

**HUMBERTO LUSVARGHI NETO**

**AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA NA  
ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO**

**EPMI  
ESP/EST-2010  
L976a**

**SÃO PAULO**

**2010**

**HUMBERTO LUSVARGHI NETO**

**AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA NA  
ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO**

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de  
Especialização em Engenharia de  
Segurança do Trabalho.

**SÃO PAULO**

**2010**

Dedico este trabalho à minha esposa  
Camila e minha filha Vitória.

## RESUMO

As áreas contaminadas vêm ganhando destaque a cada dia devido à atuação que os órgãos ambientais vêm exercendo para que haja um gerenciamento mais adequado desta questão. Para proteger a saúde da população exposta à contaminação, os órgãos de controle ambiental sugerem que a tomada de decisão sobre o gerenciamento ambiental de uma área impactada seja baseada em uma avaliação de risco a saúde humana, através de uma modelagem matemática dos contaminantes e cenários existentes. Este trabalho apresenta e discute uma avaliação de risco a saúde humana, realizada em uma área contaminada no município de Santos, SP. Foram realizadas visitas em campo para avaliação do entorno bem como da planta industrial. Verificou-se através dos dados gerados pelo modelo matemático que a área estudada apresenta diversos contaminantes e que estes contaminantes atualmente oferecem risco carcinogênico e não carcinogênico para funcionários da empresa, prestadores de serviço na empresa na área de construção civil e moradores do entorno da empresa. Também foram discutidas as medidas para controle do risco.

**Palavras chave:** análise de risco, segurança, área contaminada, contaminação.

## **ABSTRACT**

The contaminated areas are getting more attention each day due to the environmental agency activities on a better management of this issue. To protect the health of the population exposed to contamination, the Brazilian environmental agencies suggest that the decision-making process on the environmental management of a contaminated area be based on risk assessment of human health, through a mathematical modeling of contaminants and scenarios of the area. This work presents and discusses the human health risk assessments carried out in a contaminated area in the municipality of Santos, SP. Field works were developed to identify neighborhood and characteristics of the industrial plant. Was identified through the data generated by the mathematical model that the contaminated area presents contaminants and these contaminants offer carcinogenic risk and non carcinogenic risk for workers from the company, workers from other company working inside the area and the neighborhood around site. Was also discussed the solutions to keep the risk under control.

**Key words:** risk assessment, safety, contaminated area, contamination.

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1:** Compostos utilizados na avaliação de risco (pag. 18)

**Tabela 2:** Concentrações máximas dos compostos utilizados no cálculo (pag. 21);

**Tabela 3:** Dados de exposição da população utilizados no software (pag. 22);

**Tabela 4:** Dados do solo utilizados no software (pag. 23);

**Tabela 5:** Dados das condições da água subterrânea (pag. 23);

**Tabela 6:** Cenário 1 - Industrial real (pag. 26);

**Tabela 7:** Cenário 2 - Industrial hipotético (pag. 27);

**Tabela 8:** Cenário 3 – Construção civil (pag. 28);

**Tabela 9:** Cenário 4 – Residencial (pag. 29);

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	1
1.1 Objetivo	3
1.2 Justificativa	3
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b>	4
2.1 Histórico da Técnica	4
2.2 Normas Utilizadas	5
2.3 Definições	6
2.4 Gerenciamento do risco	6
2.4.1 Modelo Norte Americano de Gerenciamento de Risco	7
2.4.2 Modelo CETESB de Gerenciamento de Risco	8
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	13
3.1 Coleta dos Dados	13
3.2 Caracterização da Área Estudada	13
3.3 Geologia Local e Hidrogeologia	14
3.4 Consumo de Água na Região	15
3.5 Software Risc Workbench	16
3.6 Seleção dos Compostos de Interesse	17
3.7 Caracterização da Exposição	18
3.7.1 Modelo Conceitual de Cenários e Exposição	18
3.7.2 Determinação da Concentração no Ponto de Exposição	20
3.7.3 Quantificação da Exposição	21
3.8 Avaliação Toxicológica	24
3.9 Limitações da Avaliação	24
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	26
<b>5 CONCLUSÕES</b>	30
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	33
<b>7 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b>	35

## 1 INTRODUÇÃO

As atividades industriais tem crescido juntamente com o desenvolvimento da sociedade, principalmente neste ultimo século. Este crescimento desordenado tem trazido conseqüências graves para o meio ambiente e para a saúde das pessoas potencialmente expostas às substancias químicas presentes nos locais de crescimento desordenado.

O histórico de acidentes ambientais no Brasil é grande, e ainda hoje, com todas as normas e exigências de órgãos ambientais competentes, continua em uma posição de destaque negativo. Desta forma o gerenciamento deste risco vem de encontro as necessidades que hoje se mostram presentes em quase todo território nacional.

O gerenciamento do risco tem ganhado cada vez mais importância uma vez que os órgãos ambientais tem cobrado de forma atuante, ocasionando destaque nesta ação de gerenciamento. Destaca-se também que este processo de gerenciamento envolve varias etapas, vários profissionais diferentes e uma das principais etapas deste gerenciamento é justamente a avaliação de risco à saúde humana.

A importância desta etapa de avaliação de risco, entre outros fatores, se dá pelo fato desta etapa ser uma divisora de ações, uma vez que caso esta etapa mostre que não há risco, o processo todo envolverá caminhos mais simples no gerenciamento da área contaminada (CETESB 1999). De outra forma, caso seja constatado o risco, obrigatoriamente a área deverá ser remediada (CETESB 2001). Esta ferramenta permite ainda avaliar a necessidade de aplicação de ações corretivas adequadas ao local em função do risco real ou potencial de uma



área específica, possibilitando assim, uma melhor alocação dos recursos para remediação, garantindo a proteção da saúde humana e do meio ambiente (ASTM, 1995).

Uma vez que este estudo de gerenciamento do risco hoje é bem direcionado aos profissionais da área de meio ambiente, a problemática das áreas contaminadas envolve a segurança da população, devendo desta forma, envolver também profissionais da área de saúde e segurança do trabalho (ASTM, 1995).

