

XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVII
ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POCOS

**UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA RBCA EM ATIVIDADES DE
REVENDA DE COMBUSTÍVEIS – ESTUDO DE CASO NO
MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**

Débora de Barros¹; Denize Dias de Carvalho ²

Resumo –A atividade de abastecimento e revenda de combustíveis apresenta um grande potencial para a contaminação das águas subterrâneas. A água subterrânea, uma vez contaminada, representa uma fonte de risco à saúde humana. O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a utilização do programa - *RBCA Tool Kit for Chemical Releases v2.01*. como ferramenta de análise de risco para áreas de postos de abastecimento e revenda de combustíveis da cidade do Rio de Janeiro.

Os objetivos específicos foram desenvolver um método de abordagem e aplicá-lo no estudo de caso previamente selecionado e analisado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro (SMAC), visando identificar os principais riscos potenciais aos receptores em cada cenário desenvolvido e ao meio ambiente.

A partir da avaliação dos casos estudados concluiu-se que é necessário que o desenvolvimento de uma Análise de Risco para área de postos de revenda de combustíveis deva contemplar o cenário atual e os possíveis cenários futuros de exposição visando à segurança e a saúde da população e do meio ambiente direta e indiretamente expostos. Os resultados das simulações dos estudos de caso mostraram que não há necessidade de avaliar em uma única simulação todas as vias de exposição, pois de acordo com as condições estudadas, não houve interação dos mecanismos de transporte e dos modelos matemáticos em uma análise conjunta.

Abstract – The activity of supply and sale of fuel has great potential for contamination of groundwater. Groundwater, once contaminated, is a source of risk to human health. The aim of this study was to evaluate the use of the program - *RBCA Tool Kit for Chemical Releases v2.01*. how tool for risk analysis to areas of service stations and fuel sales in Rio de Janeiro.

Specific objectives were to develop a method of approach and apply it to two case studies previously selected and analyzed by the Secretariat of Environment of Rio de Janeiro, identifying the main potential risk to recipients in each scenario developed and the environment.

From the evaluation of the case studies concluded that it is necessary for the development of a Risk Assessment for the area of the resale of fuel should contemplate the current situation and possible future scenarios of exposure in order to safety and health, and environment directly and indirectly exposed. The simulation results of case studies have shown that there is no need to evaluate in a single simulation all routes of exposure, because under the conditions studied, there was no interaction of transport mechanisms and mathematical models in a joint analysis.

Palavras-Chave – Análise de risco, RBCA.

1 - INTRODUÇÃO

A disposição inadequada de resíduos, o vazamento de produto durante seu manuseio, transporte e armazenamento são alguns dos exemplos que podem ser apontados como responsáveis por inúmeros casos de contaminação de solos e águas subterrâneas. De acordo com Silva (SILVA,2005), os casos de vazamento em tanques subterrâneos de petróleo e derivados, têm sido ocorrências comuns e constitui em uma importante fonte de poluição ambiental, podendo modificar a qualidade do solo, ar e águas subterrâneas.

Os acidentes envolvendo vazamento de combustível em tanques de armazenamento subterrâneo merecem destaque devido à sua ocorrência, na maioria das vezes, em áreas urbanas densamente povoadas expondo a população a substâncias tóxicas à saúde humana como, por exemplo, os hidrocarbonetos aromáticos (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno - BTEX) (GOUVEIA, 2004). Com o aumento do número de áreas contaminadas em regiões urbanas, houve a necessidade da realização da avaliação do local, cujo objetivo principal é a identificação e quantificação dos riscos a saúde humana, decorrentes de uma área contaminada. Na avaliação de risco em uma área contaminada, por derivados de petróleo, a saúde humana e a segurança da população devem ser priorizadas, dentre os bens expostos a proteger.

A Tabela 1 apresenta, qualitativamente, os efeitos sobre a saúde humana de alguns componentes da gasolina. A escala apresentada varia de nenhum efeito adverso (-) a efeitos altamente adversos (++++).

Tabela 1– Efeitos sobre a saúde causados por alguns constituintes da gasolina

	Benzeno	Tolueno	Xileno
Carcinogenicidade	++++	+++	+++
Teratogenicidade	++	+++	++
Efeitos genéticos	+++	++	-
Efeitos crônicos	++	+++	++

Fonte: Guimarães, 2001.

De acordo com Silva (SILVA, 2002) os compostos BTEX, são os constituintes da gasolina que apresentam maior solubilidade e mobilidade e são os responsáveis pelos maiores problemas de contaminação da água subterrânea. Além dos impactos associados ao meio ambiente, eventos que envolvem contaminação por petróleo e derivados tem sido objeto de preocupação devido à possibilidade de incorrerem em riscos de explosão, incêndio além dos impactos à saúde pública(CNPQ, 2006).

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a utilização do programa - *RBCA Tool Kit for Chemical Releases v2.01*. como ferramenta de análise de risco para áreas de postos de abastecimento e revenda de combustíveis da cidade do Rio de Janeiro, com contaminação na água subterrânea e no solo.

Os objetivos específicos foram desenvolver um método de abordagem e aplicá-lo num estudo de caso previamente selecionado e analisados pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro (SMAC), visando identificar os principais riscos potenciais aos receptores e ao meio ambiente em cada cenário desenvolvido.

2- EFEITO DO VAZAMENTO DE DERIVADOS DE PETRÓLEO NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Um vazamento de gasolina ou óleo diesel se assemelha ao comportamento de um contaminante não miscível a água, também chamado de NAPL (Non Aqueous Phase Liquids – Fase Líquida Não Aquosa). Por serem menos densos que a água, ambos seguem o comportamento do LNAPL (Light Non Aqueous Phase Liquids - Fase Líquida Leve Não Aquosa), geralmente caracterizam-se por duas regiões na subsuperfície: a área da fonte (LNAPL puro) e uma pluma de contaminação, na qual os contaminantes orgânicos hidrofóbicos (COHs) vão se espalhar na franja capilar da zona saturada, enquanto a fração dissolvida é transportada com o fluxo da água subterrânea.

Após o derramamento de um NAPL na superfície do terreno, o líquido migra para baixo através da zona não saturada do subsolo, ficando retido nos poros do solo, criando uma fase denominada residual.

Uma vez que ocorram vazamentos ou derramamentos de NAPL no solo subsuperficial o contaminante poderá estar distribuído em até cinco fases distintas, denominadas fase livre; fase adsorvida; fase residual; fase dissolvida e fase vapor.

A Figura 1 esquematiza o comportamento do NAPL oriundo de um vazamento até atingir a água subterrânea.

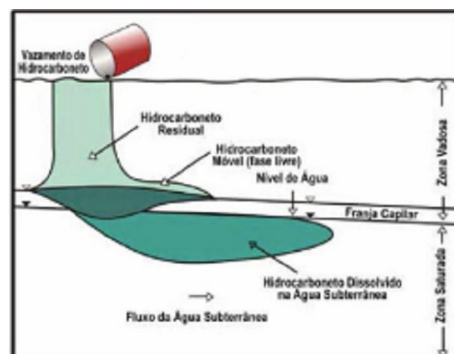


Figura 1: Comportamento do NAPL na água subterrânea.

Fonte: Modificado de Fetter, 1999.

A fase livre é representada pelo produto em fase separada que migra através de uma frente contínua, apresentando mobilidade no meio poroso (IBP, 2006; SCHMIDT, 2004). Ao migrar pela zona não saturada o produto é parcialmente retido pelas partículas do solo. Parte do produto retido apresenta-se como pequenas quantidades isoladas no interior dos poros do solo, caracterizando a fase residual que não apresenta mobilidade no meio poroso.

A outra parte, fase adsorvida constitui as moléculas do produto que ficam aderidas às partículas sólidas do aquífero. Uma parcela do produto que atinge a zona saturada se dissolve na água formando uma pluma de contaminação designada fase dissolvida. A fase dissolvida apresenta mobilidade elevada e é responsável pelo transporte do contaminante a grandes distâncias da contaminação.

A fase vapor está presente eminentemente na zona não saturada e em quantidades desprezíveis na zona saturada. Esta fase apresenta mobilidade elevada e pode acumular-se em espaços confinados como, por exemplo, garagens subterrâneas, porões, caixas telefônicas subterrâneas, esgotos e galerias em geral (IBP, 2006; PENNER, 2000).

Devido à mobilidade apresentada pela fase residual, à elevada mobilidade da fase dissolvida e fase vapor e ainda à mobilidade desprezível que caracteriza a fase residual e adsorvida, com o tempo estas fases dos hidrocarbonetos tendem a se tornar cada vez mais distintas.

Segundo Penner (PENNER, 2000), em muitos casos chegam a aparecer como corpos distintos ou plumas de contaminação de hidrocarbonetos em fases diferentes no solo que podem migrar para direções diversas. Ao avaliar um sítio contaminado é importante que se identifiquem os potenciais destas plumas de afetarem as águas subterrâneas. A fase livre, residual e, em menor escala, a adsorvida constituem fontes de contaminação para as águas subterrâneas. Devido à sua baixíssima mobilidade, a fase residual é de difícil remoção e localização, mantendo-se como fonte permanente de contaminação das águas subterrâneas devido à liberação lenta e contínua do produto para a fase dissolvida .

