



VI-117 – AVALIAÇÃO DE RISCO DE UMA ÁREA IMPACTADA POR BTEX, NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Gabriela Muchon Simões⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pelo Centro Universitário SENAC.

Marcia Freire dos Reis Gorny⁽²⁾

Bióloga pela Universidade de Taubaté. Mestre em Biotecnologia Industrial pela Faculdade de Engenharia Química de Lorena e doutora pela Universidade Estadual de Campinas.

Endereço⁽¹⁾: Rua Marechal Deodoro, 295 – Granja Julieta – São Paulo - SP - CEP: 04738-001 - Brasil - Tel: (11) 5521-5237 - e-mail: gabismuchon@hotmail.com

RESUMO

A preocupação em identificar áreas contaminadas cresceu nas últimas décadas em todo mundo após casos marcantes e frequentes envolvendo áreas contaminadas, os quais causaram graves danos ambientais e problemas de saúde pública. Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), um levantamento do número de áreas contaminadas realizado em 2012 identificou que aproximadamente 77% das áreas são postos de combustíveis (CETESB, 2012). O gerenciamento dessas áreas é necessário, pois a gasolina apresenta um grupo de compostos os BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos) os quais são tóxicos, principalmente o benzeno, e podem representar um risco à saúde da população.

Devido à relevância do tema o presente projeto objetivou avaliar o risco potencial à saúde da população em uma área vizinha a um posto de gasolina, empregando para tanto um estudo de caso com dados reais. O local selecionado para o estudo não apresenta atividades e, por isso, foi avaliado o risco para um cenário hipotético de uso futuro da área. O cenário estabelecido foi um condomínio residencial, por ser o uso predominante da região, e foi analisado também o risco dos trabalhadores civis durante as obras no local.

A metodologia utilizada para a avaliação de risco teve como base a metodologia desenvolvida pela USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) adaptada pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). A CETESB desenvolveu planilhas para a avaliação de risco que são disponíveis para download gratuitamente. Durante as investigações ambientais realizadas na área de estudo foi identificada a contaminação por benzeno e xilenos em pontos próximos ao posto de combustível, o que indicou o passivo ambiental na área ocasionado pelo posto. A partir dos dados geológicos, hidrogeológicos bem como os dados de quantificação dos compostos BTEX na área foi possível quantificar os riscos para o cenário. Os resultados da avaliação de risco realizados na área indicaram risco para ingestão de água subterrânea, por contato dérmico com a água subterrânea, e também o risco de inalação em ambientes fechados. Quanto aos riscos avaliados para trabalhadores durante as obras, os resultados indicaram que há risco à saúde dos operários apenas pela ingestão de água subterrânea. Conclui-se, portanto, que a contaminação gerada por um posto de combustível pode comprometer o uso de áreas vizinhas, causando riscos à saúde da população exposta, sendo neste estudo de caso os moradores do condomínio residencial e os trabalhadores civis pelas obras.

PALAVRAS-CHAVE: Área Contaminada, Posto de Combustível, Avaliação de Risco, Planilhas CETESB.

INTRODUÇÃO

Atualmente há uma crescente preocupação das indústrias e demais setores de serviços com o meio ambiente, principalmente por conta das legislações ambientais as quais estão cada vez mais restritivas. No entanto, até o final da década de 70 e início dos nos 80 essa ausência preocupação e cuidados por parte das indústrias e demais setores de serviços ocasionaram grandes impactos ambientais e para a saúde da população. Muitas substâncias químicas orgânicas e inorgânicas foram liberadas no meio ambiente se distribuindo nas diversas matrizes ambientais (solo, água e ar) durante décadas por diversos setores. Uma vez em contato com esses meios o contaminante pode perdurar por décadas, dependendo da quantidade de produto vazado e das características geológicas e hidrogeológicas do local. Além disso, os contaminantes podem representar um risco à saúde dependendo do organismo receptor e o potencial de toxicidade da substância (MARONA & SALGADO, 2004).



Casos de contaminação em todo mundo foram evidenciados a partir da década de 80 com casos espetaculares de contaminação como Love Canal e Lekkerkerk. No Brasil, a partir de 2001, casos de contaminação envolvendo manipulação, disposição e armazenamento de substâncias químicas perigosas tais como: Condomínio Barão de Mauá, Vila Carioca, Shell em Paulínia e inúmeros casos envolvendo postos de combustíveis promoveram uma revolução em nossa legislação ambiental com relação a proteção do solo e água subterrânea. A maioria das leis municipais, decretos estaduais, resoluções federais, normas técnicas entre outras foram elaboradas e entraram em vigor a partir de 2001, principalmente para postos de combustíveis.

Um grupo principal de contaminantes detectado em áreas contaminadas por vazamento de combustíveis é o BTEX composto pelo benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos. Esses compostos são tóxicos para a população e estão entre as grandes preocupações ambientais devido ao crescimento no número de postos de combustível nas últimas décadas. Dentre os BTEX, o benzeno é considerado o composto mais tóxico devido ele ser cancerígeno, mutagênico e teratogênico. Somente pequenas concentrações de benzeno são permitidas estarem presentes em água subterrânea, sendo seu valor de intervenção (VI) de 5 µg/L contido no Anexo dos Valores Orientadores de Solo e Água subterrânea publicado em 2005 pela CETESB. Em 20 de fevereiro foi publicado pela CETESB a Decisão de Diretoria 045/2014/E/C/I que dispõe sobre a aprovação dos novos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014, em substituição aos Valores Orientadores de 2005.

Visando um controle eficaz das contaminações e minimizar os custos das remediações bem como dos riscos a que estão sujeitos às populações e o meio ambiente, foi elaborada uma sistemática de gerenciamento ambiental de áreas contaminadas. Dentre as atividades exigidas no gerenciamento ambiental, a avaliação de risco é o processo qualitativo e quantitativo para determinação das chances de ocorrência de efeitos adversos à saúde, decorrentes da exposição humana a áreas contaminadas por substâncias perigosas (USEPA, 1989).

A USEPA em 1989, criou um Manual de Avaliação de Risco, com o intuito de otimizar os custos e minimizar os riscos a saúde humana e ao meio ambiente. O manual foi base para os estudos de avaliação de risco da CETESB, que elaborou planilhas de avaliação de risco em áreas contaminadas sob investigação, conforme estabelecida na sua Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007. A identificação e quantificação dos riscos em uma determinada área contaminada são baseadas em princípios de toxicologia humana, conhecimento das propriedades físico-químicas e comportamento ambiental dos contaminantes, subsidiando a definição dos objetivos a serem atingidos na remediação da área contaminada e as medidas corretivas a serem adotadas (CETESB, 2001).

Este trabalho teve como foco realizar um estudo de caso, onde foi feita uma avaliação de risco, por meio das planilhas da CETESB, de uma área sem uso, ao lado de um posto de combustível. O intuito do projeto foi de verificar se o posto poderia causar danos a uma futura população vizinha e avaliar os possíveis riscos à saúde humana, consequentes de uma contaminação por BTEX, em uma área sem atividade e adjacente ao posto de combustível. Como a área de estudo não apresenta uso foi feita uma simulação de um cenário de uso futuro para a área. O cenário foi estabelecido de acordo com o uso e ocupação do solo da região, que é predominantemente residencial. Portanto, o cenário estabelecido foi de um condomínio residencial de casas (uso residencial urbano).

MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho teve início com a escolha de uma área contaminada na qual pudesse ser realizada a avaliação de risco à saúde humana. Como uma consultoria ambiental especializada em meio ambiente disponibilizou seus estudos ambientais de uma área vizinha a um posto de gasolina, o presente estudo foi então desenvolvido nessa área. A consultoria preferiu não ter o seu nome divulgado neste trabalho, portanto foi denominada como empresa A.

No estudo de caso, para a avaliação de risco empregou-se a planilha da CETESB. Foram empregados dados das investigações ambientais já realizadas na área de estudo para preencher as quatro abas da planilha, necessárias para o cálculo de risco, que são: o modelo conceitual de exposição, os parâmetros físico-químicos das substâncias, a planilha de entrada de dados e as concentrações das substâncias.



O trabalho de um modo geral contou com quatro etapas principais:

- Coleta, Avaliação e Validação de dados,
- Avaliação da Exposição,
- Avaliação da Toxicidade,
- Caracterização e quantificação do risco.

PRIMEIRA ETAPA: COLETA, AVALIAÇÃO E VALIDAÇÃO DE DADOS

Nesta etapa foram compiladas e verificadas as informações relevantes dos estudos ambientais já realizados na área (relatório de avaliação ambiental preliminar, investigação ambiental confirmatória e investigação ambiental detalhada), a fim de caracterizar a região de estudo e definir a contaminação da área.

Com o levantamento das informações dos estudos ambientais da área foi possível analisar:

- Os resultados das análises químicas das amostras coletadas na área (avaliação da qualidade do solo e da água subterrânea, identificação dos compostos químicos de interesse),
- As características do meio físico (geologia e hidrogeologia),
- O uso e ocupação do solo na área de interesse.

Antes de usar tais dados foi verificado se os mesmos foram obtidos com base nos critérios estabelecidos pela ABNT, que garantem a confiabilidade das informações, assim como nas Decisões de Diretoria da CETESB.

Os estudos contaram com 09 sondagens, 01 amostra geotécnica e 09 poços de monitoramento da qualidade da água subterrânea. As sondagens tiveram como objetivo identificar as diferentes litologias presentes na área de interesse, classificar tátil visualmente o solo, avaliar os indícios de impacto no solo local, por meio de análises químicas, e instalar poços de monitoramento. Além das sondagens foi coletada também uma amostra de solo para avaliação geotécnica (análise granulométrica, porosidade total e efetiva, e fração de carbono orgânica). Por fim foram instalados os poços de monitoramento como objetivo permitir a coleta de amostras de água subterrânea para análise química e servir como fonte de informação sobre as características do aquífero local.

SEGUNDA ETAPA: AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO

Na avaliação da exposição foi possível determinar o processo de migração das substâncias na área, por meio dos parâmetros físico-químicos das substâncias químicas de interesse (SQI), presentes no banco de dados da planilha da CETESB e por meio de pesquisa em literatura técnica. Na avaliação da exposição foi definido também o cenário da área, a fonte primária de contaminação da área, os receptores e as vias de exposição. Com essas informações foi possível quantificar as concentrações das SQI na água e no ar por meio das planilhas de avaliação de risco. Os cálculos utilizados pela CETESB são os descritos pela USEPA em seu Manual de avaliação de risco à saúde humana (Risk Assessment Guidance for Superfund Human Health Evaluation Manual) para quantificação da exposição e do risco, as equações de Domênico para transporte de contaminantes em meio saturado e as equações de Johnson e Etinger para intrusão de vapores (CETESB, 2007).

Com a quantificação da exposição a planilha calculou também a dose de ingresso dos contaminantes para cada via de exposição das SQI (água e ar). A planilha apresenta uma equação genérica para cálculo de ingresso de um composto químico, segundo alguns parâmetros, **Equação 01**. No entanto, é realizado também o cálculo para ingresso a partir da ingestão da água contaminada, ingestão de água durante a natação/recreação, contato dérmico com água contaminada, ingestão de solo contaminado, contato dérmico com solo contaminado, inalação de vapores presentes no ar, inalação de partículas presentes no ar, a partir de cálculos específicos presentes na planilha da CETESB e no Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB, juntamente com os parâmetros de exposição sugeridos.

equação (01)

$$I = C \times \frac{IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$



Onde: (I)- Quantidade de contaminante que ingressa no organismo humano por um caminho de exposição (mg/kg.dia);

(C)- Concentração do contaminante no meio focado (mg/L ou mg/kg),

(IR)- Taxa de contato com o meio focado (L/dia ou kg/dia),

(EF)- Frequência de Exposição (dias/ano),

(ED)-Duração da Exposição (Ano),

(BW)- Peso Corporal (kg),

(AT)-Período de Exposição (Dias).

Por fim, com a definição dos cenários, do modelo conceitual de exposição, caracterização físico-química das substâncias químicas de interesse e a caracterização da área, foi possível selecionar os dados de entrada exigidos pelas planilhas da CETESB para calcular o risco para o cenário.

TERCEIRA ETAPA: AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE

A avaliação de toxicidade define a toxicidade específica para cada composto químico de interesse, considerando-se os efeitos adversos à saúde associados à exposição ao composto. Para tanto, é necessário avaliar a relação entre a magnitude da exposição, o tipo de efeito adverso e a possibilidade de um composto produzir câncer no indivíduo ao longo da exposição (CETESB, 2001a).

Para a análise de substâncias não carcinogênicas é utilizado um parâmetro chamado de Dose de Referência (RfD), para avaliar efeitos não carcinogênicos resultantes de um evento de exposição. Já a análise toxicológica para efeitos carcinogênicos é realizada com base na determinação do Fator de Carcinogenicidade (SF) acompanhado do peso da evidência de câncer. Tais parâmetros toxicológicos são definidos pelos órgãos ambientais, por meio de pesquisas e estudos laboratoriais. A CETESB apresenta um amplo banco de dados toxicológicos atualizados e separa na avaliação de risco os compostos carcinogênicos, não carcinogênicos ou ambos.

Nessa etapa, para avaliar a possibilidade das substâncias químicas causarem efeitos adversos à saúde, foram levantados os dados toxicológicos utilizados pelas planilhas de avaliação de risco da CETESB para as substâncias presentes na área de estudo.

QUARTA ETAPA: CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DO RISCO

A etapa de quantificação dos riscos é o início da geração de informações quantitativas para o processo de gerenciamento do risco, e se dá pela união das informações da avaliação de exposição e a análise de toxicidade.

Para compostos químicos que geram efeitos carcinogênicos, o risco é estimado a partir do fator de carcinogenicidade (SF) e a dose de ingresso (**Equação 02**), e indica a probabilidade de um indivíduo desenvolver câncer ao longo do tempo de sua vida, como resultado de um evento de exposição a um composto químico de interesse que potencialmente gere câncer. No caso de exposições simultâneas a múltiplos compostos químicos carcinogênicos o risco é calculado pela soma dos diversos riscos (CETESB, 2001a).

equação (02)

Risco = In x SF

Onde: (In)- Dose de Ingresso para o Cenário de Exposição “n” (mg/kg.dia);

(SF)- Fator de Carcinogenicidade (1/mg/kg.dia)

Já para efeitos não carcinogênicos é calculado o Quociente de Perigo Carcinogênico (HQ) através da dose de ingresso pelo valor de referência para cada via de ingresso (**Equação 03**). Se o nível da dose de ingresso

excede o valor de referência, a relação da **Equação 3** é maior que 1 e existe um perigo de ocorrência de efeitos não carcinogênicos adversos a saúde humana. A somatória do quociente de perigo para múltiplos compostos químicos não carcinogênicos representa o Índice de Perigo, ou seja, se existe um potencial para ocorrência de efeitos não carcinogênicos adversos a saúde (CETESB, 2001a).

equação (03)

$$HQ = \frac{In}{RfD}$$

Onde: (HQ)- Quociente de Perigo não carcinogênico;

(In)- Dose de Ingresso para o Cenário de Exposição “n” (mg/kg.dia);

(RfD)- Dose de Referência para via de ingresso “i”(mg/kg.dia).

