

# AVALIAÇÃO DE BTEX EM POÇOS TUBULARES DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO NAS PROXIMIDADES DE UM POSTO DE COMBUSTÍVEL DE BELÉM – PARÁ – BRASIL.

**Dra. Hebe Morganne Campos Ribeiro**

Professora Adjunto IV do Curso de engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Pará

**Glauby do Rego Bezerra**

Aluno do curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Pará

**Abstract:** *Environmental issues have become increasingly important to society, due to the accelerated development that creates constant problems of pollution. According CETESB (2004), the leakage of petroleum fuels in the ground lead to contamination of groundwater by toxic compounds, especially the BTEX present in significant amounts in gasoline and diesel. Knowing the requirements is required by environmental agencies, this study aims to evaluate the aromatic hydrocarbons in water from wells near a gas station, located on the highway Augusto Montenegro, in Green Park neighborhood in Bethlehem - PA. We conducted detailed literature about the topic and data collection in local public bodies (Municipal Environment, prosecutors and other) information that generated the level of concentration of BTEX in eight monitoring wells in the area of study in January 2009, compared with the laws in force in the country. Confirming the origin of the environmental impact and therefore, the risks of exposure to the population around the dealer position, because the water is unfit for the various household uses*

**Palavras-chave:** BTEX, water, benzene

## 1. INTRODUÇÃO

As questões ambientais estão se tornando cada vez mais importantes para a sociedade, em função do desenvolvimento acelerado que gera problemas constantes de poluição. Um dos problemas ambientais que preocupa atualmente é a gama de contaminantes que, em virtude de atividades antrópicas mal planejadas, ocasionam os mais diversos tipos de impactos ambientais e riscos aos seres vivos.

Inserida neste contexto, as preocupações relacionadas ao potencial de contaminação de solos e águas subterrâneas por compostos orgânicos voláteis tem sido destaque nas últimas décadas, principalmente em função da frequência com que episódios de contaminação são verificados e da gravidade com que o meio ambiente é afetado.

Em geral, as águas subterrâneas são potáveis e dispensam tratamento prévio, pois os processos de filtração e depuração do subsolo promovem a purificação da água durante a sua percolação no meio, tornando-se uma fonte potencial de água de boa qualidade e baixo custo, podendo sua exploração ser realizada em áreas rurais e urbanas (OLIVEIRA & LOUREIRO, 1998).

A qualidade das águas subterrâneas deve ser preservada, daí a crescente preocupação com a sua contaminação. Entre as principais fontes de contaminação do solo e das águas subterrâneas podem-se citar os vazamentos em dutos e tanques de armazenamentos subterrâneos de combustível em postos de distribuição favorecidos pelo envelhecimento dos tanques de estocagem (TIBURTIUS *et al*, 2005).

Incidentes que contaminam o meio ambiente vêm demonstrando que a contaminação por petróleo e seus derivados é frequente. Destes derivados de petróleo, a gasolina merece destaque, devido à grande quantidade comercializada e a alta toxicidade de vários de seus componentes. No Brasil este problema com a gasolina acentua-se, pois a maioria dos tanques de armazenamento de combustíveis foi construída na década de 70, e como a vida média destes tanques é estimada em 25 anos, pode-se esperar um aumento da ocorrência de vazamentos nos postos do país (CORSEUIL & MARINS, 1997).

Os postos de combustíveis, mais concentrados nas zonas urbanas das cidades, são um importante causador da poluição dos recursos hídricos nas proximidades de um posto de combustível subterrâneos. Em um derramamento de gasolina, umas das principais preocupações é a contaminação de aquíferos que sejam utilizados para o abastecimento de consumo humano. Após atingir a água subterrânea os contaminantes, derivados do petróleo, são transportados como fase dissolvida e podem atingir os rios e as captações, através de poços rasos e profundos.

A fração aromática da gasolina constituída por benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) é considerada de maior interesse pelas Agências Reguladoras porque esses compostos são relativamente solúveis, tóxicos e comprometem a saúde humana e são os que primeiro atingem o lençol freático, pois são os constituintes que possuem maior solubilidade em água (CORSEUIL; ALVEREZ, 1996). O benzeno é considerado carcinogênico e o tolueno e os xilenos são considerados tóxicos sistêmicos (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

Segundo dados da Petrobrás o consumo de gasolina e óleo diesel no Brasil vem crescendo a uma taxa de 5 a 10% ao ano e conforme dados da Agência Nacional do Petróleo (ANP), em 2007 existiam 35.017 postos de combustíveis autorizados no Brasil (ANP, 2008). Isto indica que, se em média cada posto possui sessenta mil litros de combustível armazenados em tanques subterrâneos, havia aproximadamente dois bilhões e dez mil litros armazenados em subsuperfície.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

No Estado do Pará, existem 1.128 postos de combustíveis cadastrados na ANP, que podem ser uma grande ameaça ao solo e a água subterrânea, porque muitos deles possuem tanques subterrâneos com mais de 20 anos de uso (ANP, 2008).