Portanto, para que sejam entendidas as características das plumas de contaminação, é necessário o conhecimento do comportamento do combustível no solo e subsolo, bem como os mecanismos de transporte que envolve cada etapa de desagregação.

O transporte horizontal do combustível no aquífero é realizado pelo movimento da água subterrânea. Segundo Oliveira (OLIVEIRA, 1997) as forças que agem na migração dos fluidos em sub-superfície ocorrem em função do tempo.

O processo de dispersão através do meio poroso ocorre através de dois mecanismos: advecção e difusão, onde a força motriz para difusão é o gradiente de concentração enquanto que para advecção é o gradiente de pressão (OLIVEIRA,1997).

A dispersão é o espalhamento da fase dissolvida que é promovida pelo fluxo de água subterrânea em meio poroso (FETTER, 1999 e LAGREGA *et al.*,1994).

A advecção é o processo pelo qual a água, fase livre e fase dissolvida infiltram na zona não saturada sob ação da gravidade e pressão até chegar à zona saturada. A advecção transportará a fase dissolvida no sentido e direção das linhas de fluxo de água. Em meio saturado, a advecção envolve transporte de fase dissolvida pelo movimento da água subterrânea em função do potencial hidráulico e é o principal mecanismo responsável pela migração do contaminante em aquíferos.

A difusão é o processo através do qual os íons e moléculas dissolvidas passam da área de maior concentração para a de menor concentração. Ela ocorre sempre que é formado um gradiente de concentração e a massa difundida é proporcional a este gradiente (FETTER, 1999).

3- CARACTERIZAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO DO SETOR DE ABASTECIMENTO E REVENDA DE COMBUSTÍVEIS

Os elevados índices de contaminação do ar, da água subterrânea e do solo, aliados à crescente escassez dos recursos naturais e ao aumento da perda da biodiversidade, vêm ganhando cada vez mais destaque nos campos da política e da economia, demonstrando claramente a necessidade da sociedade buscar padrões ambientais adequados.

Os produtos derivados do petróleo, como a gasolina e o óleo diesel, representam uma importante fonte de contaminação do meio ambiente nos centros urbanos. Em todo mundo, em particular nas grandes metrópoles, tem crescido a preocupação ambiental com as atividades de revenda e de abastecimento de combustíveis líquidos, uma vez que tais atividades apresentam um alto potencial poluidor do solo e da água subterrânea, particularmente naquelas regiões onde os deslocamentos são fortemente estruturados por veículos de passeio (OLIVEIRA, 1992).

Além da queima dos combustíveis fósseis esta associada à poluição atmosférica, as instalações relativas ao sistema de armazenagem subterrâneos de combustíveis (SASC) para os derivados de petróleo, configuram-se como empreendimentos capazes de gerar

passivos ambientais urbanos, em função de possíveis vazamentos nos tanques de armazenamento ou tubulações, assim como derramamentos produzidos por acidentes no transporte e manuseio destes produtos, criando assim uma grande preocupação não só com os riscos de incêndios e explosões, mas também com a contaminação ambiental do solo e da água subterrânea (BLACKMAN,1996).

4- MÉTODO RBCA (RISK-BASED CORRECTIVE ACTION - AÇÃO CORRETIVA BASEADA NO RISCO):

A criação do método Risk-Based Corrective Action (RBCA) derivou da necessidade, nos Estados Unidos, de um guia que pudesse ser utilizado para nortear o programa de remediação de solos contaminados por resíduos perigosos. Este método tem sido amplamente empregado pelas autoridades ambientais norte-americanas visando aprimorar o gerenciamento de áreas contaminadas (CONNOR e McHUGH, 2002; CETESB, 2000). A abordagem adotada por este método incide na proteção da saúde humana e ao meio ambiente, mas também providencia as soluções custos eficientes a serem adotadas para resolver os riscos, permitindo, muitas vezes, que recursos limitados sejam orientados para locais que apresentem níveis mais elevados de risco.

O grande desafio do método RBCA é o desenvolvimento de uma abordagem sequencial de critérios diferenciados para avaliação de risco em virtude das concentrações de contaminantes aceitáveis locais e dos compostos químicos considerados. Esta abordagem é amplamente aplicável aos locais que sejam localizados em diferentes configurações geográficas, geridos sob diversas autoridades reguladoras e que vivenciaram uma exposição ou derramamento local de produto químico.

A primeira norma que apresenta o detalhamento do método é a E 1739-95, Standard Guidelines for Risk-Based Corrective Action at Petroleum Release Sites, da ASTM (American Society for Testing and Materials), originalmente publicado como ES 38-94, que trata especificamente de contaminações por petróleo e derivados (ASTM, 2002). A norma E 1739-95 (ASTM, 2002), aprovada em setembro de 1995 e reprovada em 2002, foi, portanto, a que primeiro detalhou o método RBCA para gerenciamento de áreas com solo e águas subterrâneas contaminadas (CONNOR e McHUGH, 2002). Após a publicação da E 1739-95, foram emitidos pela ASTM novos guias ampliando o método para outros compostos (E 2081/00 – Standard Guide for Risk-Based Corrective Action) e para risco ambiental de uma forma mais ampla (E 2205/02 – Standard Guide for Risk-Based Corrective Action for Protection of Ecological Resources – Eco-RBCA) (GUIMARÃES, 2003).

Um estudo desenvolvido com patrocínio da U.S. Environmental Protection Agency (EPA) e da ASTM avaliou o impacto do RBCA no desempenho dos programas de remediação dos estados norte americanos. De acordo com este estudo (CONNOR e McHUGH, 2002), estatísticas pré e pós implementação do programa de gerenciamento utilizando RBCA mostram o impacto positivo do método em termos de redução de tempo para solução dos casos, redução dos custos envolvidos na remediação e distribuição mais efetiva dos recursos em sítios que apresentam risco elevado.

Os próximos parágrafos abordarão especificamente o método RBCA descrito na norma E 1739-95, que se aplica a áreas com vazamento de petróleo e derivados, objeto de estudo deste trabalho.

Segundo a E 1739-95 (ASTM, 2002), RBCA é um procedimento consistente de tomada de decisão para avaliação e resposta a um vazamento de petróleo baseado na proteção à saúde humana e ao meio ambiente. Este procedimento reconhece a imensa variabilidade das características apresentadas pelos sítios contaminados com petróleo em relação à complexidade, características físicas e químicas e ao risco que representam. Este método permite que se quantifique o risco e estabeleça metas de remediação através da integração das características dos contaminantes (mobilidade, solubilidade, volatilização, etc.), do meio físico impactado (porosidade, gradiente hidráulico, condutividade hidráulica, etc.), dos meios de transporte (água subterrânea, solo superficial, solo sub-superficial e ar), das vias de exposição (ingestão, inalação e contato dermal) e das populações potencialmente receptoras (massa corpórea média, expectativa de vida, etc.) (CETESB, 2006a).

O método RBCA integra análise do sítio, seleção de ações de remediação e monitoramento às práticas de análise de risco e exposição recomendada pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA). De acordo com a norma E 1739 (ASTM, 2002), cria-se um processo em que as decisões relacionadas às ações corretivas são realizadas de modo a proteger a saúde e o meio ambiente.

O processo da ação corretiva baseado no risco desenvolvido pela ASTM é implementado em uma abordagem por etapas (níveis ou tiers), envolvendo sofisticação progressiva para coleta e análise de dados. Os dados utilizados em um determinado nível são substituídos sucessivamente por informações específicas da área. Na avaliação realizada em cada nível, decide-se, com base nos resultados e recomendações, se é apropriado ou não prosseguir a análise sítio-específica.

O que se objetiva através do emprego do RBCA é a definição dos limites toleráveis/aceitáveis

das concentrações dos contaminantes no sítio, determinando conseqüentemente os valores alvo para a etapa de remediação. Estes limites são estabelecidos de modo a não se extrapolar o risco no ponto de exposição.

O método é constituído por uma seqüência de dez passos que vão desde a avaliação inicial da área até o monitoramento dos resultados. A seqüência das principais tarefas e decisões associadas com o procedimento é delineada no Fluxograma de Ações Corretivas Baseadas no Risco.

Dentre os passos encontram-se três etapas que envolvem a avaliação propriamente dita do sítio contaminado, representadas pelos níveis 1, 2 e 3 (tier 1, 2 e 3). Estes níveis, são correspondentes aos passos 3, 5 e 7 do método completo e apresentam grau de complexidade crescente em termos de dados requeridos e da modelagem envolvida. Uma das características mais importante do método é que a análise prossegue até que cesse a necessidade de estudos mais aprofundados do local, não obrigatoriamente passando pelos três níveis de avaliação. Baseado no método RBCA foi desenvolvido nos EUA uma ferramenta de apoio na ação corretiva baseada no risco denominada *RBCA Tool Kit for Chemical Releases*.

Neste trabalho foi utilizado a versão 2.01 desta ferramenta, para dois estudos de caso em área de postos de abastecimento de combustíveis, cujas funcionalidades da ferramenta serão apresentadas no item a seguir.