Existem hoje varias formas de elaborar uma avaliação de risco a saúde humana, entre elas, a utilização de softwares específicos aumentam a precisão e agilizam o processo como um todo. Os principais softwares hoje disponíveis no mercado são o Risc Workebench e o Mona Toolkit. O Risc Workbench 4.0 ("Software para Avaliação de Remediação"), foi desenvolvido para auxiliar na avaliação dos potenciais riscos a saúde humana de áreas contaminadas, sendo baseado no sistema Windows de programação, podendo estimar o potencial dos efeitos adversos a saúde humana, sendo eles carcinogênicos ou apenas tóxicos. O Mona Toolkit apresenta basicamente as mesmas características no seu concorrente, contudo traz incluso um pacote com outros softwares como Biotrends e outros para monitoramento de atenuação natural de contaminantes em solo ou água.

## **1.1 Objetivo**

O objetivo deste trabalho é identificar e quantificar os riscos de determinada substância presente no solo e água subterrânea em uma planta industrial, pela utilização da técnica de avaliação de risco à saúde humana, através de um software específico.

## **1.2 Justificativa**

O gerenciamento do risco em áreas contaminadas tem se tornado cada vez mais importante, necessitando assim de ferramentas e técnicas que permitam aos engenheiros de segurança do trabalho poder quantificar e qualificar os riscos existentes nestas áreas bem como a população que está exposta a este risco. Este trabalho se justifica por analisar um caso real em uma área contaminada, onde há necessidade da quantificação e qualificação dos riscos, utilizando seu resultado para propor as medidas de intervenção na área, protegendo assim a população exposta. Destaca-se que as medidas de intervenção necessárias são responsabilidade do engenheiro de segurança, que irá propor os meios necessários para minimizar os riscos existentes.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Histórico da Técnica**

De acordo com Israel, citado por CRISTIANE MICHELS (2005), os primeiros trabalhos foram feitos nos Estados Unidos na década de 70 pela EPA (Agência Ambiental Americana) uma vez que os padrões ambientais eram mais rigorosos nos Estados Unidos do que na Europa de uma forma geral. A técnica de avaliação de risco começou a ser utilizada em pequenos vazamentos em áreas de abastecimento, e em 1975 ela se fixou como norma ambiental, com base nos vários estudos feitos em contaminações de cloreto de vinila, porém a técnica só foi aprimorada e difundida após a decisão da Suprema Corte dos Estados Unidos sobre o benzeno em 1980.

Em 1976 foram liberadas as diretrizes para execução da avaliação de risco a vários outros compostos carcinogênicos e não carcinogênicos, que ainda não existiam por falta de dados físico-químicos. Em 1980 este mesmo órgão ambiental americano lançou uma série de listas que continham mais dados físico-químicos de compostos utilizados na época, bem como os valores de comparação do risco, onde acima de determinado valor, o risco poderia existir. Estas listas foram disponibilizadas em forma de livros e também em forma de site, conhecido como IRIS (Sistema de Informações Integradas de Risco) que está no ar até os dias de hoje (IRIS, 2010).

Em 1995 esta mesma agência lançou a primeira política nacional sobre avaliação risco, onde foram inclusos os riscos ao meio ambiente (ecotoxicológicos), já que até então apenas os riscos para a população humana exposta eram

considerados. Assim os riscos ecológicos a animais e vegetais, também foram inseridos no banco de dados da Agência Ambiental Americana, dando início a uma larga utilização da técnica em vários países (IRIS, 2010).

No Brasil, a técnica de avaliação de risco começou a ser utilizada em 2001, quando a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) lançou as primeiras diretrizes para elaboração deste estudo, em seu Manual de Áreas Contaminadas. A partir deste primeiro estudo, os outros estados brasileiros também se engajaram na técnica e as diretrizes da CETESB são até hoje muito utilizadas em todo território brasileiro (CETESB 2001).

## **2.2 Normas Utilizadas**

### **2.2.1 Normas Americanas**

Nos Estados Unidos, as normas para avaliação de risco a saúde humana foram estabelecidas pela Agência Ambiental Americana (EPA) e pela ASTM (Sociedade Americana de Pesquisa e Materiais). Esta junção resultou na norma hoje utilizada nos Estados Unidos, a ASTM E1739 – 95, também conhecida como RBCA cuja sigla significa “Diretrizes para Ações Baseadas no Risco” (ASTM, 1995).

### **2.2.2 Normas Brasileiras**

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, a CETESB, responsável pelas ações de controle ambiental e preocupada com os problemas de áreas contaminadas no Estado de São Paulo desenvolveu o “Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas” em 2001. A metodologia da CETESB fundamenta-se em

etapas sequenciais em que a informação obtida em cada etapa é a base para a execução da etapa posterior, tornando-se progressivamente mais específicas e complexas, exigindo um maior grau de detalhamento do local avaliado (CETESB, 2001b). Para esta metodologia é utilizada a Lista de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas estabelecida pela CETESB em 2001. A lista é composta de valores de referência de qualidade, valores de alerta com caráter preventivo e valores de intervenção (CETESB, 2005).

## **2.3 Definições**

A identificação de um risco específico pela exposição a determinadas substâncias ou perigo é chamada avaliação de risco (ATSDR 1995). O objetivo da avaliação de risco é identificar e medir o risco de determinada substância presente em um dado nível de exposição. Existem varias definições para o risco, segundo o órgão ambiental americano, podendo segundo ele ser definida como a estimativa qualitativa ou quantitativa da presença de um determinado risco causar efeitos adversos a saúde humana (ASTM, 1995).

## **2.4 Gerenciamento do risco**

A avaliação de risco não é apenas uma ferramenta de qualificação e quantificação do risco. Ela faz parte de um estudo mais amplo, que é o gerenciamento do risco. Este gerenciamento engloba várias etapas, onde a avaliação de risco é uma das mais importantes, já que muitas vezes é justamente

ela quem vai orientar a necessidade ou não de remediação na área contaminada (CETESB, 2007).

A seguir estão descritas as principais diretrizes utilizadas na avaliação de risco, tanto no Brasil como nos Estados Unidos.

#### *2.4.1 Modelo Norte Americano de Gerenciamento de Risco*

O planejamento do gerenciamento do risco inicia-se com uma investigação prévia da área para se certificar que a mesma encontra-se contaminada. Uma vez constatada a contaminação são coletados dados sobre quais contaminantes estão presentes ali e quais suas concentrações. Isto é feito por meio de coletas de amostras de água subterrânea, solo e outros materiais que possam evidenciar a presença de compostos químicos de forma antrópica (US.EPA, 1989).