O projeto utilizou a planilha da CETESB para o cálculo de risco do estudo de casa e foram considerados, conforme a Decisão de Diretoria No 103, de junho de 2007, níveis admissíveis de risco inferiores a 10^{-5} para os compostos químicos com efeitos carcinogênicos e inferiores a 1,0 para os compostos químicos com efeitos não carcinogênicos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os relatórios de avaliação ambiental preliminar, investigação ambiental confirmatória e investigação ambiental detalhada, atenderam boa parte das normas ABNT e Decisões de Diretoria da CETESB, conforme mostra a **Tabela 01**, sendo as únicas falhas dos projetos à determinação da pluma de contaminação vertical dos contaminantes, e à caracterização geotécnica que contou apenas com 01 ponto, o que não é representativo para toda a área de estudo.

Tabela 01: Normas atendidas nos estudos ambientais da área de interesse.

Estudo	Norma Adotada
Avaliação Ambiental Preliminar	ABNT 15515-1 Decisão de Diretoria N° 103/2007/C/E Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB
Investigação Confirmatória	ABNT 15492, 15495-1, 15495-2, 15515-2, 15847 Decisão de Diretoria N° 103/2007/C/E Decisão de Diretoria N° 195-2005- E Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB
Investigação Detalhada	ABNT 15495-1, 15495-2, 15847 Decisão de Diretoria N° 103/2007/C/E Decisão de Diretoria N° 195-2005- E Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB

Com base nos resultados obtidos da avaliação preliminar foi verificado que a área de estudo não possui indícios de uso no passado. A área apresenta um total do terreno de 4.107,60 m², e está inserida em uma zona mista, com predominância do uso residencial, e ao lado da mesma se localiza um posto de combustível.

Na investigação ambiental detalhada a pluma de contaminação vertical foi delimitada a partir das amostragens ambientais realizadas na área e seus respectivos resultados de quantificação de BTEX. No entanto, a delimitação da pluma de contaminação não seguiu as normas da Decisão de Diretoria n° 263/2009 que estabelece que na delimitação da pluma no plano vertical o ponto limite deve ser definido na metade da

distância entre um ponto de amostragem onde foi detectada concentração acima do valor de intervenção e outro ponto de amostragem onde foi detectado valor abaixo do valor de intervenção. Para a definição de uma pluma mais precisa, portanto, seria necessária a instalação de um maior número de poços, sendo poços multiníveis, ou seja, com diferentes profundidades, para definir o perfil da pluma de contaminação vertical. Por conta da incerteza da pluma vertical, a mesma não pode ser considerada para calcular a espessura da pluma, sendo considerado então o valor de referência estabelecido pela CETESB nas planilhas de avaliação de risco. Já os resultados geotécnicos, apesar de não representarem as informações de toda a área de estudo, foram considerados os valores de porosidade efetiva, porosidade total e fração de carbono orgânico no solo para calcular o risco, por serem mais representativos da área que os valores de referência estabelecidos pela CETESB. A análise crítica dos dados é de fundamental importância para a avaliação de risco, pois define quais dados podem ou não ser usados e indica a confiabilidade dos estudos.

Apesar da pluma não estar de acordo com a decisão da CETESB, a investigação detalhada definiu outros dados fundamentais para a avaliação de risco, como: o sentido do fluxo subterrâneo de sudoeste para nordeste, o aquífero local foi caracterizado como de caráter livre com permeabilidade baixa, sendo a condutividade hidráulica de $7,7 \times 10^{-5}$ cm/s calculada a partir dos dados de *Slug Test*. A velocidade de fluxo foi calculada com base na lei de Darcy, com resultado de 25 m/ano, a profundidade do nível d'água foi estabelecida nos estudos, sendo a profundidade máxima de 11,18m, mínima de 5,11m e média de 8,63m. A geologia local foi estabelecida como pertencente à Formação Resende, apresentando sedimentos argilosos.

Em relação à análise geotécnica do solo, apesar de uma amostra ser pouco representativa, também permitiu os seguintes resultados a respeito do solo local: composição do solo (1,6% de areia muito grossa, 11,1% areia grossa, 15,4% areia média, 1,7% areia muito fina, 32,8% silte e 32,7% argila), porosidade efetiva do solo de 5,8%, porosidade total de 49% e fração de carbono orgânico de 1,4 g/kg.

Os resultados obtidos das amostras de solo indicaram que o solo não estava contaminado por BTEX, por isso a avaliação de risco se baseou somente na água subterrânea. A área apresentou contaminação por benzeno, em 04 poços de monitoramento instalados próximos ao limite da área com o posto de combustível e no centro da área de interesse, e contaminação por xileno em 01 dos poços próximo ao posto de combustível. Além disso, a área apresentou concentrações de tolueno e etilbenzeno abaixo dos valores orientadores, sendo, portanto as substâncias químicas de interesse (SQI) para a avaliação de risco são o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX). Para calcular o risco foram utilizadas as maiores concentrações identificadas para cada substância (**Tabela 02**). Em relação ao solo, o meio não apresentou contaminação por substâncias químicas associadas às atividades do posto de combustível.

Tabela 02: Concentrações adotadas para as SQI na água subterrânea.

Parâmetro	CAS	Água Subterrânea (µg/L)		
		Concentração	Valor de Referência (CETESB, 2014)	Data de Amostragem
Benzeno	71-43-2	785	5	janeiro-13
Tolueno	108-88-3	481	700	janeiro-13
Etilbenzeno	100-41-4	33	300	janeiro-13
Xilenos totais	1330-20-7	575	500	janeiro-13

Legenda: CETESB (2014) – Decisão de Diretoria 045/2014/E/C/1, de 20-02-2014. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014, em substituição aos Valores Orientadores de 2005 e dá outras providências (CETESB, 2014); (**negrito**) – Valores acima do padrão de referência.

Após um levantamento dos parâmetros físico-químicos utilizados pelas planilhas da CETESB como por demais literaturas, foi permitida as seguintes conclusões a respeito do transporte das SQI entre os diversos meios (solo, água e ar): as constantes de Henry indicaram que todas as substâncias de interesse volatilizam

rapidamente para a atmosfera, sendo que o etilbenzeno apresenta o maior grau de volatilidade, seguindo pelo tolueno, benzeno e xileno, representando um risco à saúde do receptor por inalação, os coeficientes de partição carbono orgânico (Koc) indicaram que as substâncias não tendem a ficar adsorvidas no solo, ou seja, tendem a alcançar a água subterrânea. No caso deste estudo como, não foi identificada contaminação do solo, não existe o risco de contaminação do receptor por contato dérmico com o mesmo. Já a solubilidade das substâncias indicou que o benzeno é ligeiramente solúvel na água, e o tolueno, etilbenzeno e xileno pouco solúvel, sendo que no caso da gasolina brasileira o processo de co-solvência causado pelo etanol aumenta a solubilidade de todas essas substâncias, o que representa um maior risco de contaminação da população por ingestão ou contato dérmico com a água, além de aumentar a pluma de contaminação.