5- RBCA TOOL KIT FOR CHEMICAL RELEASES:

O pacote computacional utilizado nesta dissertação é o *RBCA Tool Kit for Chemical Releases*, versão 2.01, que foi concebido para apoiar na ação corretiva baseada no risco em locais que possuam contaminação por compostos químicos e assim, realizar a modelagem e a caracterização do risco abrangente no local.

Este pacote computacional se baseia no método RBCA, que é uma abordagem prática de gestão para resolver o real ou potencial risco associado à presença de substâncias químicas que suscitam preocupação ao meio ambiente (solo, água subterrânea e superficial, ar) e a saúde humana.

O pacote computacional *RBCA Tool Kit* foi projetado especificamente para completar todos os cálculos necessários para níveis 1 e 2 (tier 1 e 2) do processo de planejamento da ASTM-RBCA, tal como definido na ASTM E-2081-00 Standard Guide for Risk-Based Corrective Action (ASTM,2004) e ASTM E-1739-95 Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied of Petroleum Release Sites (ASTM, 2002), e coerentes com as

atuais orientações EPA para avaliação dos riscos para a saúde humana (EPA, 1989a, 1996).

No entanto, além desta funcionalidade básica, a Versão 2.01 fornece muitas opções adicionais de modelagem e de parâmetros para permitir avaliações mais sofisticadas e personalizadas, incluindo nível 3 (tier 3) e avaliações ecológicas.

A flexibilidade e a variedade de opções de modelagem e de parâmetros fornecidos na versão 2.01 permitem que o *RBCA Tool Kit* possa ser empregado fora do contexto específico da ASTM e que o processo de desenvolvimento de uma linha-base para o solo e as águas subterrâneas seja realizado através de níveis aceitáveis e compatíveis com o permitido pela regulamentação local ou pelos padrões utilizados em muitas partes do mundo.

O *RBCA Tool Kit* consiste em uma série de cálculos interligados e projetados para operarem dentro do Microsoft® Excel, versões 2000 até 2003, para o cálculo do risco a partir dos níveis da linha-base, ou seja, através dos padrões adotados pela regulamentação local, e, ou níveis toleráveis/aceitáveis no solo e água subterrânea, com base nas informações fornecidas pelo usuário.

A característica-chave do *RBCA Tool Kit v2.01* inclui o cálculo do nível tolerável/aceitável baseado no risco à população local. Os cálculos necessários para avaliações completas RBCA nível 2 (tier 2), inclui em: o risco com base nos limites de exposição, no fator atenuação natural e no simples transporte de derivados ou nos modelos baseados em valores especificados pelo usuário. As opções de avaliações incluem as considerações de concentração baseadas nas normas regulamentadoras, além do risco baseado em critérios e modelos de destino e transporte, tais como: modelos analíticos válidos para as vias de exposição no ar, água subterrânea e solo, baseado nos modelos utilizados no RBCA - ASTM.

6- TIPO DE ANÁLISES

A Figura 2, apresenta a tela inicial do programa *RBCA Tool Kit for Chemical Releases v2.01*. Nesta tela são inseridas as informações iniciais do projeto, define-se o tipo de análise RBCA e define-se os cálculos a serem realizados.

Progressivamente, inserem-se os demais dados para o processo de avaliação RBCA navegando para as telas de entrada e de saída apropriadas.

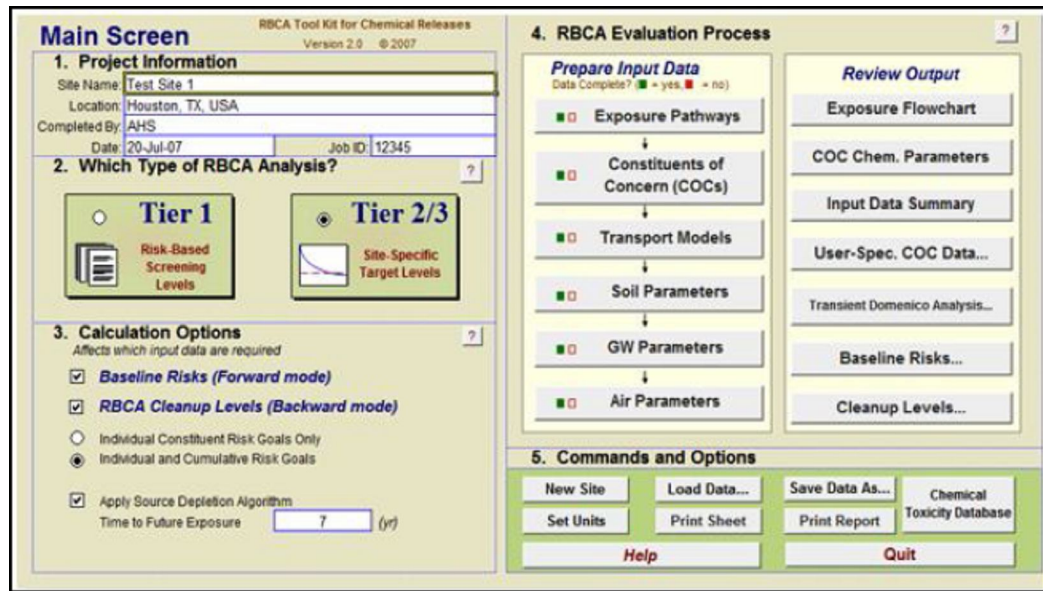


Figura 2: Tela inicial do programa RBCA Tool Kit for Chemical Releases v2.01

O programa RBCA *Tool Kit* v2.01, pode ser usado para executar qualquer nível de análise 1, 2 ou 3 (tier 1,2 ou 3), conforme esquematizado na Figura 3.

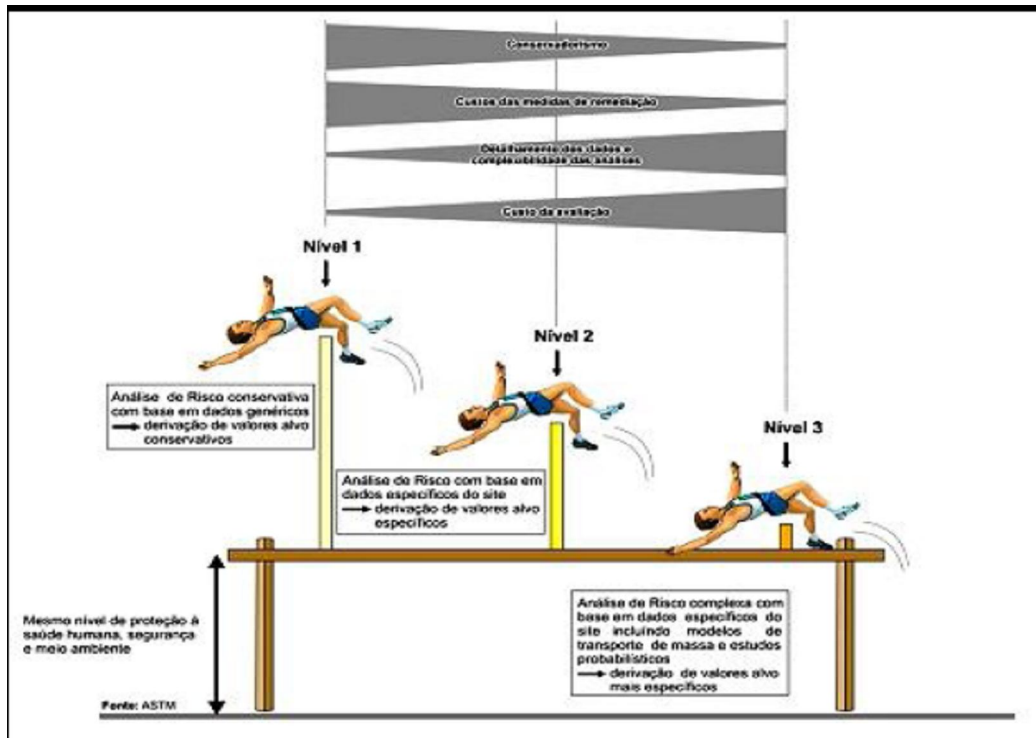


Figura 3: Elementos da Análise de Risco em Níveis- Fonte: ASTM.

□ **Nível 1 (tier 1):** envolve o risco genérico para a exposição local, partindo do princípio da omissão de propriedades e de fatores exposição específicos do local.

□ **Nível 2 (tier 2):** podem-se avaliar os riscos da linha-base e;ou os níveis-alvo específicos do local (SSTL's - Site Specific Target Level), tanto para o local "on site"² quanto para fora "off site"³, baseado em dados específicos avaliados no local para cada meio de exposição (solo, água subterrânea e ar), utilizando os mesmos modelos do nível 1.

□ **Nível 3 (tier 3):** é comparável a um cálculo nível 2, no *RBCA Tool Kit v2.01*, no entanto, ao invés de usar o modelo padrão do destino e transporte fornecido no *RBCA Tool Kit*, o usuário poderá realizar o cálculo utilizando o fator de atenuação natural determinado a partir de outro modelo externo ou a partir de medições específicas.

² No *RBCA Tool Kit v2.01*, o termo "on-site" se refere a um receptor localizado na zona da fonte da contaminação.

³ No *RBCA Tool Kit v2.01*, o termo "off-site" refere-se a um receptor em qualquer ponto de distância fora da zona da fonte da contaminação, mesmo que

sobre o mesmo imóvel. As análises permitem a utilização dos modelos de transporte para calcular os riscos relacionados com níveis e com os receptores

"off-site".