Uma vez delimitada a área contaminada e levantadas as concentrações que os contaminantes se encontram, torna-se necessária a avaliação de risco a saúde humana, para checar se existe risco para pessoas que possam estar expostas aos contaminantes. Esta etapa é de fundamental importância não só para a segurança da população, mas para todo o gerenciamento do risco, já que caso esta avaliação mostre que não há risco, o processo pode parar nesta etapa, não sendo necessária a remoção do contaminante do solo ou da água, uma vez que a atenuação natural (processo de quebra das moléculas do contaminante pelo tempo e condições presentes no solo ou água) seguirá seu caminho. Uma vez determinada a necessidade da avaliação de risco, 3 etapas são seguidas para a elaboração deste estudo (ASTM, 1995).

A primeira delas (etapa 1) é realizada através da comparação das concentrações dos contaminantes medidas na fonte com valores de referência já estabelecidos, conhecidos como RBSL (Valores Baseados no Risco). Os RBSL são padrões conservadores que consideram vias de exposição como ingestão de água e vegetais cultivados na área contaminada, inalação de material particulado e vapores, e o contato dérmico com solo, poeira e com a água subterrânea. Caso esta etapa mostre que há risco, torna-se necessário um estudo mais detalhado, que é a etapa 2 (ASTM, 1995).

Na etapa 2, são incluídos mais dados do local contaminado, desta forma o risco é determinado considerando as características específicas do local, como o tipo de solo, água, clima, geologia, entre outras características da área, que tornarão o estudo mais preciso e abrangente (ASTM, 1995).

Na etapa 3, além dos dados da área levantados na etapa 2, é feito o levantamento da população exposta, o que permite uma avaliação mais aprofundada do cenário de risco potencial. Neste caso, são realizadas simulações do deslocamento dos contaminantes no solo, água ou ar, através de softwares de modelagem matemática de fluxo e transporte de contaminantes (ASTM, 2002).

#### *2.4.2 Modelo CETESB de Gerenciamento de Risco*

A metodologia do gerenciamento de áreas contaminadas é definida por varias etapas de estudo, que se iniciam na etapa de avaliação preliminar. Esta avaliação tem como objetivo levantar dados passados e presentes do uso do solo da área em questão, identificando assim se a área apresenta potencial de contaminação. Caso este levantamento tenha apontado que na área eram

executadas atividades potencialmente poluidoras (armazenamento de resíduos, áreas de tancagem, áreas de abastecimento, entre outras) o processo de gerenciamento é direcionado para a segunda etapa, que é a investigação confirmatória (CETESB, 2001).

Esta etapa levanta dados do local através de coletas de água, solo, ar ou qualquer outra matriz que possa estar impactada. Com base nos laudos laboratoriais, é possível já constatar se a área está ou não impactada. Em caso positivo, da área estar contaminada, o estudo abrange uma 3 etapa. Uma vez que é constatado que existe um ou mais contaminantes alterando a qualidade do solo, água, ar, torna-se necessário mensurar a concentração deste contaminante bem como a área exata que ele está ocupando, cujo termo técnico utilizado para designar esta área é "pluma de contaminação" (CETESB, 2001).

Uma vez constatado o composto causador do impacto, tamanho da área impactada e concentração do composto ou compostos presentes, segue-se uma das principais etapas no gerenciamento do risco: a etapa de Avaliação de Risco à Saúde Humana. É justamente esta etapa que vai mostrar se a contaminação presente oferece risco ao ser humano ou ao meio ambiente, através de simulações de modelagens matemáticas e estimativas do caminamento dos contaminantes nos meios em que estão presentes. É importante destacar que grande parte da importância desta etapa reside no fato de que caso a área contaminada não apresente risco ao ser humano ou ao meio ambiente, a área não precisa necessariamente ser remediada, diminuindo drasticamente os investimentos na recuperação da área. A remediação da área seria uma 4 etapa, caso o estudo de avaliação de risco mostre que existe uma ou mais populações expostas ao risco, ou ainda animais e vegetais expostos (CETESB, 2001).



Dentro dos métodos para a avaliação de risco, foi seguida a seguinte sequência: avaliação de dados, avaliação da exposição, avaliação da toxicidade e caracterização do risco. Abaixo foi feita uma descrição de cada uma destas etapas, que atendem a legislação no Estado de São Paulo, segundo os moldes CETESB.

A etapa de Avaliação de Dados consiste no levantamento e análise de informações relacionadas à área, assim como na identificação dos compostos de interesse ambiental presentes no local, que serão objeto do processo de avaliação de risco. Esta etapa inclui a validação dos resultados das análises químicas disponíveis, avaliação das concentrações de todos os compostos detectados na área ao longo do tempo e comparação destas concentrações com os padrões de referência estabelecidos (CETESB, 2001).

A avaliação da exposição, objetiva estimar o tipo e magnitude da exposição humana aos compostos químicos de interesse que estão presentes no meio físico. A avaliação da exposição é dividida em três etapas: caracterização da exposição (meio físico e população potencialmente exposta), identificação das rotas de exposição e quantificação da exposição. Durante a avaliação da exposição, são desenvolvidas estimativas de exposição máxima, considerando o uso atual e futuro da área. As estimativas dos níveis atuais de exposição são utilizadas para determinar se existe algum risco, baseando-se nos atuais cenários de exposição identificados na área. As estimativas de exposição futuras são utilizadas para fornecer informações quanto à exposição potencial no futuro, incluindo uma estimativa qualitativa da possibilidade de ocorrência desta exposição (CETESB, 2001).

A análise da toxicidade consiste na obtenção de dados toxicológicos relativos aos compostos de interesse, de modo a possibilitar a interpretação dos

possíveis efeitos adversos à saúde humana associados a um evento de exposição. A etapa de Análise da Toxicidade é dividida em duas fases principais: identificação dos efeitos adversos à saúde e levantamento de dados de dose-resposta.

O processo de caracterização dos riscos integra os dados desenvolvidos durante a avaliação da exposição e na análise de toxicidade, a fim de calcular estimativas numéricas dos riscos carcinogênicos e dos quocientes de periculosidade não carcinogênicos (US.EPA 2004).

O risco é calculado a partir as seguintes equações segundo a CETESB:

#### **Compostos não carcinogênicos**

$$Q = DO/RfD$$

Onde:

$Q$  = quociente de periculosidade

$DO$  = dose de ingresso média (mg/kg-dia);

$RfD$  = dose de referência (mg/kg-dia)

Um valor “ $Q$  – quociente de periculosidade” que excede o valor 1, indica a existência de maior probabilidade de desenvolver um efeito adverso tóxico do tipo crônico.