Como a contaminação da área foi identificada apenas na água subterrânea, em pontos próximos ao posto de combustível, e uma vez que a área nunca foi utilizada, fica evidenciado que a contaminação da área tem relação com um possível vazamento no posto. Por meio desse levantamento foram feitas as seguintes considerações:

- **Fonte de contaminação:** a fonte primária de contaminação da água subterrânea local foi atribuída a um possível vazamento do posto de combustível, vizinho à área de estudo.
- **Transporte de contaminantes:** os meios de transporte dos contaminantes são pela volatilização das substâncias químicas de interesse a partir da água subterrânea para o ambiente e pela migração da água subterrânea no aquífero.
- **Receptores:** como a área está desocupada, foram considerados os possíveis receptores futuros, de acordo com o cenário estabelecido a seguir, sendo esses os moradores da área (crianças e adultos) e futuros trabalhadores civis.

Como é grande o número de residências na região, existe a possibilidade que a área seja destinada a um condomínio residencial, e foi esse o cenário hipotético de uso futuro estabelecido. Nesse caso, foi necessário separar os receptores em crianças e adultos por conta de diversos parâmetros que são diferentes para adultos e crianças, como por exemplo: a massa corpórea, o tempo médio para efeitos não carcinogênicos em crianças e adultos, que é menor para crianças, a área superficial da pele disponível para contato dérmico com a água subterrânea, pois as crianças apresentam menor área superficial de pele que os adultos, entre outros parâmetros que variam de adulto para crianças, e que foram tabelados pelo banco de dados da planilha da CETESB junto com a referência de cada parâmetro.

Algumas das características definidas no projeto foram que o condomínio é composto por 8 casas de 168 m², apresenta área de lazer (quadra e playground), não apresenta garagem subterrânea, a fim de evitar a exposição da população em uma área mais próxima à contaminação, e nem hortas, para evitar a contaminação da vegetação. Com isso, foi possível definir para o cenário:

- **Receptores do cenário:** crianças e adultos;
- **Meio físico de transporte do contaminante na área:** a água e o ar atmosférico;
- **As vias de ingresso:**

- Inalação das SQI, já que as substâncias químicas de interesse são voláteis. A inalação foi dividida em ambiente aberto (quintal e área de lazer) e ambiente fechado (residência), uma vez que a liberação dos gases ocorre de diferentes formas, em ambientes fechados os gases escapam por rachaduras na fundação, já em ambientes abertos os gases escapam por todo o ambiente.

-Contato dérmico dos moradores com a água subterrânea.

- Ingestão da água subterrânea.

A planilha da CETESB ainda define se o receptor estará na fonte, ou seja, onde ocorreu o vazamento, ou fora da fonte. No cenário residencial, como não se sabe o ponto exato do vazamento no posto de gasolina, foi estabelecido como fonte a região do PM-02, por ser um ponto ao lado do posto de combustível e por ter apresentado a maior concentração de benzeno e xileno. Já a área fora da fonte foi considerada a região do PM-09, por estar fora da pluma de benzeno e xileno, a uma distância de 40 m do PM-02. Na **Figura 01** é ilustrado o cenário do condomínio residencial e a pluma de contaminação.

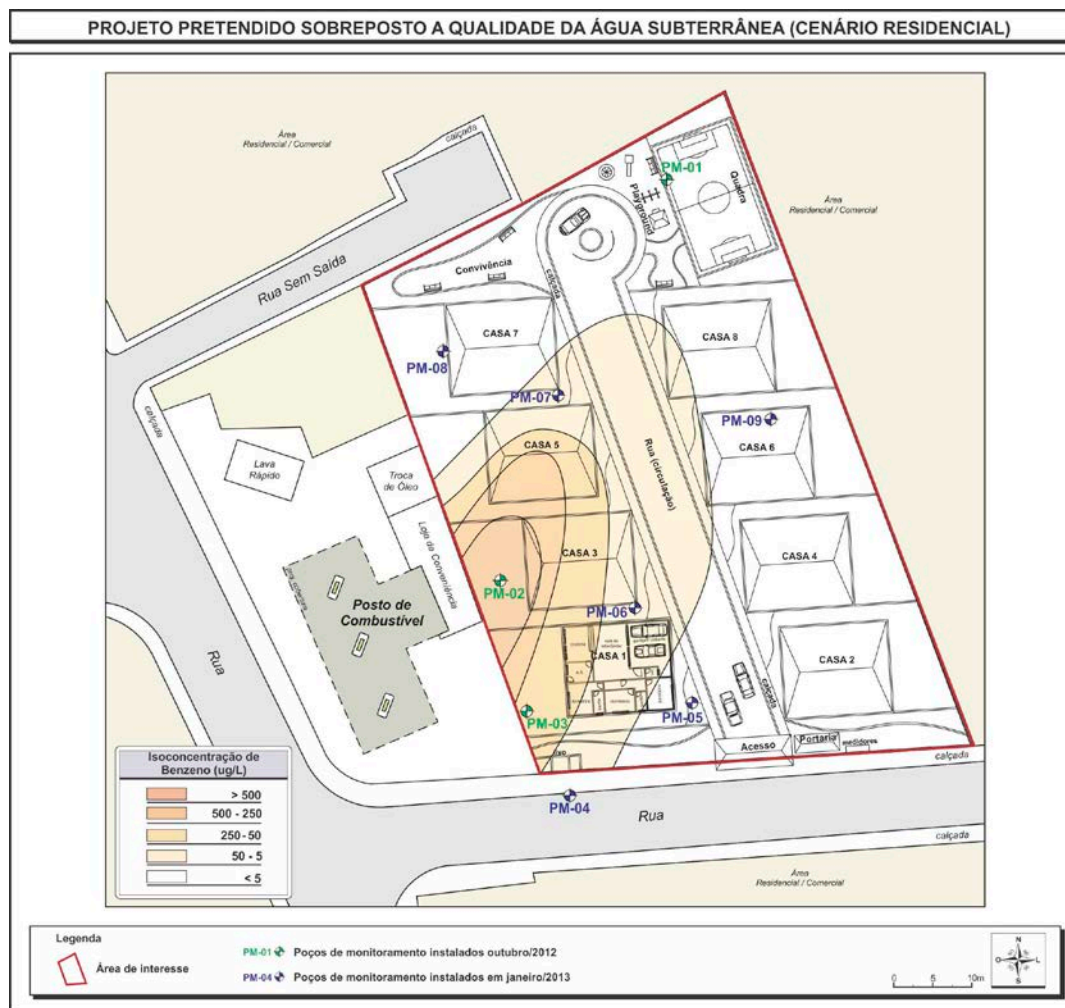


Figura 01: Croqui do condomínio residencial e a pluma de contaminação.

O estudo considerou ainda os riscos dos trabalhadores das obras, que serão necessários para a construção do condomínio. Nesse cenário é considerado os receptores apenas adultos, com carga de trabalho de 08 horas por dia. A planilha da CETESB considera, ainda, a duração da obra de 02 anos, por ser um parâmetro fixo da planilha para obras.