Um estudo no município de Belém verificou que 34% dos tanques encontram -se com idade superior à recomendada para a utilização e, ainda, que 83% dos tanques possuem equipamentos de detecção de baixa precisão e/ou ausência dos dispositivos de contenção de vazamentos (SERQUEIRA et al., 2002).

Uma vez ocorrido o vazamento de hidrocarbonetos de petróleo a partir de um TASC, as características físico-químicas destes contaminantes, bem como a sua interação com o material geológico, serão fatores determinantes para o seu comportamento no meio impactado (FETTER 1994; LAGREGA et al., 1994).

Desta forma, sabendo-se das exigências requisitadas pelos órgãos ambientais este estudo visa avaliar os hidrocarbonetos mono aromático em água de poços nas proximidades de um posto de combustível em Belém do Pará.

## 3. REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1. PETRÓLEO

A *American Society for Testing and Materials*, ASTM, define o petróleo como "uma substância de ocorrência natural, consistindo predominantemente de hidrocarbonetos e derivados orgânicos sulfurados, nitrogenados e/ou oxigenados, a qual é, ou pode ser removida da terra no estado líquido. Está comumente acompanhado de compostos tais como água, matéria inorgânica e gases" (PEDROZO et al., 2002).

Segundo Thomas (2004), o petróleo é originado a partir da decomposição da matéria orgânica proveniente principalmente de organismos aquáticos que constituem o plâncton. Essa matéria orgânica depositada no fundo de lagos e mares juntamente com sedimentos trazidos por rios, quando submetidos a altas pressões e temperaturas ao longo do tempo, formam o petróleo.

O estado físico do petróleo varia desde gases voláteis até sólidos, dependendo da formação geológica do terreno de onde foi extraído, da constituição da matéria orgânica que lhe deu origem e da intensidade do processo térmico atuante sobre essa matéria orgânica (ADÃO, 2004; THOMAS, 2004). No estado líquido, o petróleo é uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água, com cheiro característico e cor variando entre o negro e o castanho-claro (THOMAS, 2004).

O petróleo é constituído por uma mistura complexa de hidrocarbonetos (compostos orgânicos formados por carbono e hidrogênio) e, em proporções menores, de compostos oxigenados, nitrogenados, sulfurados e metais pesados (ADÃO, 2004).

#### 3.1.1 Composição Química do Petróleo

Na composição química do petróleo encontram-se diversos compostos orgânicos, os quais podem ser separados em classes distintas em função da sua estrutura molecular, destacando-se: hidrocarbonetos alifáticos (saturados e insaturados), hidrocarbonetos aromáticos e compostos polares - NSO (PETERS, 1993).

#### a Hidrocarbonetos Alifáticos

**a.1 Hidrocarbonetos Saturados** - Os hidrocarbonetos saturados possuem ligações simples entre seus átomos de carbono, sendo os compostos mais abundantes no petróleo. Podem ser classificados em alcanos normais, ramificados e cíclicos (TISSOT, 1978;).

**a.2 Hidrocarbonetos Insaturados** - Os hidrocarbonetos insaturados contêm um número menor de hidrogênio por átomos de carbono, quando comparado aos *n*-alcanos. Possuem ligações duplas ou triplas entre seus átomos de carbono e são quimicamente instáveis, podendo ser encontrados no petróleo, por exemplo, na forma de *n*-hexeno, *n*-hepteno e *n*-octeno (TISSOT, 1978).

**a.3 Hidrocarbonetos Aromáticos** - Os hidrocarbonetos aromáticos são formados por moléculas, cuja estrutura é fechada na forma de anel, possuindo ligações simples e duplas intermitentes entre seus átomos de carbono.

A molécula mais simples desses hidrocarbonetos é o benzeno, a qual pode conter uma ramificação alquila e ser conhecida como tolueno, ou ainda duas ramificações e ser denominada xileno. Esses compostos são voláteis e de baixo peso molecular, genericamente chamado de BTEX.

Hidrocarbonetos aromáticos formados pela fusão de dois ou mais anéis benzênicos são denominados hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA). No petróleo, compostos com até quatro anéis benzênicos são os mais abundantes (TISSOT, 1978), conhecidos como: naftaleno (dois anéis); fenantreno, antraceno, fluoreno e dibenzotiofeno (3 anéis); pireno, benzo(a)antraceno e criseno (4 anéis).

Os BTEX e HPA podem ser os compostos contidos no petróleo mais tóxicos à biota e ao homem, tornando importante a sua identificação no meio ambiente contaminado (COOKSON, 1995).