Foram calculados os quocientes de periculosidade para todos os compostos de interesse e somados a fim de obter-se uma estimativa do risco específico associado a uma determinada via de exposição. Os riscos totais não carcinogênicos calculados para cada um dos cenários de exposição foram comparados com a meta de 1. Normalmente, é necessária a implementação de medidas de remediação quando os riscos identificados estão acima deste valor meta (CETESB, 2001).

### **Compostos Carcinogênicos**

O risco dos compostos carcinogênicos é determinado através da seguinte equação:

$$\text{Risco} = \text{DO} \times \text{FC}$$

Onde:

Risco = risco carcinogênico

DO = dose de ingresso médio ao longo da vida (mg/kg-dia);

FC = fator de carcinogenicidade (mg/kg-dia);

O índice de risco carcinogênico representa a probabilidade de desenvolver câncer durante um período de 70 anos, como resultado da exposição aos compostos de interesse detectados na área de estudo (CETESB 2001)

O mesmo critério adotado para os compostos não carcinogênicos deve ser adotado para os compostos carcinogênicos, sendo assim, o risco refere-se somatória dos diferentes compostos químicos de interesse, associado a uma determinada via de exposição. Neste estudo, os riscos carcinogênicos calculados foram avaliados contra os níveis alvo de risco normalmente empregados em áreas contaminadas do estado de São Paulo (CETESB, 2001). O intervalo de risco carcinogênico determinado pela CETESB é representado pelo valor  $10^{-5}$ , ou seja, 1 caso de câncer em uma população de 100.000 pessoas ( $1 \times 10^{-5}$ ).

Para valores de risco maiores que  $10^{-5}$ , deve se tornar necessária a implantação de medidas de engenharia e/ou remediação como a remoção emergencial da população exposta ou a eliminação da rota de exposição. Os riscos menores que  $10^{-5}$  podem ser considerados como dentro de limites gerenciáveis, onde medidas de longo prazo podem ser tomadas, ou mesmo a adoção de monitoramentos apenas (CETESB, 2001).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Coleta dos Dados**

Os dados utilizados neste estudo foram levantados por vários meios, dentre eles 2 visitas realizadas na área da empresa avaliada, com duração de 2 dias cada uma. Também foram levantadas informações de sites do governo norte americano, no órgão ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), bem como visita a biblioteca do PECE – USP, onde foram consultados trabalhos realizados por alunos do curso de engenharia de segurança e engenharia de minas.

Também foram levantados os relatórios dos trabalhos já realizados na empresa estudada, sendo os principais trabalhos de caracterização do solo e/ou da água subterrânea e os principais relatórios ambientais/monitoramentos identificados:

- Avaliação do potencial de contaminação do subsolo do parque de tanques em outubro de 2003;
- Avaliação detalhada da área do parque de tanques em abril de 2004;
- Laudo de avaliação da ocorrência de contaminação no subsolo em março de 2005;
- Avaliação ambiental complementar em novembro de 2006;
- Avaliação ambiental preliminar em agosto de 2007;
- Avaliação ambiental detalhada em agosto de 2009

#### **3.2 Caracterização da Área Estudada**

Foi realizada a caracterização da planta industrial como um todo, incluindo seu entorno. O nome da empresa avaliada não pode ser divulgado, portanto esta empresa será denominada Alpha neste trabalho.

A unidade industrial da empresa Alpha está localizada no município de Santos, Estado do São Paulo. A empresa não autorizou a divulgação de maiores detalhes. De acordo com as leis de zoneamento do município, a propriedade encontra-se inserida na zona de indústria, comércio e serviços, podendo ser enquadrada na atividade de IA (Indústria de Leve Risco Ambiental), segundo o plano de zoneamento da prefeitura.

Também foram verificados na empresa os produtos químicos por ela utilizados, inclusive em épocas passadas, onde seu processo produtivo era diferente. Com isto levantou-se que os contaminantes encontrados na área, impactando o solo e a água subterrânea, podem ter ligação com os produtos que foram e são manuseados no processo produtivo da Alpha, que incluem pigmentos de tintas e óleos lubrificantes.

### **3.3 Geologia Local e Hidrogeologia**

Uma vez que o software necessita de dados geológicos e hidrogeológicos para fazer as simulações no estudo de avaliação de risco, foi feita uma pesquisa para identificação da geologia local e a hidrogeologia, onde foram consultados relatórios já elaborados pelas empresas de consultoria ambiental. Os seguintes resultados foram encontrados:

- Aterro (composto por areia, argila arenosa, cascalho, entulho e brita).
- Areia fina à grossa/argilosa à siltosa;
- Argila plástica arenosa;
- Argila plástica.

Destaca-se que estes dados são importantes para que o software possa calcular como o contaminante de camadas mais inferiores atingirá as camadas mais superficiais.

Quanto à hidrogeologia verificou-se nos trabalhos já realizados que o aquífero na área é do tipo freático (conhecido vulgarmente como lençol freático, sendo formado pela água da chuva retida no solo). Isto mostra que a contaminação está retida em camadas menos profundas, o que facilita a descontaminação mas aumenta o risco de exposição.

### **3.4 Consumo de Água na Região**

O abastecimento de água na planta da empresa Alpha é realizado através de poços de captação de água.

O abastecimento de água no entorno da empresa (residências/comércios) é realizado através de rede pública da SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo). Foi realizada consulta no DAEE – Departamento de Água e Energia Elétrica a fim de verificar a existência de poços de abastecimento de água localizados próximos a planta da empresa Alpha. Conforme os dados levantados, os poços profundos de abastecimento de água estão entre 2,2 e 5,5 km de distância da propriedade da empresa e possuem profundidade entre 28 e 280 metros.

Segundo levantamento realizado no local, não existem corpos hídricos próximos o suficiente da planta industrial que possam estar no raio de influência da contaminação (aproximadamente 50 m, com base nas condições geológicas da área).

### 3.5 Software Risc Workbench

O software é em linguagem Excel e ainda possui algumas incompatibilidades com a plataforma Windows Vista e Seven. Ele tão pouco é compatível com a plataforma da Aple. Portanto a melhor plataforma para rodar este modelo é o Windows XP, para o qual ele foi desenvolvido.

A navegação pelas paginas e recursos mais complexos do software exige treinamento prévio, já que várias etapas são abordadas até a modelagem final. Os trabalhos se iniciam com a inserção de dados da área de estudo, logo nas páginas iniciais. Nesta etapa há um caminho para ter acesso ao banco de dados e checar se os dados físico-químicos dos compostos estão atualizados. Após isto, com os cenários já definidos, inicia-se com a colocação dos compostos químicos que serão considerados na avaliação do cenário. Destaca-se que neste software os cenários devem ser rodados um a um.

