	●	●	●	○	●	●	◇	●	○	●	○	◇	○	
4.2 Enhanced Bioremediation	●	●	○	○	○	●	○	●	●	●	●	◇	●	◇	◇	●	
4.3 Phytoremediation	●	●	●	●	○	●	○	○	○	○	○	◇	○	○	○	○	
3.2 In Situ Physical/Chemical Treatment																	
4.4 Chemical Oxidation	●	●	○	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	◇	○	○	
4.5 Electrokinetic Separation	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	○	○	
4.6 Fracturing	●	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.7 Soil Flushing	●	●	○	○	○	○	○	●	●	●	○	○	○	●	○	○	
4.8 Soil Vapor Extraction	●	○	○	○	●	●	○	●	●	●	○	○	●	○	○	○	
4.9 Solidification/Stabilization	●	●	○	○	●	●	●	●	○	○	○	○	○	●	●	○	
3.3 In Situ Thermal Treatment																	
4.10 Thermal Treatment	●	○	○	○	●	○	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	
3.4 Ex Situ Biological Treatment (assuming excavation)																	
4.11 Biopiles	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	○	◇	●	◇	○	○	
4.12 Composting	●	●	●	●	●	●	○	●	○	○	○	◇	●	○	○	●	
4.13 Landfarming	●	●	●	●	●	●	○	●	○	○	●	○	●	○	○	◇	
4.14 Slurry Phase Biological Treatment	●	○	○	○	○	○	○	●	○	●	●	◇	●	◇	○	●	
3.5 Ex Situ Physical/Chemical Treatment (assuming excavation)																	
4.15 Chemical Extraction	●	○	○	○	○	○	○	●	○	○	●	●	○	●	○	○	
4.16 Chemical Reduction /Oxidation	●	○	○	○	●	○	●	●	○	○	○	○	○	●	○	○	
4.17 Dehalogenation	●	○	○	○	○	○	○	○	○	●	○	●	○	○	○	○	
4.18 Separation	●	○	○	○	●	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.19 Soil Washing	●	○	○	○	●	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.20 Solidification/Stabilization	●	●	○	○	●	●	●	●	○	○	○	○	○	●	●	○	
3.6 Ex Situ Thermal Treatment (assuming excavation)																	
4.21 Hot Gas Decontamination	○	●	○	○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.22 Incineration	●	●	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	○	○	●	
4.23 Open Burn/Open Detonation	●	●	○	○	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	●	
4.24 Pyrolysis	●	●	○	○	○	○	●	●	○	○	●	●	○	○	○	○	
4.25 Thermal Desorption	●	●	○	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	○	○	●	