**a.4 - Compostos NOS** - Os compostos orgânicos polares são constituídos não apenas por átomos de carbono e hidrogênio, mas também por heteroátomos de nitrogênio (N), enxofre (S) e oxigênio (O). O nitrogênio e o oxigênio provêm de precursores biológicos, entretanto, os átomos de enxofre são raros em substâncias biológicas e sua procedência está associada a reações químicas de compostos sulfurosos inorgânicos (TISSOT, 1978).

### 3.1.2 Gasolina

A gasolina é geralmente representada em avaliações ambientais pelos hidrocarbonetos aromáticos denominados BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), característicos das faixas C6 a C8. Para o diesel, analogia semelhante se faz em relação aos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, sendo considerados como principais compostos o antraceno, benzo(a)pireno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno, benzo(k)fluoranteno, indeno(1.2.3)pireno, criseno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno e naftaleno (KOLENISKOVA, 2006).

A composição da gasolina pode ser extremamente variável, dependendo da origem e do tipo de petróleo que a gerou, dos processos utilizados no refino e da existência ou não de aditivos que são adicionados para melhorar a octanagem da mistura. Esses compostos oxigenados, utilizados como aditivos, são éteres ou álcoois que não têm origem no petróleo. Esta adição de aditivos só aumenta a toxicidade dos agentes poluentes (VALENTIN, 2006).

A gasolina comercializada no Brasil é uma mistura de 76% de gasolina e 24% de etanol (BRASIL, 1998). A adição de etanol ocorre no momento em que a gasolina é introduzida no momento em que esta é colocada no caminhão tanque para ser levada aos postos revendedores. O percentual de álcool anidro adicionado à gasolina é controlado pelo governo federal, enquanto que os aditivos dependem de cada revendedor, variando o número de poluentes que dependem da fonte distribuidora do combustível (CORSEUIL, 1997).

### 3.1.3 BTEX

A sigla BTEX refere-se ao grupo de hidrocarbonetos aromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (meta+para+orto). Tais compostos são comumente encontrados na gasolina, portanto sua origem remonta do petróleo.

Segundo Piceli (2005), o benzeno ou anel benzênico é considerado o composto fundamental de seus derivados (tolueno, etilbenzeno e xilenos), que possuem o hidrogênio do anel do benzeno substituído por grupos metil (-CH<sub>3</sub>) ou etil (-CH<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>).

O benzeno, tolueno, etilbenzeno, o-xileno, m-xileno, p-xileno têm destaque no grupo dos compostos orgânicos voláteis (COV) em virtude dos seus graus de toxicidade, exercendo efeitos ao homem e ao meio ambiente (PICELI, 2005).

Possuem características de volatilidade e solubilidade que potencializam os efeitos negativos de uma contaminação por gasolina. Isto porque são tóxicos e biodisponíveis. Portanto, em situações de

contaminação por petróleo e derivados, notadamente por gasolina, os BTEX são os de maior importância para monitoramento.

Diante do exposto, vê-se a necessidade de uma abordagem mais profunda sobre os BTEX: desde sua origem, até suas propriedades e seu comportamento e toxicidade em contaminações.

### 3.1.3.1 Toxicologia dos compostos BTEX

Estudos com animais e com o homem demonstraram a rápida absorção dos compostos BTEX pela via pulmonar, com índices de retenção para o homem entre 30 a 80%. Os BTEX sofrem modificações dentro do organismo, ou seja, o organismo apresenta um conjunto de reações catalisadas por enzimas, conhecido como biotransformação, responsável pela conversão das substâncias lipossolúveis em hidrossolúveis, facilitando, assim, sua eliminação.

A biotransformação destes compostos pode resultar tanto em produtos menos tóxicos que o precursor, como em produtos responsáveis pela ação tóxica como os intermediários da biotransformação do benzeno (PEDROZO *et al.*, 2002).

O benzeno é tóxico quando introduzido no organismo por qualquer via, porém, a intoxicação comumente ocorre por inalação dos vapores, seguida pelas vias: oral e dérmica (MENDES, 1993).

Estudos ao longo dos anos evidenciaram que o benzeno é um composto carcinogênico tanto para humanos como para animais. Os mecanismos de ação tóxica do benzeno ainda não estão totalmente esclarecidos, embora haja fortes evidências que relacionem seus efeitos à sua biotransformação, com a formação dos seus principais metabólitos: fenol, catecol, muconaldeído e hidroquinona. Muitas pesquisas laboratoriais com animais e estudos epidemiológicos em humanos mostraram a relação causal entre a exposição ao benzeno e a ocorrência de doenças como a leucemia linfóide, leucemia mielomonocítica, neoplasmas hematológicos, desordens sanguíneas, como a pré-leucemia e anemia apática. Além destas doenças, experimentos com animais comprovaram o aumento do risco de tumores em múltiplas espécies, em múltiplos órgãos (fígado, estômago, pulmões, ovários, e glândulas mamárias), desordens mentais, psiconeuróticas e de personalidade. É provável que estas respostas ocorram devido a interações dos produtos metabólicos do benzeno com o DNA.