Com a definição dos cenários, análise da exposição e das vias de ingressos da contaminação, caracterização físico-química dos contaminantes e a caracterização da área, foi possível selecionar os dados de entrada exigidos pelas planilhas da CETESB para calcular o risco (**Tabela 03**). A maioria dos parâmetros utilizados na planilha foram específicos da área, no entanto para alguns dados indisponíveis adotaram-se valores de referência que foram levantados por diversos profissionais e estão disponíveis na planilha, são os chamados valores padrões (default) da CETESB.

Tabela 03: Dados de entrada utilizados na avaliação de risco.

Descrição	Unidade	Dados de Entrada	Justificativa
Área das Fundações	cm ²	1680000,00	Área da fundação de casa, ou seja, 168m ²
Pé Direito	cm	250,00	Default -Planilha CETESB
Cenários Associados a Inalação de Vapores a partir da Água Subterrânea			
Espessura das fundações/paredes de construções	cm	10,00	Default -Planilha CETESB
Profundidade do Nível d'Água	cm	863,00	Média da profundidade do nível d'água
Temperatura da Água Subterrânea	K	294,70	Média das temperaturas das amostras de água subterrânea no momento da coleta da Investigação Detalhada
Largura da área fonte na direção paralela ao fluxo da água subterrânea	cm	5300,00	Largura da área pluma de benzeno entre os poços PM-03 e PM-07. Foi seleciona a pluma de benzeno por ser maior que a pluma de xileno, logo mais conservadora
Espessura da pluma dissolvida na água subterrânea	cm	200,00	Foi considerado o padrão (default) da CETESB, uma vez que não foi definida corretamente a pluma vertical de contaminação
Porosidade Total	-	0,49	Medida da Investigação Detalhada pela análise geotécnica do solo
Densidade do Solo	g/cm ³	1,30	Como não foi medida a densidade do solo, foi utilizado o dado sugerido pela planilha da CETESB
Fração de Carbono Orgânico no Solo	g-C/g-solo	0,0014	Medida da Investigação Detalhada, pela análise geotécnica do solo
Cenários Associados ao Transporte de Contaminante em Meio Saturado			
Espessura da Fonte na Água Subterrânea	cm	200,00	Foi considerado o padrão (default) da CETESB, uma vez que não foi definida corretamente a pluma vertical de contaminação
Largura da Fonte	cm	5300,00	Considerou-se a largura da fonte a largura da pluma de benzeno
Gradiente Hidráulico	-	0,060	Gradiente hidráulico calculado entre o PM-06 e PM-01, na Investigação Detalhada
Condutividade Hidráulica	cm/dia	6,6528	Condutividade Hidráulica medida na Investigação Detalhada
Distância entre a área fonte na água subterrânea e o Ponto de Exposição	cm	4000,00	Para o condomínio considerou a distância de 4000 cm entre o PM-02 (Fonte) e o PM-09 (Fora da Fonte). Já para os operários, como para operários de obras a CETESB adota apenas os receptores na fonte, utilizou o valor de referência estabelecido na Planilha CETESB de 4500
		4500,00	
Porosidade Efetiva	cm ³ /cm ³	0,058	Porosidade obtida na Investigação Detalhada, pela análise geotécnica do solo

Com a caracterização dos cenários e identificação dos caminhos de exposição, foi possível quantificar a exposição pelas planilhas da CETESB.

Para calcular a dose de ingresso para cada via de exposição foram usados os dados de entrada (**Tabela 3**), dados presentes no banco de dados da CETESB, bem como os dados das concentrações das substâncias na água subterrânea e no ar atmosférico, calculados também pela planilha.

As doses quantificadas para os compostos na água e no ar foram tabeladas e comparadas com valores de referência, com a finalidade de contribuir para a interpretação dos resultados. Para as concentrações dos compostos na água foram utilizados os valores de intervenção da CETESB. Já para as doses no ar atmosférico foram comparados os valores obtidos com os valores de referência estabelecidos pela USEPA, os chamados Regional Screening Levels, para o ar residencial. É possível analisar os resultados das concentrações nas **Tabelas 04 e Tabela 05**.

Tabela 04: Concentração dos compostos na água subterrânea na área fonte e fora da fonte de contaminação.

SQI	Concentração na fonte de contaminação (mg/L)	Concentração fora da fonte de contaminação (mg/L)	Valor Orientador CETESB 2014 (mg/L)
Condomínio Residencial			
Benzeno	7,85E⁻⁰¹	7,08E⁻⁰²	5,0E ⁻⁰³
Tolueno	4,81E ⁻⁰¹	1,39E ⁻¹¹	7,0E ⁻⁰¹
Etilbenzeno	3,30E ⁻⁰²	7,06E ⁻⁰⁶	3,0E ⁻⁰¹
Xilenos	5,75E⁻⁰¹	7,41E ⁻⁰⁵	5,0E ⁻⁰¹
Operários			
Benzeno	7,85E⁻⁰¹	-	5,0E ⁻⁰³
Tolueno	4,81E ⁻⁰¹	-	7,0E ⁻⁰¹
Etilbenzeno	3,30E ⁻⁰²	-	3,0E ⁻⁰¹
Xilenos	5,75E⁻⁰¹	-	5,0E ⁻⁰¹
Legenda: (-) Não foi considerada a área fora da fonte para esses cenários; (negrito)- Valores acima do valor de intervenção da CETESB.			

A Tabela acima apresenta as concentrações das substâncias na água subterrânea na área fonte de contaminação e fora da fonte de contaminação, esse último foi calculado apenas para o condomínio residencial, já que a CETESB adota os trabalhadores de obras apenas na fonte. As concentrações das substâncias na água da área fonte de contaminação foram as mesmas para todos os cenários, e essas foram as mesmas concentrações identificadas na investigação detalhada. Isso ocorre, pois foi considerada a pluma de contaminação como área fonte nos cenários, logo os resultados analíticos dos poços de monitoramento já representam as concentrações que a população está exposta pela água subterrânea nessa área.

Também foram consideradas das substâncias na água fora da fonte de contaminação, pois existem casas no condomínio em cima da pluma de contaminação e fora da pluma de contaminação. Nos resultados das concentrações fora da fonte pode-se analisar que o benzeno continua apresentando elevada concentração na água subterrânea, acima dos valores orientadores CETESB. Esse resultado indica que mesmo os moradores das residências fora da pluma de contaminação estão sujeitos a uma contaminação por benzeno na água subterrânea. É importante destacar que o tolueno, etilbenzeno e xilenos apresentaram concentrações traços na área fora da fonte, no entanto valores muito baixos.

Tabela 05: Concentração dos compostos no ar na área fonte e fora da fonte de contaminação.