Uma vez colocados os compostos, inicia-se algumas etapas para definição dos objetivos do trabalho, escolhendo então os parâmetros que serão utilizados na caracterização do cenário, como tempo total de exposição de um trabalhador a uma área contaminada, quanto uma pessoa exposta ingere por dia de legumes produzido na área contamina, tempo de banho, irrigação de hortaliças, tudo para chegar ao melhor nível de precisão dos resultados. Destaca-se que estes parâmetros são pré-estabelecidos, com base em pesquisas já realizadas pelos órgãos ambientais. Contudo nada impede que caso tenha disponível uma caracterização completa da área e da população, estes dados não sejam utilizados.

Segue-se então para a modelagem propriamente dita, onde são gerados dados de exposição, toxicidade e carcinogenicidade dos compostos para os

cenários determinados. Estes dados são interpretados e conclusivos, informando se existe ou não os riscos esperados para os cenários.

### **3.6 Seleção dos Compostos de Interesse**

A determinação dos compostos de interesse para solo e água subterrânea foi feita com base nos valores obtidos no último monitoramento (amostragem do solo e da água subterrânea), realizado em maio de 2008. Nesse monitoramento foi realizada amostragem de água subterrânea tanto nos poços antigos como nos novos.

O processo de seleção dos compostos iniciou-se com a tabulação dos resultados analíticos obtidos no último monitoramento em 2008, diferenciando os grupos de dados por meio ambiental (solo e água subterrânea) e então eliminando os compostos não detectados em qualquer amostra de um determinado meio.

Para a definição dos compostos de interesse na água, os resultados do monitoramento realizado em maio de 2008 foram comparados com os padrões da CETESB para solo e água subterrânea, aprovados por Decisão da Diretoria 195/2005 - 23 de Novembro de 2005.

Os compostos que apresentaram concentração acima desse padrão de referência foram considerados no cálculo do risco, sendo eles apresentados na Tabela 1, a seguir:



**Tabela 1 – Compostos utilizados na avaliação de risco**

Molibdênio	Níquel
Cloreto de Vinila	Ferro
Benzo(k)fluoranteno	Boro
Cloroetano	Antimônio
Benzo(b)fluoranteno	Criseno
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	Arsênio
Fluoranteno	Vanádio
Tetracloroetano	Chumbo
Alumínio	

Os compostos que não constam nas tabelas acima não foram considerados na avaliação. Para os parâmetros acenaftileno e benzo(g,h,i)perileno, não havia informações toxicológicas disponíveis em nenhuma das fontes de dados consultadas. Dessa forma, optou-se por retirá-los do cálculo do risco à saúde humana.

### **3.7 Caracterização da Exposição**

#### **3.7.1 Modelo Conceitual de Cenários e Exposição**

A elaboração do modelo conceitual de cenários foi realizada durante as visitas feitas na planta industrial, a fim de identificar o entorno a área. Com base nesta verificação foram levantados grupos de populações possivelmente expostas à contaminação, sendo eles:

- Cenário 1 - Industrial Real – funcionários da empresa Alpha que trabalham na área da empresa;
- Cenário 2 - Industrial Hipotético – funcionários da empresa Alpha que trabalham na área da empresa e consomem água subterrânea do aquífero freático;
- Cenário 3 - Construção Civil – funcionários da construção civil que poderão trabalhar em obras no interior da Empresa Alpha;
- Cenário 4 - Residencial – residências no entorno da propriedade da Empresa Alpha.

As vias de exposição foram levantadas também com base nas visitas, realizando vistorias nas instalações e estudando o comportamento dos funcionários com relação a exposição as vias propostas, ou seja, por quais meios os contaminantes na área poderiam chegar até os grupos levantados. Desta forma foram selecionadas as vias de exposição para cada cenário, sendo:

### **Cenário 1**

A população exposta refere-se aos funcionários (adultos) que trabalham na área.

#### **Vias de exposição**

##### *Água Subterrânea:*

- Inalação de vapores em ambiente externo;
- Inalação de vapores em ambiente interno.

##### *Solo:*

- Inalação de vapores em ambiente externo;
- Inalação de vapores em ambiente interno.

### **Cenário 2**

A população exposta refere-se aos funcionários (adultos) que trabalham na área e consomem água subterrânea. Para esse cenário de exposição foram consideradas todas as vias do cenário real e adicionalmente o consumo de água subterrânea.

##### *Água Subterrânea*

- Ingestão de água para consumo;
- Inalação de vapores em ambiente externo;
- Inalação de vapores em ambiente interno;

##### *Solo:*

- Inalação de vapores em ambiente externo;
- Inalação de vapores em ambiente interno;

### **Cenário 3**

Esse cenário de exposição foi considerado para as atividades de construção na área da Empresa Alpha. Esta população potencialmente exposta refere-se aos trabalhadores da construção civil.

#### *Água Subterrânea*

- Ingestão acidental de água;
- Inalação de vapores em ambiente externo;
- Inalação de vapores em ambiente interno.

#### *Solo:*

- Ingestão acidental de solo;
- Contato dermal;
- Inalação de vapores em ambiente externo;
- Inalação de vapores em ambiente interno;
- Inalação de partículas.

### **Cenário 4**

A população exposta neste cenário refere-se aos residentes no entorno da empresa.

#### *Água subterrânea:*

- Ingestão de água;
- Inalação de vapores em ambiente externo;
- Inalação de vapores em ambiente interno.