Observa-se também, ligeiros transtornos digestivos e, no caso das mulheres, existem transtornos da menstruação. Uma exposição aguda por inalação ou ingestão pode causar até mesmo a morte de uma pessoa (PEDROZO *et al.*, 2002; MELLO *et al.*, 2006; TIBURTIUS *et al.*, 2004; MENDES, 1993).

O tolueno é um contaminante ambiental comum, encontrado em muitos locais de despejo de resíduos. Este é um depressor do sistema nervoso central e, mesmo em baixas concentrações, produz fadiga, fraqueza e confusão mental. A exposição pode irritar os olhos, nariz e garganta. A ingestão pode causar irritação da boca e faringe, vômitos, dores abdominais e diarreia. Secundariamente aos vômitos podem ocorrer manifestações de tosse, sufocação, broncoespasmo e cianose. Na inalação de seus vapores observa-se: estado de euforia, instabilidade emocional, incoordenação muscular, cefaléia, vertigens, náuseas e vômitos. Após esta fase inicial o intoxicado apresenta uma irritabilidade acentuada, cefaléia, náuseas e astenia. A exposição prolongada pode causar ressecamento e rachadura da pele, perda de apetite, náusea e danos aos rins e fígado, podendo causar danos ao cérebro (PEDROZO *et al.*, 2002; TIBURTIUS *et al.*, 2004).

A exposição ao xileno resulta no aparecimento de cefaléia, transtornos da visão, diminuição da coordenação, irritação no nariz e garganta; também pode causar dores de cabeça, náuseas e vômitos, além do cansaço e danos ao estômago. Os riscos à saúde por efeitos agudos podem ocorrer imediatamente ou pouco tempo após a exposição a xilenos. Nas exposições crônicas os sinais e sintomas mais importantes compreendem anemia moderada, cefaléia, anorexia, estado de fadiga, náuseas e hemorragia na mucosa nasal. Altos níveis podem causar tonteiras, delírios, desmaios e até a morte (PEDROZO *et al.*, 2002; TIBURTIUS *et al.*, 2004).

Os riscos à saúde, devido à exposição aguda a etilbenzeno, são tonteiras, delírios, dores de cabeça e vômito, convulsões, coma e/ou morte. Também pode irritar os olhos, nariz e garganta. Os efeitos podem ocorrer algum tempo após a exposição ao etilbenzeno e podem permanecer por meses ou anos. A exposição repetida pode causar riscos à vida (PEDROZO *et al.*, 2002).

## 3.2 - ÁGUA

A água é um recurso finito e vulnerável, essencial para sustentar a vida. A escassez e o mau uso deste recurso são fatores de crescente risco ao desenvolvimento sustentável e à proteção do meio ambiente. A água atua como um veículo de desenvolvimento e possui valor econômico em todos os usos competitivos e deve ser reconhecida como tal (SOUZA et al, 2004).

De acordo com Mota (2003), a poluição hídrica tem diversas consequências negativas para o meio ambiente. Estas consequências podem ser de caráter sanitário, ecológico, social ou econômico, tais como:

- Prejuízos ao abastecimento humano, tornando-se veículos de doenças;
- Prejuízos a outros usos da água, tais como: industrial, irrigação, pesca, etc.;
- Agravamento dos problemas de escassez de água de boa qualidade;
- Elevação do custo do tratamento da água;
- Assoreamento dos mananciais, resultando em inundações;
- Desequilíbrios ecológicos, causando danos aos peixes e organismos aquáticos;
- Proliferação excessiva de vegetação aquática e de algas;
- Degradação da paisagem;
- Impactos sobre a qualidade de vida da população.

### 3.2.1 Contaminação de Águas por Hidrocarbonetos de Petróleo

A preocupação com eventos de contaminação ambiental por compostos derivados de petróleo é devida à inclusão de compostos tóxicos e solúveis em água como os hidrocarbonetos monoaromáticos, que são o benzeno, o tolueno e o xileno. Estas substâncias têm alto potencial poluidor, elevada toxicidade e todos são depressores do sistema nervoso central (CORSEUIL, 1997).

### 3.2.2 Biodegradação dos Hidrocarbonetos

A biodegradação dos hidrocarbonetos em subsuperfície ocorre através da ação de microorganismos nativos (fungos e bactérias), que os transformam em compostos menos tóxicos e reduzem sua massa em subsuperfície. Ela depende de fatores como: pH, temperatura, umidade, nutrientes, aeração, composição química do contaminante, concentração e toxicidade do contaminante, densidade microbiana, salinidade, presença de aceptores e capacidade metabólica dos microorganismos (BAESSA, 2007).