7 – MODOS DE ANÁLISE

O *RBCA Tool Kit* pode ser executado em dois modos, conhecido como modo direto "Forward mode" ou reverso "Backward mode", conforme ilustrado na Figura 4, que foi retirada diretamente do programa.

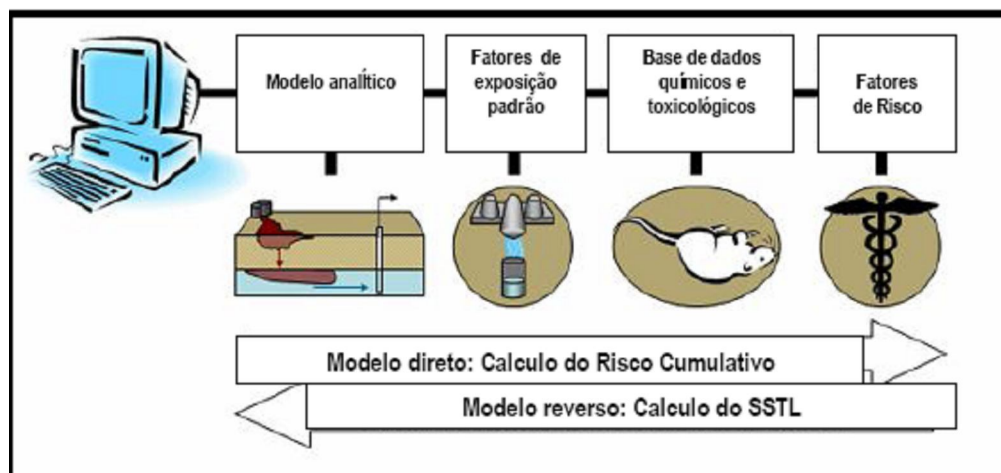


Figura 4: Ilustração dos modos de análises disponíveis no programa.

Fonte: *RBCA Tool Kit for Chemical Releases v2.01*

O modo reverso pode calcular as concentrações limites toleráveis/aceitáveis, denominadas SSTL's para cada composto químico de interesse (CQI) para o local a partir dos valores da linha base conforme o órgão regulamentador responsável.

O modo direto calcula o risco a exposição humana a partir de valores limites toleráveis/aceitáveis dos CQI, conforme especificado pelo usuário.

O risco calculado pelo RBCA pode ser individual ou cumulativo. O risco "individual" significa que as concentrações com nível de risco aceitável SSTL serão calculados com base na exposição individual dos CQI em separado. O risco "cumulativo" significa que as concentrações com nível de risco aceitável SSTL serão calculados com base nos efeitos cumulativos da exposição a todos os CQI em conjunto.

8 - IDENTIFICAÇÃO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO

8.1- EXPOSIÇÃO NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

O programa possui uma janela específica para identificar as vias de exposição. A Figura 5 reproduz a tela do programa para a identificação das vias de exposição.

The screenshot shows the 'Exposure Pathway Identification' software interface. It is divided into several sections for configuring exposure scenarios. At the top right, site information is displayed: 'Site Name: Test Site 1', 'Location: Houston, TX, USA', 'Compl. By: AHS', 'Job ID: 12345', and 'Date: 20-Jul-07'. The main interface is divided into four numbered sections: 1. Groundwater Exposure, 2. Surface Soil Exposure, 3. Air Exposure, and 4. Commands and Options. Section 1 includes options for 'Groundwater Ingestion/Surface Water Impact' with receptor and distance settings, and 'GW Discharge to Surface Water Exposure' with options for swimming, fish consumption, and specified water quality criteria. Section 2 includes 'Combined Exposure' with options for direct ingestion, dermal contact, inhalation, and vegetable ingestion. Section 3 includes 'Volatilization and Particulates to Outdoor Air Inhalation' and 'Volatilization to Indoor Air Inhalation' with various receptor and distance settings. Section 4 includes buttons for 'Main Screen', 'Print Sheet', 'Set Units', 'Help', and 'Exposure Factors & Target Risks'. The interface also displays site information like 'Site Name: Test Site 1' and 'Location: Houston, TX, USA'.

Figura 5: Tela de caracterização das vias de exposição

Na tela exemplificada na Figura 9 é possível especificar para as diferentes vias de exposição os seguintes fatores:

- Vias de exposição completa para o local;
- Tipo de receptores (residencial, comercial, etc) para cada percurso completo;
- Distância da fonte para cada receptor;

9- EXPOSIÇÃO NA ÁGUA SUPERFICIAL

O percurso da água subterrânea para a água superficial envolve três mecanismos possíveis para a exposição humana ou ecológica:

- i) Exposição humana por natação;
- ii) Exposição humana através do consumo peixes;
- iii) Exposição direta dos seres humanos ou de espécies aquáticas;

Para natação e consumo de peixes, o risco da linha base e;ou níveis toleráveis/aceitáveis são calculados com base na exposição humana através dos fatores de risco aplicáveis e os níveis-alvo específico do local. Há opção de se especificar os critérios para qualidade da água que permite que o usuário digite os critérios de qualidade aplicáveis à proteção da água superficial (por exemplo, conforme estabelecido pela regulamentação estadual ou federal), como sendo o limite de exposição para a água de superfície. Para as águas superficiais, os riscos da linha base são calculados apenas para os receptores de exposição humana através da natação e do consumo de peixes.

10 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área objeto dos estudo de caso deste trabalho está contida na cidade do Rio de Janeiro, que se situa no sudeste do Brasil. Sua confrontação municipal se dá ao Norte com os municípios de Itaguaí, Nova Iguaçu, Nilópolis, São João de Meriti, Duque de Caxias e Magé; ao Sul com o Oceano Atlântico; a Leste, em confrontação pela Baía de Guanabara com os municípios de Itaboraí, São Gonçalo e Niterói e a Oeste em confrontação pela Baía de Sepetiba com o Município de Itaguaí.

A cidade possui 1.224,56 Km² de área que se distribuem por um sítio com traços de relevo contrastantes pela presença de três grandes divisores de água constituídos pelos maciços montanhosos, de lagunas e extensas áreas de baixadas. De acordo com o Plano Urbanístico Básico do Rio de Janeiro (PUB-RIO), elaborado em 1977, o território municipal foi dividido em cinco áreas de planejamento – AP's , conforme Figura 1.

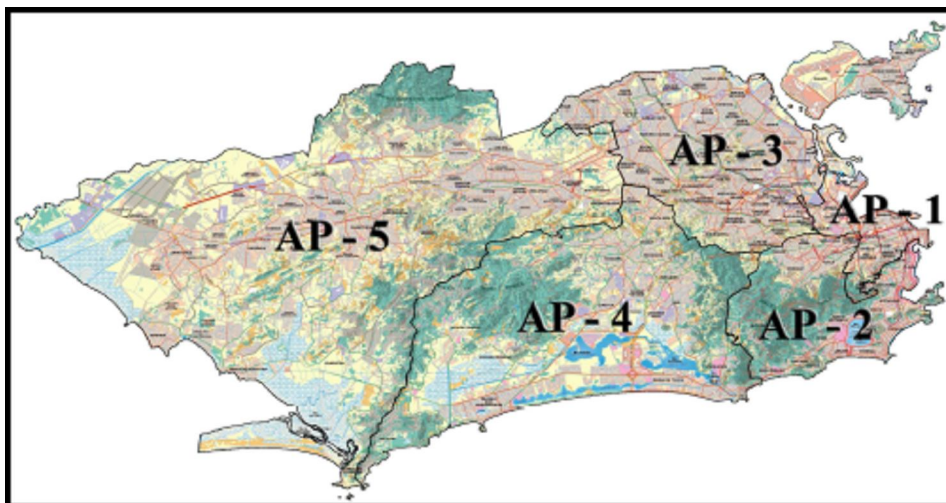


Figura 1: Divisão do território municipal em áreas de planejamento

Fonte:PUB-RIO, 1977.

A área abordada nos estudos é a AP-2, que concentra os núcleos habitacionais de classe alta e média e é marcada pela proximidade com o mar.

11 – METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho foi dividida em três etapas, que serão descritas a seguir:

1. Determinação da área de estudo.

Esta etapa envolveu a pesquisa junto a SMAC, para a determinação da região considerada crítica para análise de risco da atividade de posto de abastecimento e revenda de combustíveis, devido à proximidade com o mar, alta densidade populacional e a grande movimentação de encerramento desta atividade em função da valorização do mercado imobiliário nesta região.

2. Desenvolvimento de um Método de Abordagem para Análise de Risco utilizando o programa *RBCA Tool Kit for Chemical Releases v2.01* para área de postos de abastecimento e revenda de combustíveis no município do Rio de Janeiro.

O método de abordagem desenvolvido foi dividido nos seguintes tópicos:

- Avaliação dos cenários atuais e futuros;
- Avaliação da influência da mudança do tipo de uso do solo;

Ex: posto desativado que se torna uma residência. Esta mudança do tipo de uso do solo é um elemento importante na análise do passivo ambiental existente, implicando na revisão de valores aceitáveis obtidos através das ferramentas de análise de risco, para a concentração de contaminantes presentes no sítio, sem que haja prejuízo a saúde humana.