### ***3.7.2 Determinação da Concentração no Ponto de Exposição***

Foi adotada como concentração no ponto de exposição a concentração máxima dos compostos de interesse detectadas no solo e na água subterrânea, que podem ser visualizadas na tabela a seguir:

**Tabela 2 – Concentração máxima dos compostos utilizados no cálculo**

<b>Composto químico</b>	<b>Concentração máxima (mg/L)</b>	<b>Meio</b>
Acenaftileno	0,00008	Água subterrânea
Cloreto de Vinila	0,0055	Água subterrânea
Benzo(k)fluoranteno	0,00043	Água subterrânea
Cloroetano	0,0053	Água subterrânea
Benzo(b)fluoranteno	0,00043	Água subterrânea
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	0,00028	Água subterrânea
Fluoranteno	0,001	Água subterrânea
Tetracloroetano	0,053	Água subterrânea
Molibdênio	4,84	Água subterrânea
Níquel	0,03	Água subterrânea
Ferro	12,19	Água subterrânea
Boro	4,73	Água subterrânea
Antimônio	0,027	Água subterrânea
Criseno	0,00037	Água subterrânea
Arsênio	10,25	Água subterrânea
Vanádio	0,3	Água subterrânea
Chumbo	0,17	Água subterrânea
Arsênio	380 mg/Kg	Solo

Na área residencial, considerou-se a concentração máxima apenas do composto arsênio, devido a sua representatividade na área dentre os parâmetros mapeados. Destaca-se que na Tabela acima o único valor considerado no solo foi o metal arsênio, cuja concentração encontra-se expressa em mg/Kg, ao contrario das concentrações dos compostos em água subterrânea, onde as concentrações encontram-se em mg/L.

### 3.7.3 Quantificação da Exposição

Para a quantificação da exposição foi utilizado o software Risc Workbench 4.0. Todas as variáveis utilizadas para o cálculo do risco, consideradas no modelo, foram descritas na Tabela 3, a seguir:

**Tabela 3 – Dados de exposição da população utilizados no software**

<b>Variável</b>	<b>Comercial</b>	<b>Constr. Civil</b>	<b>Referência</b>
Tempo de avaliação para compostos carcinogênicos (anos)	71,9	71,9	IBGE, 2006
Tempo de avaliação para compostos não carcinogênicos (anos)	45	45	ACBR, 2006
Peso do corpo (kg)	60	60	CETESB, 2001/ ACBR, 2006
Frequência de exposição (eventos/ano)	270	180	ACBR, 2006
Frequência de exposição dermal (eventos/ano)	270	180	ACBR, 2006
Duração da exposição (anos)	45	0,5	ACBR, 2006/ CETESB, 2001
Taxa de ingestão de água subterrânea (L/dia)	2	2	CETESB, 2001
Área superficial da pele disponível para contato (cm <sup>2</sup> )	2000	2000	CETESB, 2001

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
 CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
 ACBR: Ações Corretivas Baseadas em Risco

Destaca-se que os dados descritos na Tabela 4 são referentes ao período de exposição que o trabalhador fica exposto. Estes dados são de fontes já existentes, como mostram as referências. É possível obter estes dados no local da obra, levantando o que realmente acontece na região, contudo um trabalho estatístico seria necessário para validar os dados.

A Tabela 4, na página seguinte, mostra os dados obtidos em campo dos relatórios consultados, sendo referentes às características do solo local.

**Tabela 4 – Dados do solo utilizados no software**

<b>Variável</b>	<b>Valor</b>	<b>Referência</b>
Profundidade do Nível d'água (m)	1,05	Nível médio dos poços existentes na área
Tipo de solo (-)	Areno-argiloso	Investigação Ambiental Detalhada (Waterloo, jul/2009)
Espessura da franja capilar (m)	0,27	Calculado pelo software com base no nível d'água
Espessura do solo (m)	0,74	Calculado pelo software com base no nível d'água
Porosidade total (-)	0,38	Laudo de amostra indeformada
Conteúdo volumétrico de água no solo (-)	0,23 - 0,342	(Freeze and Cherry, 1979)
Conteúdo volumétrico de ar no solo (-)	0,15 - 0,038	Default
Densidade (kg/L)	1,5	Laudo de amostra indeformada
Condutividade hidráulica vertical (cm/d)	8,60E-01	Default
Permeabilidade vapor (cm2)	1,00E-12	Default
Taxa de infiltração (cm/ano)	66,1	ACBR, 2006
Fração de carbono orgânico (-)	0,04	Laudo de amostra indeformada
pH solo e água (-)	6,98	Relatório Waterloo Brasil 2008

Estes dados são importantes para que o software reconheça as condições do meio para que a modelagem seja completa. Grande parte dos dados são de trabalhos consultados e outros foram utilizados como default (dado padrão) do programa.

**Tabela 5 – Dados das condições da água subterrânea**

<b>Composto químico</b>	<b>Valor</b>	<b>Meio</b>
Velocidade de Darcy (m/ano)	4,65E+00	Água subterrânea
Condutividade hidráulica (m/s)	1,03E-05	Água subterrânea
Gradiente hidráulico (-)	0,0025	Água subterrânea
Porosidade efetiva (-)	0,22	Água subterrânea
Extensão da pluma de contaminação (m)	45	Água subterrânea
Espessura da pluma de contaminação (m)	1	Água subterrânea

Os dados utilizados para a água subterrânea foram obtidos com base nos valores de default do programa, com base no tipo de área e no tipo de área dos contaminantes.

### 3.8 Avaliação Toxicológica

As informações sobre a toxicidade usadas nesta avaliação de risco foram as que já constam no banco de dados do software. Contudo antes desta utilização foi feita uma atualização dos dados, com base no site IRIS (Sistema de Informação Integrada de Risco), na Tabela “EPA Região 9” do órgão ambiental americano e no site “RAIS – Sistema de Informação para Análise de Risco”.

Destaca-se que o parâmetro chumbo não possui valores de toxicidade necessários para o cálculo do risco à saúde humana nas fontes de dados consultados. Contudo, em pesquisa realizada no *site* da *Cal/EPA – Agência de Proteção Ambiental da Califórnia* encontrou-se valores de “*Slope Factor Oral*”. Por se tratar de fonte confiável, utilizou-se esse dado para o cálculo do risco para o parâmetro chumbo.

### 3.9 Limitações da Avaliação

A avaliação de risco é um processo que envolve muitas incertezas, devido a falta de dados sobre compostos químicos, dados precisos sobre a população bem como sobre os cenários reais existentes.

As tabelas e cálculos gerados pelo programa não foram divulgados já que o nome da empresa bem como outros dados confidenciais não puderam ser removidos dos mesmos. Segundo a Waterloo Hidrogeologic Inc, páginas do software não podem ser transcritas com alterações nas mesmas, como máscaras para ocultar dados como nome de empresas, já que este procedimento pode desvalorizar o designe das páginas.

Como não há informações sobre a existência de poços de captação de água no entorno da empresa Alpha, considerou-se o cenário mais restritivo, que considera a possibilidade da população consumir água subterrânea.