Na biodegradação dos hidrocarbonetos ocorre essencialmente uma reação de oxirredução, em que o hidrocarboneto é oxidado (doa elétrons) e um receptor elétrico é reduzido (recebe elétrons) (MOREIRA, 2005).

Nas reações em condições aeróbicas, o oxigênio (O<sub>2</sub>) atua como receptor de elétrons, enquanto que, em reações anaeróbicas, os receptores podem ser o nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), o manganês (Mn<sup>4+</sup>), o ferro (Fe<sup>3+</sup>) e o sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). A biodegradação por via aeróbica pode ser representada pela seguinte reação.

**doador+receptor+microorganismos+nutrientes → CO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O+microorganismos+produtos residuais ou intermediários**

Apesar de estas reações serem termodinamicamente mais favoráveis, as concentrações de oxigênio tendem a diminuir, podendo chegar à zero em função do aumento da população de microorganismos e, conseqüentemente, do aumento da sua taxa de respiração (DUARTE, 2003).

Após isso, iniciam-se as reações de degradação mediadas por microorganismos facultativos e anaeróbicos sob baixa tensão ou mesmo ausência de O<sub>2</sub>.

Nos ambientes anóxicos, a seqüência de reações depende dos microorganismos presentes, do pH e do potencial redox (BAESSA, 2007):

**redução de nitrato > redução de  $Mn^{4+}$  > redução de  $Fe^{3+}$  > redução de sulfato > metanogênese.**

### **3.3 - AQUÍFEROS FREÁTICOS**

Diante da realidade de escassez de água potável, a água subterrânea passou a merecer especial atenção como fonte de água para consumo humano. A qualidade da água subterrânea, devido ao processo natural de filtragem que ocorre no subsolo e à sua proteção da ação antrópica pelo subsolo, é superior à qualidade das águas retiradas de rios, lagos e represas após os processos artificiais de tratamento.

As águas subterrâneas estão presentes em aquíferos constituídos por formações geológicas formadas por rochas porosas e permeáveis, que permitem tanto o armazenamento, como o movimento das águas. Os aquíferos podem se apresentar tanto próximos, quanto distantes da superfície; quanto mais profundos, mais preservada a água neles contidas.

Com relação à profundidade os aquíferos se dividem em livres e confinados. Já com relação ao material saturado, os aquíferos se dividem em porosos, fissurados (ou fraturados) e aquíferos cársticos.

O aquífero livre é uma formação geológica permeável e superficial que se apresenta limitado em sua base por uma camada impermeável. O nível da água destes aquíferos varia diretamente com a intensidade das chuvas. Os poços furados em aquíferos livres apresentam o nível da água correspondente ao nível do aquífero, pois a água está com a mesma pressão que a pressão atmosférica. O nível da água é designado então de nível freático. É o aquífero mais superficial, portanto, o mais sujeito à contaminação.

Já o aquífero confinado é constituído por camadas permeáveis, confinadas entre duas outras camadas impermeáveis ou semipermeáveis. Os aquíferos confinados formam-se em locais onde ocorrem rochas sedimentares (bacias sedimentares). A sua recarga é feita através das chuvas, principalmente em locais onde a formação geológica que o constitui aflora à superfície. A pressão nestes aquíferos, devido ao peso das camadas confinantes sobrejacentes, pode causar artesianismo, ou seja, as águas dos poços subirem acima do teto do aquífero.

As águas subterrâneas, mesmo isoladas da superfície por camadas geológicas, são frequentemente contaminadas nos grandes centros urbanos, devido ao aumento populacional urbano desordenado, através de ocupações sem saneamento em áreas de mananciais de rios e lagos, falta de tratamento de esgotos, construções inapropriadas de depósitos de lixo e vários outros resíduos, inclusive cemitérios, e, ainda, instalações de postos de combustíveis sem o devido cuidado com vazamentos. São os vazamentos de combustíveis, o mais frequente dos problemas ambientais que atingem a subsuperfície e os aquíferos ali presentes (TEIXEIRA, 2009).

Os lençóis de águas subterrâneas próximos à superfície são os mais sujeitos à ação de agentes contaminantes. No entanto, como mostra a figura 01, o poço que atinge o aquífero próximo à superfície construído sem revestimento (poço A na figura 01) leva a contaminação do aquífero mais superficial para o mais profundo (captado pelo poço B na figura). Uma vez que a pluma de contaminação alcance os aquíferos, livre ou confinado, ela pode se estender a quilômetros de distância de onde foi formada. A preservação da água subterrânea (e do solo) torna-se, portanto, imprescindível.