SQI	Concentração na fonte de contaminação (mg/m ³)		Concentração fora da fonte de contaminação (mg/m ³)		Valores de Intervenção EPA 2013 (mg/m ³)
	Ambientes abertos	Ambientes fechados	Ambientes abertos	Ambientes fechados	
Cenário 01					Ar Residencial
Benzeno	1,56E ⁻⁰⁴	1,05E⁻⁰²	1,40E ⁻⁰⁵	9,47E⁻⁰⁴	3,1E ⁻⁰⁴
Tolueno	9,56E ⁻⁰⁵	6,54E ⁻⁰³	2,75E ⁻¹⁵	1,88E ⁻¹³	5,2E ⁺⁰⁰
Etilbenzeno	6,65E ⁻⁰⁶	4,60E ⁻⁰⁴	1,42E ⁻⁰⁹	9,84E ⁻⁰⁸	9,7E ⁻⁰⁴
Xilenos	1,03E ⁻⁰⁴	6,89E ⁻⁰³	1,33E ⁻⁰⁸	8,88E ⁻⁰⁷	1,0E ⁻⁰¹
Cenário 03- A					Ar Industrial
Benzeno	1,56E ⁻⁰⁴	8,84E⁻⁰³	-	-	1,6E ⁻⁰³
Tolueno	9,56E ⁻⁰⁵	5,52E ⁻⁰³	-	-	2,2E ⁺⁰¹
Etilbenzeno	6,65E ⁻⁰⁶	3,89E ⁻⁰⁴	-	-	4,9E ⁻⁰³
Xilenos	1,03E ⁻⁰⁴	5,78E ⁻⁰³	-	-	4,4E ⁻⁰¹

Legenda: (-) Não foi considerada a área fora da fonte para esses cenários; (**negrito**)- Valores acima do valor de intervenção da USEPA .

Na **Tabela 05** estão descritas as concentrações das substâncias no ar, devido as mesmas serem voláteis é necessário avaliar o risco desses compostos no ar. Foi calculada a exposição dos receptores em ambiente aberto e fechado, na área fonte de contaminação e fora da fonte de contaminação. Os valores obtidos, comparados com os valores da USEPA, indicam que todos os cenários apresentam uma concentração de benzeno no ar, em ambientes fechados, maior que o estabelecido pelo órgão americano. No entanto, é importante lembrar que essas doses não indicam que haverá risco. Na Tabela nota-se que os resultados da concentração das SQI nos ambientes fechados foram maiores nas casas sobre a pluma de contaminação. No entanto, a concentração nas casas fora da pluma também apresentaram concentrações de benzeno acima do padrão de referência. Comparando as doses das substâncias em ambiente fechados e abertos conclui-se que são maiores as concentrações em ambientes fechado, pois o espaço para circular o ar é menor logo tem menor movimentação de correntes de ar e as substâncias ficam mais concentradas. Em relação à exposição dos trabalhadores civis, os mesmos também apresentaram concentrações de benzeno em ambientes fechados acima do estabelecido pela CETESB.

Após essa análise da exposição foi realizada a avaliação da toxicidade das substâncias. Objetivando verificar se as SQI são ou não carcinogênicas, foram levantadas as informações do banco de dados da CETESB e outras literaturas técnicas (**Tabela 06**).

Tabela 06: Comparação dos dados toxicológicos da planilha de avaliação de risco da CETESB para as SQL.

Parâmetros	Benzeno		Tolueno		Etilbenzeno		Xilenos Totais	
	CETESB (2013)	Outras fontes	CETESB (2013)	Outras fontes	CETESB (2013)	Outras fontes	CETESB (2013)	Outras fontes
Evidência de Câncer	C		NC		C	Possível Carcinogênico ⁽⁶⁾	NC	
Legenda: (-) dado não existente; C- carcinogênico; NC- não carcinogênico. Outras fontes: IRIS, 2003; ATSDR 2004; ATSDR 2009; USEPA, 2005a; ATSDR,2010; IARC, 2013; OEHHA, 2009; USEPA, 2005b.								

Por meio da tabela acima foi possível determinar que o benzeno é considerado carcinogênico, o tolueno e o xileno não carcinogênico. Em relação ao etilbenzeno o banco de dados da CETESB o classifica como carcinogênico e a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) como possível carcinogênico, isso ocorre, pois a CETESB adota a metodologia da USEPA que considera carcinogênicas as substâncias dos grupos A (carcinogênico), B1 (provável carcinogênico) e B2 (dados insuficientes para humanos), a fim de ser o mais conservador possível.

Com todas as informações levantadas anteriormente foi possível calcular os riscos à saúde para os receptores, por meio das planilhas da CETESB, e verificou-se os resultados acima dos valores estabelecidos de risco. Para os compostos o benzeno e o etilbenzeno foi calculado o risco para os efeitos carcinogênicos e para efeitos apenas tóxicos (não carcinogênicos). A planilha ainda calcula dois tipos de risco cumulativo: risco cumulativo para cada substância, ou seja, o risco de uma substância causar efeitos adversos à saúde considerando todas as vias de exposição e o risco cumulativo no cenário que é a somatória dos riscos de todos os contaminantes em uma via de exposição.

Depois de feitas as simulações dos cenários foram tabelados os resultados (**Tabela 07 e 08**), destacando os valores que indicaram risco acima dos níveis admissíveis.

Tabela 07: Avaliação de risco para os moradores do condomínio.

Substância	Efeito	Receptor na fonte				Risco Cumulativo na Fonte
		Inalação		Contato Direto		
		Ambientes Abertos	Ambientes Fechados	Contato Dérmico	Ingestão	
Cenário do Condomínio Residencial- Crianças						
Benzeno	C	1,41E ⁻⁰⁷	1,52E⁻⁰⁵	3,28E⁻⁰⁵	2,30E⁻⁰⁴	2,78E⁻⁰⁴
	NC	7,25E ⁻⁰³	7,77E ⁻⁰¹	1,79	12,50	15,10
Tolueno	NC	2,67E ⁻⁰⁵	2,90E ⁻⁰³	1,14E ⁻⁰¹	3,84E ⁻⁰¹	5,02E ⁻⁰¹
Etilbenzeno	C	1,93E ⁻⁰⁹	2,13E ⁻⁰⁷	9,12E ⁻⁰⁷	1,93E ⁻⁰⁶	3,06E ⁻⁰⁶
	NC	9,29E ⁻⁰⁶	1,02E ⁻⁰³	9,95E ⁻⁰³	2,11E ⁻⁰²	3,21E ⁻⁰²
Xilenos	NC	1,44E ⁻⁰³	1,53E ⁻⁰¹	8,79E ⁻⁰²	1,84E ⁻⁰¹	4,26E ⁻⁰¹
Risco Cumulativo no Cenário	C	1,43E ⁻⁰⁷	1,54E⁻⁰⁵	3,37E⁻⁰⁵	2,32E⁻⁰⁴	-
	NC	8,72E ⁻⁰³	9,34E ⁻⁰¹	2,00	13,10	-
Cenário do Condomínio Residencial- Adulto						
Benzeno	C	2,33E ⁻⁰⁷	2,49E⁻⁰⁵	1,52E⁻⁰⁴	4,93E⁻⁰⁴	6,70E⁻⁰⁴
	NC	2,39E ⁻⁰³	2,55E ⁻⁰¹	1,66	5,38	7,30
Tolueno	NC	8,80E ⁻⁰⁶	9,53E ⁻⁰⁴	1,06E ⁻⁰¹	1,65E ⁻⁰¹	2,72E ⁻⁰¹
Etilbenzeno	C	3,19E ⁻⁰⁹	3,49E ⁻⁰⁷	4,24E ⁻⁰⁶	4,14E ⁻⁰⁶	8,73E ⁻⁰⁶
	NC	3,06E ⁻⁰⁶	3,35E ⁻⁰⁴	9,24E ⁻⁰³	9,04E ⁻⁰³	1,86E ⁻⁰²
Xilenos	NC	4,74E ⁻⁰⁴	5,02E ⁻⁰²	8,17E ⁻⁰²	7,88E ⁻⁰²	2,11E ⁻⁰¹
Risco Cumulativo no Cenário	C	2,36E ⁻⁰⁷	2,52E⁻⁰⁵	1,56E⁻⁰⁴	4,97E⁻⁰⁴	-
	NC	2,87E ⁻⁰³	3,07E ⁻⁰¹	1,86	5,63	-
Legenda: (-) Não é calculado risco; (C) Cancinogênico; (NC) Não Carcinogênico; (negrito)- risco acima dos níveis admissíveis considerados pela CETESB.						