Para o desenvolvimento da avaliação de risco à saúde humana foram considerados os resultados de metais dissolvidos na água subterrânea e no solo



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os riscos totais carcinogênicos e não carcinogênicos calculados para cada um dos cenários de exposição foram comparados com o risco máximo aceitável para essas substâncias que é de  $1 \times 10^{-5}$  para risco carcinogênico ou com o quociente de periculosidade igual a 1, respectivamente (CETESB 2001).

Os resultados obtidos nesta avaliação quanto aos riscos carcinogênicos e não carcinogênicos estão resumidos a seguir:

**Tabela 6: Cenário 1 - Industrial real**

<b>Via de exposição</b>	<b>Risco carcinogênico</b>	<b>Risco não carcinogênico</b>	<b>Principal composto relacionado com o risco</b>
Inalação e vapores em ambiente interno (solo e água)	1,7E-05	5,7E-2	Cloreto de Vinila

Para este cenário, verificou-se que os trabalhadores da área estarão expostos ao risco carcinogênico, uma vez que o valor encontrado de **1,7E-05** encontra-se acima do limite permitido pela CETESB. A rota de exposição responsável por este risco é a inalação de vapores em ambiente interno e o contaminante associado ao risco é o cloreto de vinila.

Não foi constatado risco de toxicidade, uma vez que o valor não ultrapassou o quociente 1.

Cabe ressaltar que o local onde se detectou a concentração do cloreto de vinila acima do limite de intervenção da CETESB é uma área aberta. Sendo assim, haverá risco apenas se existisse uma construção fechada no local, o que não ocorre

atualmente, já que a via de exposição encontrada para este risco é inalação de vapores dentro de áreas fechadas.

**Tabela 7: Cenário 2 - Industrial hipotético**

<b>Via de exposição</b>	<b>Risco carcinogênico</b>	<b>Risco não carcinogênico</b>	<b>Principal composto relacionado com o risco</b>
Ingestão de água subterrânea	2,4E-01	8,8E+02	arsênio, antimônio, chumbo, cloreto de vinila, ferro, molibdênio, tetracloroeteno e vanádio
Ingestão e contato dermal com o solo	2,2E-04	7,8E-01	arsênio
Inalação de vapores em ambiente interno	1,7E-05	5,7E-02	cloreto de vinila

Para este cenário hipotético, conforme tabela acima, verificou-se que existe risco carcinogênico, e os trabalhadores da área estarão expostos a um risco carcinogênico total de **2,4E-01** e risco não carcinogênico total de **8,8E+02**. As vias de exposição responsáveis pelo risco são a ingestão de água subterrânea, ingestão e contato dermal com o solo e inalação de vapores em ambiente interno e os contaminantes associados ao risco são o arsênio, antimônio, chumbo, cloreto de vinila, ferro, molibdênio, tetracloroeteno e vanádio. Além desses, os compostos alumínio, benzo(b)fluoranteno, boro, indeno(1,2,3-c,d)pireno, manganês e tetracloroeteno contribuíram para o somatório do risco.

Conforme já citado no cenário industrial real sobre o risco do composto cloreto de vinila para inalação de vapores em ambiente interno, o mesmo cabe para este cenário industrial hipotético.

Também é importante ressaltar que a ingestão acidental de solo se refere a ocorrências pontuais e pouco prováveis, mas importantes caso o contaminante

esteja presente em alta concentração. As principais formas de ingestão acidental são mãos sujas sendo levadas a boca, poeira em alimentos, entre outras.

Não há atualmente consumo de água do aquífero raso pela empresa Alpha, somente do aquífero profundo. Dessa forma, a empresa deve manter esse procedimento e restringir o uso de água proveniente do aquífero raso.

No aquífero profundo foi detectada nas amostras de água, concentração acima do limite de Intervenção da CETESB apenas para o elemento ferro. Contudo, esse resultado não apresenta interação com as concentrações mapeadas no aquífero freático indicando que, a princípio, estas posições não se encontram conectadas.

As amostragens realizadas nos poços tubulares profundos e água superficial do córrego dos Sapateiros indicam que as concentrações mapeadas no aquífero freático não influenciam estes meios.

**Tabela 8: Cenário 3 – Construção civil**

<b>Via de exposição</b>	<b>Risco carcinogênico</b>	<b>Risco não carcinogênico</b>	<b>Principal composto relacionado com o risco</b>
Ingestão de água subterrânea (acidental)	6,6E-05	2,2E+01	arsênio
Ingestão e contato dermal com o solo	4,9E-06	1,6E+00	arsênio
Inalação de vapores em ambiente interno	1,9E-07	5,7E-02	-

Neste cenário, verificou-se que para os trabalhadores da construção civil existe risco carcinogênico total de **7,1E-05** e risco não carcinogênico total de **2,3E+01**. As vias de exposição responsáveis pelo risco são a ingestão de água

subterrânea (acidental) e ingestão e contato dermal com o solo. O arsênio é o contaminante associado ao risco e os compostos molibdênio e vanádio contribuíram para o somatório do risco.

Os funcionários contratados para as obras devem utilizar os EPI's adequados (luvas, óculos de segurança, calças, botas e camisas de manga comprida) a fim de evitar o contato com o solo e com a água subterrânea. Essas diretrizes devem ser estabelecidas na ocasião da contratação dos serviços e avaliadas por um engenheiro de segurança.

**Tabela 9: Cenário 4 - Residencial**

<b>Via de exposição</b>	<b>Risco carcinogênico</b>	<b>Risco não carcinogênico</b>	<b>Principal composto relacionado com o risco</b>
Ingestão de água subterrânea	1,3E-01	4,6E+02	Arsênio

Para este cenário, verificou-se que existe risco carcinogênico e risco não carcinogênico, sendo o metal arsênio o composto associado ao risco.

Assim deve-se realizar o levantamento da utilização de água do aquífero raso no entorno da empresa Alpha, concomitante com o detalhamento da extensão da pluma de arsênio (fora dos limites da propriedade) a fim de definir medidas institucionais como: área de restrição de consumo de água subterrânea do aquífero raso, e/ou medidas de contenção e/ou remediação.

## 5 CONCLUSÕES

Através dos dados levantados e do uso de um software para mensurar o risco de determinada área com determinado contaminante, foi possível qualificar e quantificar os riscos presentes em uma área contaminada, de uma empresa localizada no município de Santos, SP, atendendo assim os objetivos propostos neste trabalho.

Abaixo estão descritos os cenários e os riscos encontrados.

**Cenário 1 - Industrial real** – existe risco carcinogênico para funcionários inalando vapores orgânicos em ambiente interno (cloreto de vinila).