3. Simulação de um total de cinco cenários para cada estudo de caso nos modos direto e reverso de análise.

Na simulação do cenário 1 considerou-se a ocupação atual do local e os cenários 2, 3 e 4 simulados consideraram-se os cenários futuros prováveis baseados no entorno ou vizinhança e cenário 5 levou em consideração todos os cenários previamente analisados, em uma única simulação.

12 - ESTUDOS DE CASO ANALISADO

Será estudado neste trabalho o estudo de caso envolvendo postos de abastecimento e revenda de combustíveis no município do Rio de Janeiro com histórico de contaminação.

Destaca-se que o estudo de caso analisado neste trabalho, baseia-se em dados contidos nos relatórios de análise de risco já analisados pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro – SMAC. Não foi realizado nenhum ensaio de campo, durante a elaboração desta dissertação. O relatório base para o estudo de caso do posto A foi elaborado no ano de 2003. Cabe ressaltar que os relatórios que serviram como base

foram elaborados por empresas de consultoria ambiental distintas, que utilizaram o pacote computacional RBCA *Tool Kit for Chemical Releases v1.3b*.

13-ESTUDO DE CASO

- Bairro:** Catumbi.
- Área total aproximada:** 540 m²
- Status:** Desativado
- Classe:** 2 - de acordo com a classificação ASTM E1739-95, onde existe o potencial para vapores explosivos ou concentrações de vapores que possam causar efeitos agudos ao se acumularem em uma residência ou em outra construção. A vizinhança da área é constituída por pequenos estabelecimentos comerciais e residências, além de igreja próxima ao posto.

14 - BREVE HISTÓRICO DA CONTAMINAÇÃO

No ano de 1999, havia no local a contaminação do solo e da água subterrânea por gasolina a jusante das principais fontes de contaminação (tanques e bombas). Na ocasião da execução dos serviços de campo pela empresa que elaborou o relatório base, também foram detectados indícios organolépticos que indicavam a presença de álcool, naquele momento. Não foi verificada a presença de fase livre no poço de monitoramento instalado.

Em não havendo presença de produto em fase livre ou níveis reportados de explosividade nas galerias, foi elaborada uma Análise de Risco nos moldes RBCA *Tier 1*, pela empresa que elaborou o relatório consultado neste trabalho.

Esta análise *Tier 1* possibilitou a avaliação preliminar dos riscos à saúde humana associados à contaminação no local e verificou-se que as concentrações de alguns compostos excediam os níveis de avaliação baseados no risco para via de exposição através da inalação de compostos orgânicos voláteis em ambiente fechado.

Neste caso, de acordo com metodologia RBCA, foi elaborada a análise de risco RBCA – *Tier 2*, utilizando dados específicos da área, levantados em campo pela empresa que elaborou o relatório consultado neste trabalho.

15 - DADOS DE ENTRADA DA ANÁLISE DE RISCO

Os dados de entrada relativos aos parâmetros do solo, água e ar utilizados nas simulações do Caso A que foram retirados do relatório base de análise de risco do posto A, assim como os dados adotados de acordo com a regulamentação local, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Dados retirados do relatório de análise de risco e dados recomendados pela regulamentação local.

Parâmetro	Valor numérico	Justificativa/Fonte
Matéria Orgânica	0,21% (0,001218)	Relatório
Porosidade	0,3947 cm ³ /cm ³	Relatório
Densidade	1,856 g/cm ³	Relatório
Umidade da zona seca	0,1255	Relatório
Umidade na zona da franja capilar	0,355	Relatório - Correspondente a 90% do valor da porosidade
Condutividade hidráulica vertical	1 E-6m ²	Relatório - Valor <i>default</i> para argila arenosa
Permeabilidade de vapor	1 E-16m ²	Relatório - Valor <i>default</i> para argila arenosa
Espessura da franja capilar	0,05 m	Valor recomendado pela Cetesb - ACBR
pH	7,23	Relatório
Permeabilidade	2,13 E-5 cm/s	Relatório
Gradiente Hidráulico	15,7%	Relatório
Porosidade Efetiva	25%	Relatório

16 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO LOCAL

A Figura 6 mostra uma representação esquemática do posto A, cujo entorno é misto, ou seja, possui residências e comércio e pode-se notar que o terreno possui um declive topográfico.

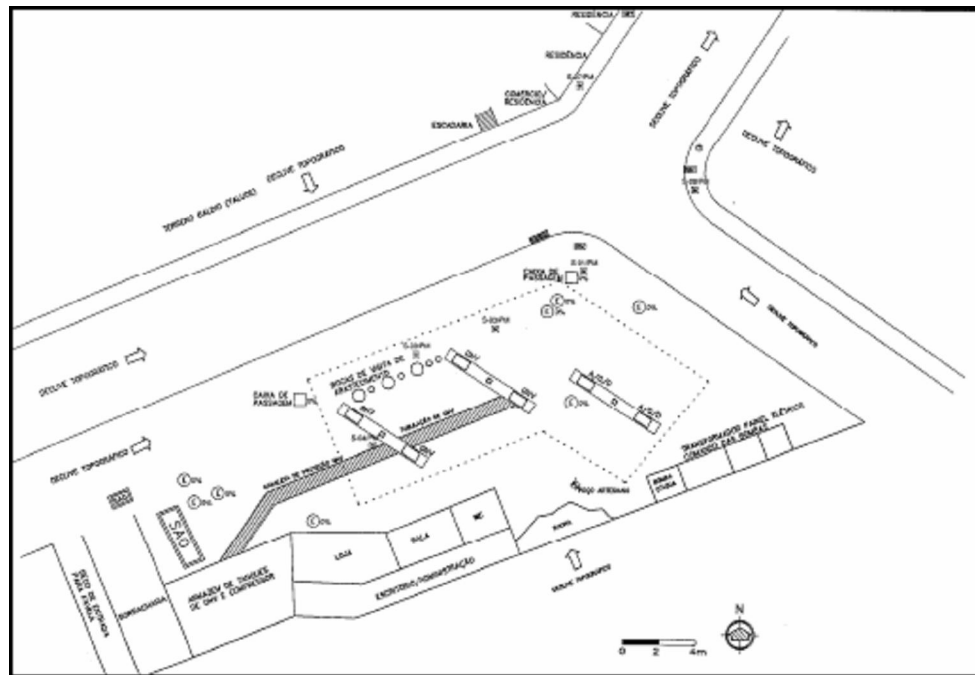


Figura 6: Arranjo físico das instalações do posto.

A área imediatamente a frente do posto é constituída por um talude com inclinação de 60°, não ocupado.

A partir das informações do relatório, o fluxo da água subterrânea se dá no sentido nordeste, sendo a geologia arenosa local bastante favorável para sua migração. Não há

corpos hídricos superficiais nos arredores do posto. Os combustíveis comercializados são: Diesel, Álcool, Gasolina e Gás Natural Veicular – GNV.

A seguir, são apresentados os cenários das cinco (05) simulações do posto em questão:

Cenário 1: A aproximadamente 15m a jusante do posto há uma igreja. A via de exposição que apresentou risco a saúde humana na análise *Tier 1*, segundo o relatório base, foi à inalação, por receptores residenciais (na igreja), do ar ambiente contaminado pela volatilização de compostos orgânicos a partir do solo e das águas subterrâneas. Portanto, considerou-se neste cenário apenas a via de exposição crítica no local, e o meio de transporte através do solo e águas subterrâneas contaminados.

A Figura 7 e a Figura 8 mostram uma representação esquemática do cenário 1.

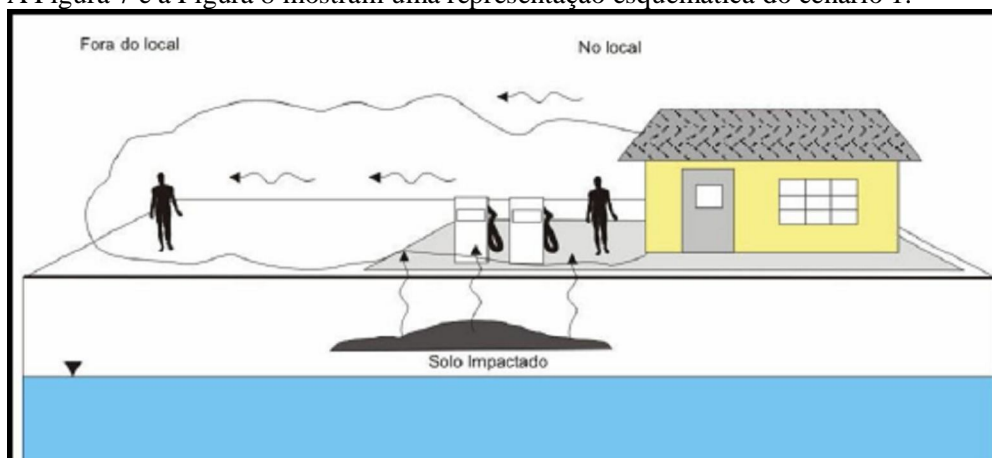


Figura 7: Inalação de vapores provenientes do solo sub-superficial em ambientes abertos.