Tabela 07: Avaliação de risco para os moradores do condomínio (continuação).

Substância	Efeito	Receptor fora da fonte				Risco Cumulativo fora da Fonte
		Inalação		Contato Direto		
		Ambientes Abertos	Ambientes Fechados	Contato Dérmico	Ingestão	
Cenário do Condomínio Residencial- Crianças						
Benzeno	C	1,27E ⁻⁰⁸	1,37E ⁻⁰⁶	2,96E ⁻⁰⁶	2,07E⁻⁰⁵	2,51E⁻⁰⁵
	NC	6,53E ⁻⁰⁴	7,01E ⁻⁰²	1,61E ⁻⁰¹	1,13	1,36
Tolueno	NC	7,69E ⁻¹⁶	8,36E ⁻¹⁴	3,29E ⁻¹²	1,11E ⁻¹¹	1,44E ⁻¹¹
Etilbenzeno	C	4,14E ⁻¹³	4,55E ⁻¹¹	1,95E ⁻¹⁰	4,14E ⁻¹⁰	6,54E ⁻¹⁰
	NC	1,99E ⁻⁰⁹	2,18E ⁻⁰⁷	2,13E ⁻⁰⁶	4,51E ⁻⁰⁶	6,86E ⁻⁰⁶
Xilenos	NC	1,85E ⁻⁰⁷	1,97E ⁻⁰⁵	1,13E ⁻⁰⁵	2,37E ⁻⁰⁵	5,49E ⁻⁰⁵
Risco Cumulativo no Cenário	C	1,27E ⁻⁰⁸	1,37E ⁻⁰⁶	2,96E ⁻⁰⁶	2,07E⁻⁰⁵	-
	NC	6,53E ⁻⁰⁴	7,01E ⁻⁰²	1,61E ⁻⁰¹	1,13	-
Cenário do Condomínio Residencial- Adulto						
Benzeno	C	2,10E ⁻⁰⁸	2,24E ⁻⁰⁶	1,37E⁻⁰⁵	4,44E⁻⁰⁵	6,04E⁻⁰⁵
	NC	2,15E ⁻⁰⁴	2,30E ⁻⁰²	1,50E ⁻⁰¹	4,85E ⁻⁰¹	6,58E ⁻⁰¹
Tolueno	NC	2,53E ⁻¹⁶	2,75E ⁻¹⁴	3,06E ⁻¹²	4,74E ⁻¹²	7,83E ⁻¹²
Etilbenzeno	C	6,82E ⁻¹³	7,47E ⁻¹¹	9,06E ⁻¹⁰	8,86E ⁻¹⁰	1,87E ⁻⁰⁹
	NC	6,55E ⁻¹⁰	7,17E ⁻⁰⁸	1,98E ⁻⁰⁶	1,93E ⁻⁰⁶	3,98E ⁻⁰⁶
Xilenos	NC	6,11E ⁻⁰⁸	6,47E ⁻⁰⁶	1,05E ⁻⁰⁵	1,02E ⁻⁰⁵	2,72E ⁻⁰⁵
Risco Cumulativo no Cenário	C	2,10E ⁻⁰⁸	2,24E ⁻⁰⁶	1,37E⁻⁰⁵	4,44E⁻⁰⁵	-
	NC	2,15E ⁻⁰⁴	2,30E ⁻⁰²	1,50E ⁻⁰¹	4,85E ⁻⁰¹	-

Legenda: (-) Não é calculado risco; (C) Cancinogênico; (NC) Não Cancinogênico; (**negrito**)- risco acima dos níveis admissíveis considerados pela CETESB.

Tabela 08: Avaliação de risco para trabalhadores das obras.

Substância	Efeito	Receptor na fonte				Risco Cumulativo na Fonte
		Inalação		Contato Direto		
		Ambientes Abertos	Ambientes Fechados	Contato Dérmico	Ingestão	
Cenário Trabalhadores das obras						
Benzeno	C	1,29E ⁻⁰⁸	7,30E ⁻⁰⁷	3,99E ⁻⁰⁶	1,36E⁻⁰⁵	1,83E⁻⁰⁵
	NC	1,98E ⁻⁰³	1,12E ⁻⁰¹	6,52E ⁻⁰¹	2,23	2,99
Tolueno	NC	7,29E ⁻⁰⁶	4,21E ⁻⁰⁴	4,17E ⁻⁰²	6,82E ⁻⁰²	1,10E ⁻⁰¹
Etilbenzeno	C	1,76E ⁻¹⁰	1,03E ⁻⁰⁸	1,11E ⁻⁰⁷	1,14E ⁻⁰⁷	2,36E ⁻⁰⁷
	NC	2,54E ⁻⁰⁶	1,49E ⁻⁰⁴	3,63E ⁻⁰³	3,75E ⁻⁰³	7,53E ⁻⁰³
Xilenos	NC	3,92E ⁻⁰⁴	2,20E ⁻⁰²	3,21E ⁻⁰²	3,26E ⁻⁰²	8,71E ⁻⁰²
Risco Cumulativo no Cenário	C	1,30E ⁻⁰⁸	7,40E ⁻⁰⁷	4,10E ⁻⁰⁶	1,37E⁻⁰⁵	-
	NC	2,38E ⁻⁰³	1,35E ⁻⁰¹	7,30E ⁻⁰¹	2,33	-

Legenda: (-) Não é calculado risco; (C) Carcinogênico; (NC) Não Carcinogênico; (**negrito**)- risco acima dos níveis admissíveis considerados pela CETESB.

Analisando as Tabelas acima foi possível verificar que os resultados obtidos da avaliação de risco indicaram que em todos os cenários, para todas as vias de exposição, o benzeno foi à única substância que gerou risco à saúde dos receptores. Conforme pode ser verificado também, nenhum receptor apresentou risco à saúde pelas seguintes exposições: inalação em ambientes abertos na fonte e fora da mesma e inalação em ambientes fechados fora da fonte de contaminação.

O condomínio residencial apresentou risco carcinogênico (isolado e cumulativo) pela inalação do benzeno em ambientes fechados na área fonte de contaminação para adultos e crianças, apresentou risco carcinogênico e não carcinogênico para crianças e adultos por contato dérmico com o benzeno na água subterrânea na área fonte de contaminação. O risco carcinogênico pelo contato dérmico na fonte foi maior para os adultos que para as crianças, por conta da maior área de contato do corpo de um adulto em comparação ao de uma criança. Já o risco não carcinogênico foi maior para crianças.

Todos os receptores apresentaram risco carcinogênico e não carcinogênico para a ingestão da água subterrânea na área fonte de contaminação. Esse resultado é atribuído a altas concentrações de benzeno na água. O receptor que apresentou o risco mais alto para efeitos carcinogênicos por ingestão de água na fonte foram os adultos do condomínio, seguido pelo risco para crianças e trabalhadores civis. Um dos motivos para o risco carcinogênico para ingestão ser maior em adulto do que em crianças é porque a CETESB considera a taxa de ingestão diária de água maior para adultos. Já o risco não carcinogênico de ingestão foi maior para crianças, por conta do tempo médio para efeitos não carcinogênicos ser menor para crianças.