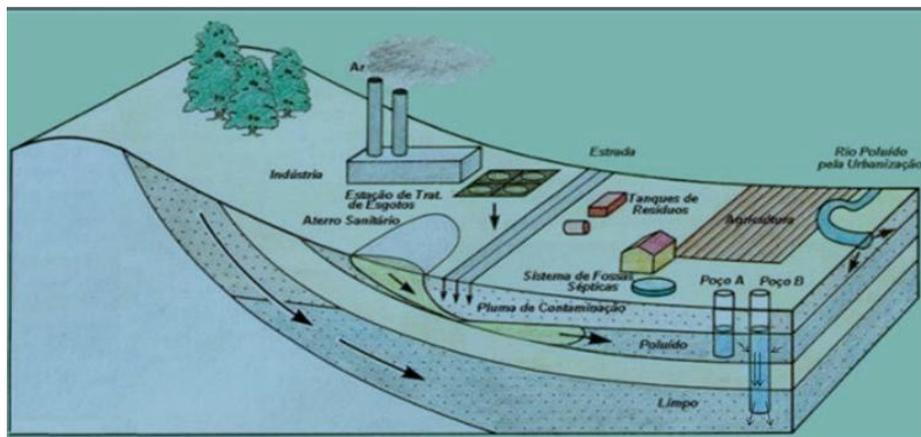


Figura 01 - Contaminação do aquífero livre passando para o aquífero confinado através de poço mal revestido. Fonte: UNESCO (1992).

Considerando-se as águas subterrâneas como um grande sistema intercomunicante, onde a circulação das águas ocorre em diferentes aquíferos, é fundamental para o aproveitamento deste conhecimento, neste estudo, o reconhecimento das partes mais sensíveis deste sistema, em relação às perspectivas de utilização deste importante recurso, bem como do risco de contaminação daquelas águas, o que deve ser evitado a todo custo, seja por questões de proteção ambiental, seja por preservação de um bem comum.

### 3.3.1 Vulnerabilidade dos Aquíferos

O termo vulnerabilidade dos aquíferos é definido como a facilidade ao risco da introdução e propagação de contaminantes, desde a superfície do terreno até o aquífero (ALBINET & MARGAT, 1970).

As seguintes variáveis são utilizadas na determinação da vulnerabilidade dos aquíferos: características da zona de recarga, certas propriedades dos solos e rochas (porosidade, transmissividade, condutividade hidráulica etc.), propriedades das zonas não saturada e saturada, tipo de relevo, relações entre águas subterrâneas e superficiais e a natureza da unidade aquífera (MATTA, 2004).

A disponibilidade dos contaminantes próximo dos aquíferos pode ser inevitável, p.ex., tanques de postos de combustível próximos do lençol freático. Dos fatores apresentados, o único que pode ser modificado é o que se refere à facilidade com que os contaminantes poderão acessar as águas subterrâneas. No caso do armazenamento de combustíveis, p.ex., os sistemas de proteção exigidos por lei (Resolução CONAMA 273/2000) devem ser exigidos pelo órgão ambiental competente.

### 3.3.2 Fases de Contaminação

A análise da migração e dispersão de contaminantes provenientes de derramamentos de hidrocarbonetos em subsuperfície é complexa, no entanto, durante sua migração, o hidrocarboneto passa por quatro fases de contaminação.

Normalmente, um vazamento de combustível em um tanque de abastecimento promove diferentes fases de contaminação.

#### 3.3.2.1 Fase residual

A fase residual, também denominada de fase adsorvida ou retida, ocorre em consequência da descida vertical dos hidrocarbonetos. Ela é caracterizada pela retenção do contaminante na superfície dos grãos ou interstícios do corpo geológico, devido a processos de sorção, adsorção química, absorção e ligações fracas.

Nesta fase, o contaminante pode ser encontrado tanto na zona não saturada como na saturada. As flutuações verticais do nível de água subterrânea provocam um espalhamento do produto, podendo criar fase residual em áreas distantes de onde ocorreu o vazamento. Nesta fase, a resistividade do solo tende a aumentar, principalmente em solos argilosos e se a contaminação é recente. No entanto, devido à biodegradação dos hidrocarbonetos em ambiente óxido serem rápida, pode ocorrer à formação de ácidos orgânicos e a lixiviação de sais, o que diminui consideravelmente o contraste elétrico (AZAMBUJA et al., 2000).

### 3.3.2.2 Fase livre

Na fase livre ou móvel, o NAPL deposita-se nos poros das camadas geológicas, ficando sobrenadante à franja capilar. Segundo Sauck (2000), metade dos vazios do solo são ocupados por hidrocarbonetos, já os outro metade são ocupados por água e ar. O deslocamento da fase livre é tanto vertical como horizontal, seguindo as flutuações naturais do nível d'água. A advecção é o processo predominante na formação e mobilização da fase livre dos hidrocarbonetos.

Com relação às características geoeletricas, nesta fase o hidrocarboneto costuma ter contraste resistivo significativo com o background, em especial em solos argilosos (AZAMBUJA et al., 2000).