Fonte: CETESB, 2006.

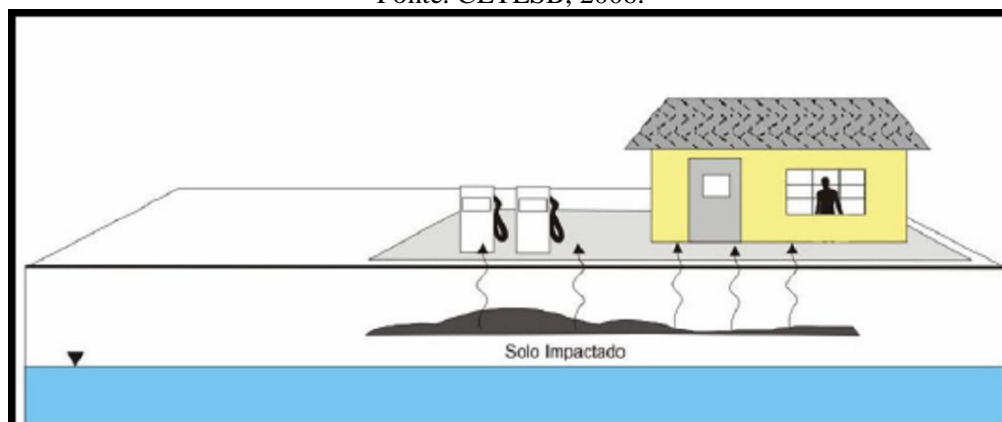


Figura 8: Inalação de vapores provenientes do solo sub-superficial em ambientes fechados.

Fonte: CETESB, 2006.

O uso futuro da área não é conhecido e, portanto os demais cenários foram considerados como sendo cenários prováveis de exposição:

Cenário 2: Para qualquer uso futuro da área, considerou-se que o local seria reformado e que haveria trabalhadores de obras expostos à contaminação do local. Considerou-se que os trabalhadores de obras estariam realizando apenas atividades relativas às obras, sem ingestão de águas subterrâneas do local.



Figura 9: Ingestão e/ou contato dérmico a partir do solo superficial impactado.

Fonte: CETESB, 2006.

Cenário 3: Uso futuro do local como área comercial, com pavimentação total da área e sem utilização da água subterrânea para quaisquer fins.

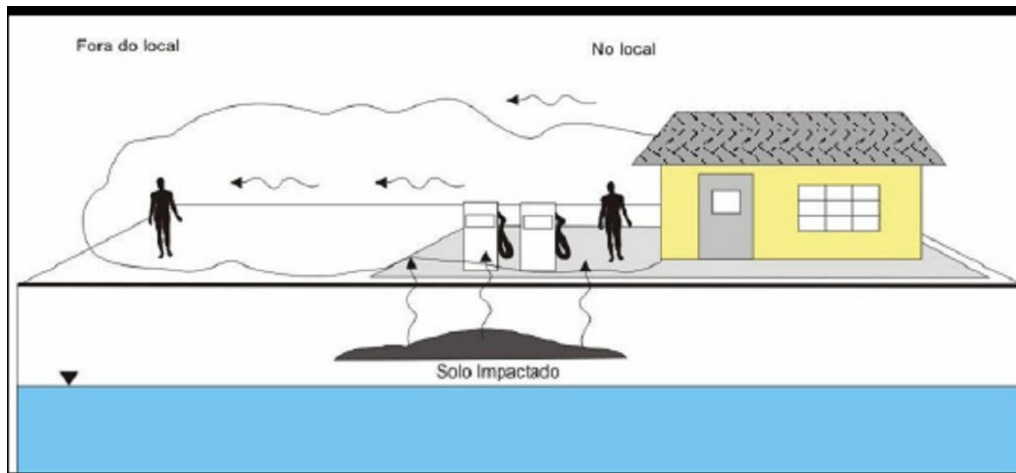


Figura 10: Inalação de vapores provenientes do solo sub-superficial em ambientes abertos

Fonte: CETESB, 2006.

Cenário 4: Uso futuro do local como área residencial, com áreas não pavimentadas e sem utilização de água subterrânea para consumo humano.

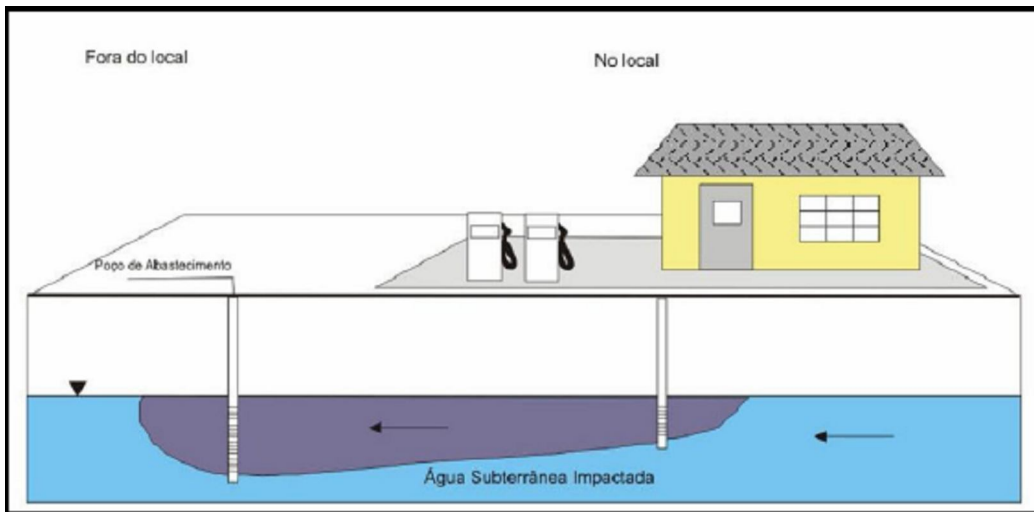


Figura 11: Ingestão de água subterrânea contaminada - Fonte: CETESB, 2006.

Cenário 5: Todas as vias e os receptores considerados nos cenários anteriores, simultaneamente analisados neste cenário.

17- SIMULAÇÕES DO POSTO A

17.1- RECEPTORES E VIAS DE EXPOSIÇÃO CONSIDERADAS NO MODELO DE EXPOSIÇÃO CONCEITUAL DO LOCAL (MECL)

O modelo de exposição conceitual do local (MECL) é desenvolvido pela analista do caso antes de iniciar o trabalho de análise de risco, e consiste em uma caracterização qualitativa do site.

Baseado nas informações contidas no relatório base, sobre o entorno do posto, seu histórico de contaminação e seu funcionamento, foi desenvolvido para este estudo de caso A um MECL, que está apresentado na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3-MECL da Análise de Risco - posto A

Tipo	Receptores	
	Distância	Vias de exposição consideradas posto A
Trabalhadores Comerciais	<i>On site</i> (dentro do empreendimento)	Inalação de vapores orgânicos provenientes do solo e da água subterrânea em ambientes fechados e abertos; Ingestão e contato dermal com as águas subterrâneas provenientes do poço de produção;
	<i>Off site</i>	Inalação de vapores orgânicos provenientes do solo e da água subterrânea em ambientes abertos; Cenário hipotético: Ingestão de águas subterrâneas (possibilidade da presença de poço de produção).
Trabalhadores de Obras	<i>On site</i>	Contato dermal e eventual ingestão do solo superficial; Inalação de vapores orgânicos
		provenientes do solo e da água subterrânea em ambientes abertos; Inalação de particulados provenientes do solo superficial em ambientes abertos; Contato dermal com água subterrânea
Residentes	<i>Off site</i>	Inalação de vapores orgânicos provenientes do solo e da água subterrânea em ambientes abertos e fechados;

OBSERVAÇÕES:

- a. Existe um poço de produção na área do posto cujas águas eram utilizadas para fins gerais, tal como lavagem de veículos e uso sanitário. Portanto, são consideradas as vias de ingestão e contato dermal com a água subterrânea pelos trabalhadores comerciais *on site* a fim de avaliar a possibilidade da utilização da água para estas vias.
- b. Não foram observados corpos hídricos no entorno do empreendimento.

18- DADOS DE ENTRADA DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1 – POSTO A

O cenário 1, considerou-se principalmente os receptores residenciais *off-site*, para avaliar através da simulação o efeito tóxico e carcinogênico sob exposição sub-crônica dos frequentadores da igreja a 15m a jusante do posto, uma vez que esta via de exposição foi identificada na Investigação Ambiental Preliminar, como via crítica de exposição.

A Tabela 4 apresenta as concentrações dos compostos químicos de interesse em análise, na zona fonte da água subterrânea e do solo de cujos dados foram retirados do relatório de análise de risco.

Foram considerados na análise do posto A, os 04 compostos monoaromáticos BTEX e os 16 PAH, recomendados pela EPA como sendo os compostos químicos que oferecem risco a saúde humana, sob exposição.

De acordo com o relatório base de análise de risco, os valores apresentados na Tabela, são as máximas concentrações detectadas nas análises químicas de cada CQI. Para os compostos químicos que não foram detectados, considerou-se metade do limite de detecção da análise. Destaca-se que este foi o critério adotado pela empresa responsável pela elaboração da análise de risco do posto em questão, uma vez que não há padrão regulamentado para este parâmetro pelos órgãos ambientais, até a presente data.