Fora da fonte de contaminação foi identificado risco carcinogênico por contato dérmico com a água subterrânea apenas para adultos e risco carcinogênico de ingestão da água tanto para crianças como para adultos por conta do benzeno. Além disso, foi identificado risco não carcinogênico para crianças por ingestão de água.

Após a análise dos resultados obtidos da avaliação de risco verificou-se que o uso residencial na área seria prejudicial à saúde da população, sendo necessário medidas de intervenção na área a fim de evitar danos a saúde dos moradores do condomínio. Os resultados também demonstraram que durante a execução das obras haverá risco para ingestão da água subterrânea para os operários.

É importante ressaltar que houve limitações na avaliação de risco devido à insuficiência de dados nos estudos ambientais. Para uma avaliação de risco mais precisa seria necessário um número maior de amostras geotécnicas para representar toda a área avaliada nesse estudo. Também se recomenda a instalação de poços multiníveis a fim de determinar a pluma vertical de contaminação com maior precisão.

CONCLUSÕES

Para a avaliação de risco feita nesse projeto foram usados dados reais disponibilizados por empresa de consultoria, porém o cenário avaliado foi hipotético uma vez que a área foco não apresenta uso atual. Com a coleta e a avaliação dos dados identificou-se que a pluma de contaminação vertical delimitada não era representativa da área, bem como os dados geotécnicos. Porém para esse estudo de caso hipotético esses dados não comprometeram o projeto. No entanto, deve-se enfatizar que para o estudo de avaliação de risco de uma área o indicado seria ter um maior número de amostragem ambiental o que diminuiria a incerteza dos resultados.

Os resultados desse estudo indicaram que a contaminação da área foi devida a presença de posto de combustível, pois foi confirmada a contaminação de benzeno em 04 poços de monitoramento instalado próximo ao limite da área foco com o posto de combustível e no centro da área de interesse. Detectou-se também xileno em 01 dos poços próximo ao posto de combustível. Além disso, a área apresentou concentrações de tolueno e etilbenzeno na água abaixo dos valores orientadores.

Nesse estudo foi empregada a planilha da CETESB para quantificar os riscos. Nela foi possível identificar que o benzeno foi a principal substância geradora dos riscos a saúde. A partir do levantamento dos dados, verificou-se que os parâmetros físico-químicos e toxicológicos utilizados pelas planilhas da CETESB para os BTEX são coerentes com a literatura técnica. Deste modo, acredita-se que as planilhas podem ser usadas como base de dados.

Em relação ao estudo de caso, o cenário do condomínio residencial apresentou risco à saúde dos moradores via inalação em ambientes fechados na área fonte de contaminação, para crianças e adultos, contato dérmico na fonte para crianças e adultos, e fora da fonte apenas para adultos, e ingestão de água na fonte e fora da fonte, para ambos. A respeito dos riscos para os funcionários civis foi identificado risco apenas para ingestão de água na fonte.

Conclui-se que é necessário um plano de intervenção para gerenciar a contaminação na área e reduzir os riscos em um futuro uso na área, além disso, seria interessante que a população não tivesse acesso à água subterrânea da área, por conta das elevadas concentrações de benzeno.

O presente estudo comprovou, portanto, que a contaminação de um posto de combustível pode apresentar risco à saúde humana dependendo do uso dado da área do entorno e também da via exposição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). Interaction Profile For Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX)- Appendix C Tables. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, 2004. Disponível em <<http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/pha/LaytonvilleLandfill032205-CA/appendicesC-F.pdf>> Último acesso em 27/10/2013.
2. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). Letter Health Consultation. Arizona, 2009. Disponível em <http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/pha/Kinder-MorganFacility/Kinder_Morgan_Facility3-24-2009.pdf> Último acesso em 25/09/2013.
3. AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). Toxicological profile for ethylbenzene. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta, 2010. Disponível em <<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp110.pdf>> Último acesso em 26/09/2013.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Passivo ambiental em solo e água subterrânea- ABNT NBR 15515-1. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental- ABNT NBR 15492. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares – Parte 1: Projeto e Construção – ABNT NBR 15495-1. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares – Parte 2: Desenvolvimento – ABNT NBR 15495-2. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento — Métodos de purga – ABNT NBR 15847. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS (ABNT). Passivo ambiental em solo e água subterrânea – Parte 2: Investigação Confirmatória – ABNT NBR 15515-2. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
10. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Manual de gerenciamento de áreas contaminadas. São Paulo, 2001. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/manual.asp> Último acesso em 08/03/2013.
11. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Decisão de Diretoria CETESB Nº 195-2005- E, de 23/11/2005- Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências. São Paulo, 2005.
12. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Decisão de Diretoria Nº 103/2007/C/E, de 22/07/2007- Dispõe sobre o procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas. São Paulo, 2007.
13. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Decisão de Diretoria CETESB Nº 263/2009/P - Dispõe sobre a aprovação do Roteiro para Execução de Investigação Detalhada e Elaboração de Plano de Intervenção em Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis. São Paulo, 2009.
14. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Texto Explicativo: Relação de áreas contaminadas e reabilitadas no Estado de São Paulo. São Paulo, 2012. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/areas-contaminadas/2012/texto-explicativo.pdf> > Último acesso em 21/10/2013.
15. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Decisão de Diretoria 045/2014/E/C/1, de 20-02-2014. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2014, em substituição aos Valores Orientadores de 2005 e dá outras providências. Diário Oficial, São Paulo, 21 de fevereiro de 2014, seção I, p. 53.
16. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC). Agents classified by IARC monographs. Volume 1-108. 2013. Disponível em <<http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsAlphaOrder.pdf>> Último acesso em 27/10/2013.
17. INTEGRATED RISK INFORMATION SYSTEM (IRIS). Benzene (CASRN 71-43-2). Estados Unidos, 2003. Disponível em <<http://www.epa.gov/iris/subst/0276.htm> > Último acesso em 25/09/2013.
18. MARONA, Hérica Regina Nunes; SALGADO, Paulo Eduardo de Toledo. Informações Gerais e Ecotoxicológicas de Solventes Clorados. Centro de Recursos Ambientais (CRA). Caderno de Referencia Ambiental, Volume 15. Salvador, 2004.
19. OFFICE OF ENVIRONMENTAL HEALTH HAZARD ASSESSMENT (OEHHA). Cancer Potency Values. California Environmental Protection Agency. California, 2009. Disponível em <<http://oehha.ca.gov/risk/pdf/TCDBcas061809.pdf> > Último acesso em 27/10/2013.
20. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS). Volume 1: Human Health Evaluation Manual. Estados Unidos, 1989. Disponível em: <<http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsa/index.htm>> Último acesso em 21/03/2013.
21. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Toxicological Review of Toluene. Washington, 2005a. Disponível em: <<http://www.epa.gov/iris/toxreviews/0118tr.pdf> > Último acesso em 27/10/2013.
22. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Reregistration Eligibility Decision for Xylene. Estados Unidos, 2005b. Disponível <http://www.epa.gov/oppsrrd1/REDs/xylene_red.pdf> Último acesso em 25/09/2013