### 3.3.2.3 Fase dissolvida

A fase dissolvida é caracterizada pela solubilização dos hidrocarbonetos na água subterrânea. A solubilidade dos hidrocarbonetos depende de seus constituintes.

No caso da gasolina brasileira, a solubilidade é aumentada em função da adição do etanol. Esta fase é mais importante para fluidos menos viscosos como a gasolina. A difusão molecular é o principal processo formador da fase dissolvida, responsável pela maior mobilidade dos contaminantes.

Com relação às características geoeletricas, nesta fase não ocorre alteração significativa na resistividade do solo.

### 3.3.2.4 Fase vaporizada

É caracterizada pela presença da fase gasosa dos componentes voláteis dos combustíveis, ocupando os vazios do solo ou das rochas, sendo mais importante para os hidrocarbonetos de menor ponto de vaporização, como os que compõem a gasolina.

## 3.4 - POSTOS DE COMBUSTÍVEIS

Todos os equipamentos e sistemas desse tipo de empreendimento configuram-se como potencialmente ou parcialmente poluidores e geradores de acidentes ambientais, devendo estar em conformidade com as normas técnicas da ABNT referentes a posto de serviço:

- NBR 13.788 – Proteção catódica para sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC). Março/1997.
- NBR 13.787 – Proteção de estoque dos sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC) nos postos de serviço. Março/1997.
- NBR 13.785 – Construção de tanque atmosférico subterrâneo em aço-carbono de parede dupla metálica ou não-metálica. Março/1997.
- NBR 13.784 – Detecção de vazamento. Março/1997.
- NBR 13.783 – Instalação hidráulica de tanque atmosférico subterrâneo em postos de serviço. Março/1997.
- NBR 13.782 – Sistema de proteção externa para tanque atmosférico subterrâneo em aço-carbono. Junho/2001.
- NBR 13.781 – Manuseio e instalação de tanque subterrâneo de combustíveis. Junho/2001.
- NBR 13.786 – Seleção de equipamentos e sistemas para instalações subterrâneas de combustíveis. Agosto/2001.
- NBR 13.212 – Tanque atmosférico subterrâneo em resina termofixa, reforçada com fibra de vidro de parede simples ou dupla. Agosto/2001.

A melhor solução é a prevenção contra vazamentos, para isso recomenda-se que sejam tomadas algumas medidas que forneçam resultados efetivos em relação à segurança.

Os tanques armazenadores subterrâneos devem possuir compartimentos como (por exemplo, alvenaria) que permita o acesso para instalação e manutenção preventiva dos mesmos. É importante ser colocado pavimento impermeável nos postos e canaletas perimetrais para separação do combustível.

No ano de 2000, com a edição da Resolução nº 273, do CONAMA, o Brasil deu um passo decisivo em relação às contaminações ambientais provocadas por vazamentos subterrâneos de derivados de petróleo. Essa lei considera que: toda instalação e sistemas de armazenamento de derivados de petróleo e outros combustíveis podem causar contaminação de corpos d'água subterrâneos e superficiais, do solo e do ar; a ocorrência de vazamentos vem aumentando significativamente nos últimos anos em função da manutenção inadequada ou insuficiente, da obsolescência do sistema e equipamentos e da falta de treinamento de

pessoal; há ausência e/ou uso inadequado de sistemas confiáveis para a detecção de vazamento; há riscos de incêndio e explosões decorrentes desses vazamentos, principalmente pelo fato que parte desses estabelecimentos encontra-se localizado em áreas densamente povoadas.

#### **3.4.1 Tanques de Armazenamento Subterrâneos de Combustíveis**

Segundo CETESB (2004), os tanques convencionais de armazenamento de combustível, fabricados com aço-carbono, possuem parede única simples e são sujeitos aos efeitos da corrosão. Os principais fatores que influenciam o processo de corrosão estão relacionados com o pH, a umidade e a salinidade do solo onde os tanques estão enterrados. As corrosões a partir da parte interna dos tanques subterrâneos estão normalmente relacionadas aos componentes do produto comercializado, como é o caso do óleo diesel com altos teores de enxofre, que facilita a degradação das chapas metálicas, sendo que a oxidação tenderá a ser mais intensa na parte vazia dos tanques, pela presença de oxigênio.

Atualmente, existem tanques de parede dupla, também denominados tanques jaquetados, os quais representam um grande avanço no controle de vazamentos. A maioria desses tanques é construída com dois materiais distintos, sendo que a parede interna, a exemplo do modelo convencional, é construída com aço-carbono, enquanto a parede externa é construída com uma resina termofixa, não sujeita à corrosão, a qual fica em contato direto com o solo. O monitoramento intersticial é outro fator importante. Este sistema consiste num sensor especialmente instalado, com pressão negativa, no espaço intersticial das duas paredes do tanque.