Tabela 4: Concentrações dos CQI – Posto A.

Composto	[água subterrânea] µg/L	[solo] µg/kg
Benzeno	7,5E+0	3,4E+0
Tolueno	1,3E+0	1,0E+2
Etil benzeno	3,3E+0	2,9E+1
Xilenos (isômeros)	1,0E+1	2,7E+2
Naftaleno	7,5E-5	4,4E+0
Acenaftileno	7,5E-5	5,0E-3
Acenafteno	7,5E-5	5,0E-2
Fluoreno	7,5E-5	1,0E-1
Fenantreno	7,5E-5	1,0E+0
Antraceno	7,5E-5	1,1E-1
Fluoranteno	7,5E-5	6,6E-1
Pireno	7,5E-5	5,6E-1
Benzo-a-antraceno	7,5E-5	1,5E-1
Criseno	7,5E-5	1,9E-1
Benzo-b-fluoranteno	7,5E-5	2,1E-1
Benzo-k-fluoranteno	7,5E-5	5,0E-3
Benzo-a-pireno	7,5E-5	9,0E-2
Indeno-1,2,3-cd-pireno	7,5E-5	4,0E-2
Dibenzo-a,h-antraceno	7,5E-5	8,0E-2
Benzo-g,h,i-perileno	7,5E-5	5,0E-2

Após a análise das concentrações apresentadas na Tabela 8, destaca-se que os compostos monoaromáticos estão mais concentrados na zona fonte, tanto na água subterrânea quanto no solo, quando comparados com os demais CQI.

Ao se iniciar o estudo de análise de risco no modo de análise reverso é necessário inserir as concentrações dos CQI que se encontram acima dos valores aceitáveis da regulamentação para o local, as quais foram determinadas através das análises químicas laboratoriais das amostras coletadas no próprio *site*.

19 FLUXOGRAMA DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO DO CENÁRIO 1:

O fluxograma permite identificar as fontes de contaminação, os mecanismos de transporte, as vias de exposição e os receptores adotados para o cenário 1, possibilitando uma visão global da análise.

A Figura 13 contém o percurso completo da simulação do cenário 1, demonstrada através de um fluxograma, no formato real do programa:

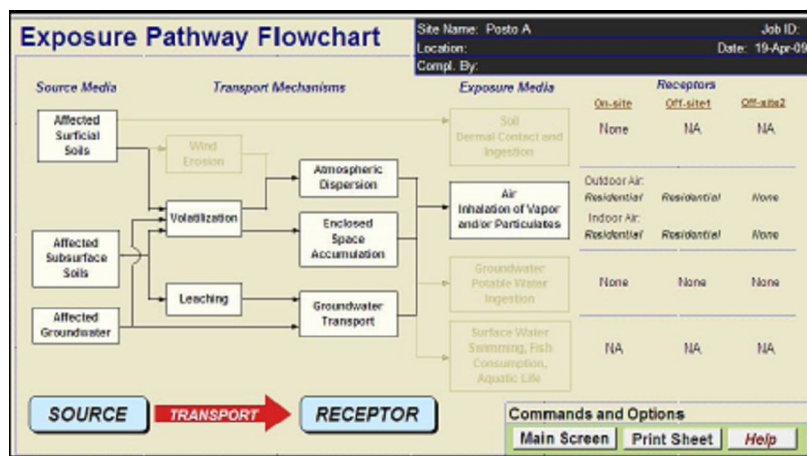


Figura 13: Fluxograma da via de exposição completa considerada na simulação do cenário 1 -Posto A

Uma vez determinado o percurso completo da análise, inicia-se a simulação, cujos resultados serão apresentados nos itens a seguir.

20 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1 - MODO REVERSO DE ANÁLISE

Os dados de saída apresentados a seguir nas tabelas 5, 6 e 7, contem apenas os CQI que ultrapassaram os SSTL calculados.

Tabela 5-Resultado da simulação do cenário 1 – posto A -água subterrânea
Água subterrânea - cenário 1

Água subterrânea - cenário 1		
Substancia	SSTL aplicável – µg/L	SSTL excedente µg/L
Benzeno	2,8E-1	2,7E+1
Xilenos (isômeros)	2,7E+0	3,7E+0

Tabela 6 - Resultado da simulação do cenário 1 - posto A- solo superficial
Solo superficial - cenário1 (0-100cm)

Solo superficial - cenário1 (0-100cm)		
Substancia	SSTL aplicável	SSTL excedente
	µg/kg	µg/kg
Benzeno	2,0E-1	1,7E+1
Xilenos (isômeros)	6,6E+0	4,1E+1
Naftaleno	1,3E+0	3,5E+0

Tabela 7 - Resultado da simulação do cenário 1 –posto A- solo sub-superficial
Solo sub-superficial - cenário1 (100 - 200cm)

Solo sub-superficial - cenário1 (100 - 200cm)		
Substancia	SSTL aplicável	SSTL excedente
	µg/kg	µg/kg
Benzeno	2,0E-1	1,7E+1
Xilenos (isômeros)	6,6E+0	4,1E+1
Naftaleno	1,3E+0	3,5E+0

Nesta simulação apenas o benzeno e os xilenos (orto, meta e para), ultrapassaram as concentrações alvo limite aceitáveis para o *site* (SSTL), tanto na água subterrânea quanto no solo superficial e sub superficial. O naftaleno ultrapassou o SSTL aplicável somente no solo superficial e sub superficial.

As Tabelas 10 e 11 destacam que os SSTL tanto para o solo superficial quanto o subsuperficial são os mesmos. Este fato pode indicar um espalhamento uniforme dos contaminantes tanto no solo superficial quanto no sub-superficial, sendo recomendável que a remediação a ser adotada para este local atinja até a profundidade de 200 cm.

O benzeno excedeu com maior predominância na água subterrânea do que nos demais meios analisados, o que reforça o risco quanto a possível deslocamento deste composto cancerígeno para regiões com ocupações sensíveis (creches, escolas, igrejas, etc), aumentando a necessidade de remediação imediata do meio. No caso dos xilenos, o meio que apresentou maior restrição quanto ao nível de remediação necessário para o *site* foi o solo tanto superficial quanto sub-superficial.

A toxicologia de um composto químico (benzeno, por exemplo) é tipicamente estabelecida com base em estudos de dose-resposta que estimulam relação entre diferentes níveis de dose e a magnitude dos seus efeitos adversos (EPA, 1989). A toxicidade dos hidrocarbonetos é avaliada em função do tipo de exposição, que está relacionada ao caminho de entrada do composto no organismo e pode ser aguda, crônica ou subcrônica, diferenciando-se pelo tempo e duração da exposição do indivíduo/receptor. As faixas de variação de tempo admitida pela EPA para estes estudos

são: para toxicidade crônica de 7 anos ao tempo de vida, toxicidade subcrônica de semanas a 7 anos (EPA,1989).

A toxicologia de uma mistura complexa de compostos químicos (gasolina ou diesel) também é estabelecida com base em estudos de dose resposta, porém utiliza-se uma amostra pura da mistura.

Uma alternativa utilizada nos casos de mistura é a análise toxicológica de um constituinte individual ou grupo de constituintes que fazem parte desta mistura. Estes constituintes são chamados compostos indicadores (ASTM, 1995).

De acordo característica carcinogênica dos CQI (monoaromáticos) que apresentaram concentrações excedentes aos SSTL calculados e também os receptores considerados nesta simulação, as medidas de remediação são indicadas para o *site* nos três meios de contaminação (água subterrânea, solo superficial e solo sub-superficial) a fim de mitigar problemas à saúde humana sob exposição sub-crônica, uma vez que o cenário 1 envolve receptores residenciais (frequentadores da igreja) com diferentes faixas etárias.

21 – RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO 1 - MODO DIRETO DE ANÁLISE

A avaliação do risco carcinogênico e do efeito tóxico foi obtida através da simulação no modo direto de análise.

As vias de exposição completas na simulação do cenário 1 foram as vias de inalação de ar em ambientes abertos e fechados, sendo que a via de exposição para inalação do ar em ambientes fechados excedeu o limite de risco carcinogênico e apresentou toxicidade acima do limite, sendo portanto a via de exposição crítica. Este resultado confirma a necessidade de se remediar o site verificado no modo reverso de análise e indica a necessidade de se efetuar o monitoramento da qualidade do ar para evitar que a longo prazo haja problemas à saúde humana dos futuros ocupantes do local.

22- CONCLUSÕES

Após o entendimento geral de todos os mecanismos e parâmetros envolvidos na análise desde a zona fonte da contaminação passando pelo meio de transporte até chegar aos receptores finais, a utilização do programa *RBCA Tool Kit for Chemical Releases v 2.01* no estudo de caso, não apresentou grandes dificuldades para a realização das simulações.

Foi desenvolvido um método de abordagem para área de postos de abastecimento e revenda de combustível que possibilitou a avaliação dos cenários atuais e futuros, além de permitir a avaliação da influencia da mudança do tipo de uso do solo, Ex: posto desativado que se torna uma residência.

Foram simulados um total de cinco cenários no estudo de caso, que apontaram em diferentes níveis de risco carcinogênico e toxicológico para as possíveis ocupações futuras.