Não há construções no ponto onde foi detectada concentração desse contaminante. Dessa forma, recomendam-se restrições quanto à construção de áreas fechadas nesse local. Assim deve ser feita a remediação da área segundo a legislação vigente sugere.

**Cenário 2 - Industrial hipotético** – existe risco carcinogênico e risco não carcinogênico para funcionários que venham a: ingerir água subterrânea e ou solo (ingestão accidental), ter contato dermal com solo e/ou inalar vapores orgânicos em ambiente interno (dentro de construções).

Não foi definida a necessidade de remediação para a água subterrânea nesse cenário, pois no interior da empresa não ocorre o consumo de água proveniente do aquífero raso, e essa seria a principal via relacionada com o risco. Este cenário foi considerado de forma hipotética para mostrar que ele não deverá existir no futuro.

**Cenário 3 - Construção Civil** – existe risco carcinogênico e risco não carcinogênico caso algum trabalhador da construção civil venha a ingerir água subterrânea e ou solo, de forma accidental, ou ainda tenha contato derma com solo.

Para os funcionários da construção civil, recomenda-se o uso de EPI's apropriados para os riscos presentes, a fim de evitar o contato com o solo e com a água subterrânea durante as atividades de escavação. Um engenheiro de segurança deverá orientar todos os procedimentos com relação a escolha dos EPIs necessários.

**Cenário 4 - Residencial** – existe risco carcinogênico e risco não carcinogênico para o composto Arsênio caso algum morador venha a ingerir água subterrânea. Esta ingestão seria feita se um morador do entorno construísse em sua propriedade um poço tipo cacimba. Destaca-se que este tipo de poço não pode ser outorgado (licenciado) junto ao órgão competente justamente pela vulnerabilidade que apresenta a captar contaminantes do subsolo.

Uma vez que os riscos presentes na área de estudo foram evidenciados, quantificados e medidos, entra justamente a função de um engenheiro de segurança para iniciar uma nova etapa, que é uma das propostas deste trabalho.

Esta etapa seguinte consiste em tomar todas as medidas cabíveis para não expor as populações estudadas ao risco carcinogênico e não carcinogênico.

Existem várias formas para cessar esta exposição. A seguir estão apresentadas algumas delas:

- Restrição de uso da área: consiste em restringir o uso do local, impedindo o acesso de trabalhadores e moradores ao local contaminado;

- Diminuir a exposição de forma que o risco acompanhe este decaimento, chegando assim a limites inferiores ao estabelecido como limite máximo;
- Iniciar o processo de remediação do local, removendo ou tratando estes agentes contaminantes no próprio subsolo, quer estejam eles na água subterrânea ou no solo;
- Uma vez que este estudo é uma simulação de uma dada exposição, também é possível fazer medições nos locais afetados para checar se os níveis dos contaminantes presentes condizem com o que foi estimado na avaliação. Desta forma o risco carcinogênico e não carcinogênico poderia chegar a limites aceitáveis de exposição.

Assim espera-se com este estudo que os profissionais de engenharia de segurança do trabalho comecem a utilizar esta ferramenta como um auxílio na tomada de decisão sobre a provável existência do risco e as medidas mitigadoras para minimizá-los ao máximo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[ATSDR] AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Public Health Statement for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons**. August 1995. Disponível em <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/index.asp>. Acessado em janeiro de 2010.

[ASTM] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS E-1739-95. **Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites**. Philadelphia: ASTM International, 1995. 52 p.

[ASTM] American Society for Testing and Materials D-6771-02. **Standard Practice for Low Flow Purging and Sampling for Wells and Devices Used for Ground Water Quality Investigations**. Outubro 2002. Disponível em <http://www.astm.org/Standards/D6771.htm>. Acessado em dezembro de 2009.

[ACBR] AÇÕES CORRETIVAS BASEADAS EM RISCO, CETESB – Companhia Ambiental de São Paulo, **Decisão de Diretoria no 010/2006/C (Anexo VII)** – Procedimentos, 2006.

CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. 2001. Disponível em [http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas\\_contaminadas/manual.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/manual.asp). Acessado em dezembro de 2009.

CETESB - Companhia Ambiental de São Paulo. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas. Capítulo IX – Avaliação de Risco à Saúde Humana**. 1999.

CETESB - Companhia Ambiental de São Paulo. **Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2005.

CETESB – Companhia Ambiental de São Paulo. **Decisão de Diretoria nº 103/2007/C-E, Procedimentos de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**, 2007.

CRISTIANA MICHELS. **Avaliação de Risco a Saúde Humana nos Terminais de Armazenamento de Petróleo e Derivados de Barueri e Cubatão**, Florianópolis, 2005.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, Inc., 1979.

[IRIS] U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). 2004. **Integrated Risk Information System**. IRIS Database for Risk Assessment. Acessado em janeiro de 2010. Disponível em [www.epa.gov/iris](http://www.epa.gov/iris).



ISRAEL, B. D. **An Environmental Justice Critique of Risk Assessment**. Student Risk Assessment Article. New York University Environmental Law Journal, 1995.

Ministério da Saúde. **Portaria MS nº 518/2004**. Capítulo IV - Padrão de Potabilidade.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA). 2001. **Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual** (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment) Interim. Review Draft EPA/540/R/99/005. Setembro de 2001.

[U.S.EPA] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Risk Assessment Guidance for Superfund – Human Health Evaluation Manual**. v. 1. Part A, EPA/540/1-89/002, 1989.

## 7 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares**, Parte 1 – Projeto e Construção: NBR 15495-1. Rio de Janeiro: ABNT, 2007, 25 p.

FETTER, C.W. **Applied Hydrogeology**. New Jersey: Prentice Hall PTR, 1994. 691 p.

Ministério da Saúde. **Identificação de populações sob risco de exposição e priorização de áreas com populações expostas a solo contaminado**. Disponível em [http://portal.saude.gov.br/portal/svs/visualizar\\_texto.cfm?idtxt=23900](http://portal.saude.gov.br/portal/svs/visualizar_texto.cfm?idtxt=23900). Último acesso em 12/01/2010.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin. Disponível em <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp104.html>. Último acesso em 12/01/2010.

BioScreen® - **Groundwater Contamination Natural Attenuation Model** (Version 1.4 ) Developed by Groundwater Services, Inc., Houston, Texas for the Air Force Center for Environmental Excellence, January, 2001.

PRG Intercalc Tables: **Physical Chemical Data**. October, 2004.