A versão 2.01 do programa apresentou opções adicionais de modelagem e de parâmetros permitindo avaliações mais sofisticadas e personalizadas, incluindo nível 3 (tier 3) e avaliações ecológicas. Portanto a utilização da versão 2.01 do *RBCA Tool Kit for Chemical Releases* permitiu a escolha do uso ou não de parâmetros que conferem a análise um caráter menos conservador, como por exemplo, a utilização do fator de atenuação natural, embora o método de análise proposto neste trabalho independente do modo de análise tenha sido o caráter mais conservador de análise. A flexibilidade e a variedade de opções de modelagem e de parâmetros fornecidos na versão 2.01 permitiram que o *RBCA Tool Kit* pudesse ser empregado fora do contexto específico da ASTM e que o processo de desenvolvimento de uma linha-base para o solo e as águas subterrâneas fosse realizado em acordo com o permitido pela regulamentação local brasileira.

Os resultados dos estudos de caso analisados permitiram concluir que o pacote computacional de análise de risco utilizado, *RBCA Toll Kit for Chemical Releases v2.01*, mostrou ser uma ferramenta adequada para alertar quanto ao risco à saúde humana e também orientar quanto à recuperação de áreas já contaminadas, ou áreas que possam ser potencialmente contaminadas, com o estabelecimento de limites de concentração dos contaminantes aceitáveis para o *site*.

A análise de risco para o posto, que se encontra desativado, indicou que o posto pode apresentar risco a curto prazo à saúde humana devido à presença de utilidades subterrâneas nos arredores do posto e elevadas concentrações dos compostos no solo e nas águas subterrâneas, que poderiam gerar risco potencial de níveis de explosividade ou concentração de vapores nestas utilidades. A avaliação dos riscos crônicos carcinogênicos e tóxicos para o posto, indicou que futuros receptores poderiam estar expostos a concentrações de benzeno críticas a saúde humana, através das vias de exposição por volatilização de compostos da água subterrânea em ambiente interno (receptores residenciais e comerciais) e volatilização de compostos do solo em ar interno (receptores residenciais). As ações corretivas a serem tomadas na área estarão diretamente influenciadas pelo uso futuro do local, pois a avaliação de risco dos possíveis cenários futuros apresentou alerta quanto ao risco e também quanto a toxicidade à saúde humana.

Foi possível verificar com os resultados dos estudos de caso, a necessidade de se avaliar no mínimo quatro cenários possíveis de exposição para o local, nos dois modos de análise (direto e reverso), pois os resultados apontaram risco em diferentes meios e vias de

exposição. A avaliação de cenários atual e futuros apresentaram resultados de alerta quanto à presença de risco carcinogênico aos potenciais receptores. Portanto, é relevante que a análise de risco para área de postos de abastecimento e revenda contemple o cenário real e os futuros, com a finalidade de assegurar a saúde e segurança da população vizinha ao empreendimento analisado e principalmente para prever o risco quanto à possibilidade da modificação do uso do solo.

O estudo de caso analisado mostrou que, de acordo com as condições de análise considerada neste trabalho, não há necessidade de simular todos os cenários em uma única simulação, pois não se identificou a interação entre estes cenários avaliados que modificasse a ordem de grandeza dos SSTL calculados e as vias de exposição crítica para cada estudo.

Com intuito de padronizar a forma de apresentação e execução da análise de risco na atividade de postos de abastecimento na cidade do Rio de Janeiro, visando o auxílio ao processo de Licenciamento Ambiental desta atividade, este trabalho apontou os aspectos relevantes que devem ser contemplados na análise de risco à saúde humana em postos de combustíveis, tais como:

- Simulação de cenários atual e futuros, de acordo com a vizinhança;
- Simulação individuais para cada cenário;
- Simulação nos modos de análise (direto e reverso);
- Identificação das vias de exposição completas para cada análise no modo direto;
- Identificação dos modelos matemáticos e de transporte utilizados para cada cenário com a devida justificativa;

De acordo com os aspectos envolvidos neste trabalho pode-se concluir que a análise de risco mostrou-se ser um instrumento importante para o gerenciamento de risco, possibilitando uma visão abrangente do destino e do efeito do contaminante, possibilitando a escolha adequada do processo de remediação que vise a proteção à saúde humana e a todos os organismos presentes no ecossistema que contribuem para o equilíbrio do meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ABAS (Associação Brasileira de águas Subterrâneas) Disponível em: http://abas.org.br/index.php?PG=aguas_subterraneas&SPG=aguas_subterraneas_as Acesso em fevereiro de 2009.

ASTM, Norma ASTM-E-17-38, *Emergency Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Sites*, Philadelphia, 07/1994.

ASTM, Norma ASTM-E-1739-65, *Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Sites*, Philadelphia, 1995.

ASTM, *RBCA Fate and Transport Models: Compendium and Selection Guidance*, 1998.

ASTM, *Standard Guidelines for Risk-Based Corrective Action at Petroleum Release Sites*. Designação ASTM: E 1739-95, 2002.

ASTM, *Guide for Risk-Based Corrective Action at Chemical Release Sites*. Designação ASTM: 204-01, 2001 *apud* CETESB, Decisão de Diretoria nº 010-2006-C (ANEXO VII: *Ações Corretivas Baseadas em Risco (ACBR) aplicadas a áreas contaminadas com hidrocarbonetos derivados de petróleo e outros combustíveis líquidos – procedimentos*), São Paulo, SP, 2006a.

CASARINI, D. C. P., “Padrões de Qualidade de Solos e Águas Subterrâneas, Anais Workshop sobre biodegradação”, pp. 21 – 38, EMBRAPA, Campinas, SP, Brasil, 14 a 16/10/1996.

CETESB, Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas, 2001.

CETESB, Manual de Gerenciamento de áreas contaminadas. Coleta de amostras de água, 2001. 2 volumes, capítulo VI, SEÇÕES 6300 e 6400.

CNPq, Edital MCT/CNPq/MS-SCTIE-DECIT nº 024/2006: “Seleção pública de propostas para apoio às atividades de pesquisa direcionadas a estudos em populações expostas à contaminação ambiental”, 2006.

CONCAWE – CONSERVATION OF CLEAN AIR AND WATER IN EUROPE – Oil Companies European Association. Oil Industry Guideline for Risk-Based Assessment of Contaminated Sites (revised). Brussels: Report no. 3/03, 2003, 96 p. Disponível em: <http://www.concawe.org/Content/Default.aspID=31>

CONNOR, J. A.; BOWERS, R. L.; PAQUETTE, S. M.; NEWELL, C.J. Soil Attenuation Model for Derivations os Risk-Based Soil Remediation Standards. Houston, Texas: Groundwater Services, Inc 1997. Disponível em: <<http://www.gsi-net.com/publications/papers2.asp>>

DOMENICO, P. A., “An Analytical Model for Multidimensional Transport of Decaying Contaminant Species”, In: *Journal of Hydrology*, v. 91, pp. 49 - 58, 1987.

FEEMA, DZ-1841.R-2 – Diretriz para o licenciamento ambiental e para a autorização do encerramento de postos de serviços, que disponham de sistemas de condicionamento ou armazenamento de combustíveis, graxas, lubrificantes e seus respectivos resíduos, 2004.

FEEMA, NT-213.R-4 – Critérios e padrões para controle da toxicidade em efluentes líquidos industriais, 1990.

FETTER, C.W., *Contaminant Hydrogeology*, 2.ed., New Jersey, Prentice Hall, 1999, 500pg.

GROUNDWATER SERVICES INC. Guidance Manual for RBCA toll Kit for Chemical

Releases. Houston-Texas, 2007.

GOUVEIA, J.L.N. Atuação de equipes de atendimento emergencial em vazamentos de combustíveis em postos e sistemas retalhistas. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) Faculdade de Saúde Pública/USP (Universidade de São Paulo), São Paulo, 2004.

GUIMARÃES, C.H.D. *Avaliação de Risco Ambiental de Sítios Contaminados por Hidrocarbonetos de Petróleo*. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, 2003.

IRIS – INTEGRATED RISK INFORMATION SYSTEM. Banco de dados toxicológicos da USEPA. Disponível em: <<http://www.epa.gov/iris/>>

SILVA, M. A. B. Sistema de classificação fuzzy para áreas contaminadas, Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, 2005.

SILVA, R. L. B. Contaminação de poços rasos no bairro Brisamar, Itaguaí, RJ, por derramamento de gasolina: concentração de BTEX e avaliação da qualidade da água consumida pela população. Tese (Doutorado em Ciências na área de Saúde Pública) – Departamento de Saneamento Ambiental/Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2002.

MATTOS, I. L., et al., Peróxido de Hidrogênio: importância e determinação, *Quim. Nova*, Vol. 26, N 3, pp. 373-380, 2003.

NOGUEIRA, R.F.P., et al., Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e Foto-Fenton, *Quim. Nova*, Vol. 30, n 2, pp 400-408, 2007.

PREVEDELLO, C. L., *Física do solo com problemas resolvidos*. Curitiba, 1996 *apud* BAPTISTA, S. J. *Seleção das melhores condições de biodegradação de petróleo em solo argiloso*. Dissertação (Mestrado) – EQ/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, 2003.