Tem-se, ainda, os respiros, que são linhas, em parte subterrâneas e em parte aéreas, individuais de cada tanque de armazenamento e, quase sempre, estão localizadas acima da cobertura do estabelecimento ou junto às paredes ou aos muros de divisa, e são pontos também sujeitos a extravasamentos de combustíveis durante as operações de descarga do produto, quando do excessivo enchimento dos tanques. Como a manutenção das linhas dos respiros, nem sempre é tão rigorosa quanto nas demais linhas do sistema de armazenamento do estabelecimento, podem ocorrer perdas do produto por furos ou pelas suas conexões, sendo que os eventuais vazamentos podem ser visualmente detectados pela impregnação, com o produto, das tubulações ou da coluna da cobertura do estabelecimento.

A contaminação de solos e águas subterrâneas causada pelos postos de serviço é, na grande maioria dos casos, provocada por vazamentos em tanques e tubulações subterrâneas ou constantes e sucessivos extravasamentos junto às bombas e bocais de enchimento.

### **4 - METODOLOGIA**

O presente trabalho compreendeu as seguintes etapas: levantamento bibliográfico, coleta de dados e análise de dados.

#### **4.1 - LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO**

Nesta etapa foram realizadas pesquisas e consultas bibliográficas a cerca do tema escolhido e da área de estudo, que vieram a contribuir na estrutura teórica do trabalho e no desenvolvimento das etapas subsequentes.

O levantamento de dados foi realizado mediante consultas bibliográficas realizadas nas bibliotecas da Universidade do Estado do Pará, Universidade Federal do Pará, Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA-PA), Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA-Belém), Ministério Público do Estado do Pará (MP-PA) e em sites da internet. Foram utilizados artigos técnicos e científicos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses de doutorado, bem como legislações ambientais, normas da ABNT, resoluções CONAMA e portaria do Ministério da Saúde.

#### **4.2 – COLETA**

##### **4.2 - COLETA DE DADOS**

- ✓ Visita *in loco* para a escolha da área de estudo;
- ✓ Entrevistas informais com moradores da área de estudo;
- ✓ Levantamentos de dados nos órgãos públicos, principalmente SEMMA e Ministério Público;
- ✓ Levantamentos de dados para caracterização da área de estudo

#### **4.3 - ANÁLISE DOS DADOS**

##### **4.3.1 Primeiro passo: Dados das análises coletadas**

Os dados coletados foram analisados e tratados de forma que se mantivesse a fidelidade da resposta do parecer técnico da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (DCA/SEMMA). Dados este fornecidos pelo Ministério Público do Pará (MP-PA).

Diante dos dados adquiridos junto ao Ministério público, montou-se a base de dados em planilha do Microsoft Excel 2007, na qual se inseriu toda a informação coletada sobre as amostras de BTEX localizadas próximo ao posto de combustível.



## 5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises para determinação das concentrações de BTEX em amostras dos poços de monitoramento e poços tubulares (artesianos) de residências evidenciaram a pluma de contaminação, oriunda do posto estudado, no sentido do fluxo da água subterrânea.

A tabela 01 apresenta as concentrações limites para os compostos aromáticos (BTEX) de acordo com a portaria 518 do Ministério da Saúde e CONAMA 396 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

**Tabela 01 – Limites dos compostos BTEX permitidos por lei.**

Compostos constituintes do BTEX	Limites permitidos pelo Ministério da Saúde ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Limites permitidos pelo CONAMA 396 ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )
Benzeno	5	10
Tolueno	170	24
Etilbenzeno	200	200
Xilenos	300	300

Fonte: Brasil, 2005 e MMA, 2010 (Adaptado).

No mês de janeiro de 2009 foi realizado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA), coleta de amostras de água subterrânea em 8 poços tubulares de abastecimento das residências do entorno do posto revendedor, localizado na rodovia Augusto Montenegro, km 5 - bairro parque verde. As amostras foram analisadas pela CEIMIC ANÁLISES AMBIENTAIS na cidade de São Paulo.

### 5.1 - BENZENO

A análise para o benzeno, o composto mono aromático que possui característica mais tóxica que os demais, devido seu potencial carcinogênico e mutagênico. Segundo MAIA & TANCREDI (2004), esse composto indica uma elevada mobilidade, podendo atingir áreas distante da fonte de contaminação.

As concentrações de benzeno estão acima do permitido pelas legislações, tanto do Ministério da Saúde (portaria 518) quanto do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA 396), por apresentarem valores bem elevados nas amostras de seis poços de monitoramento conforme a figura 04 abaixo. O poço de monitoramento 07 apresentou em sua amostra o valor 957  $\mu\text{g/L}$  de benzeno, cerca; de 191 vezes o valor máximo permitido pelo Ministério da Saúde (5  $\mu\text{g/L}$ ) e de 96 vezes o valor máximo permitido pela resolução CONAMA 396 (10  $\mu\text{g/L}$ ).

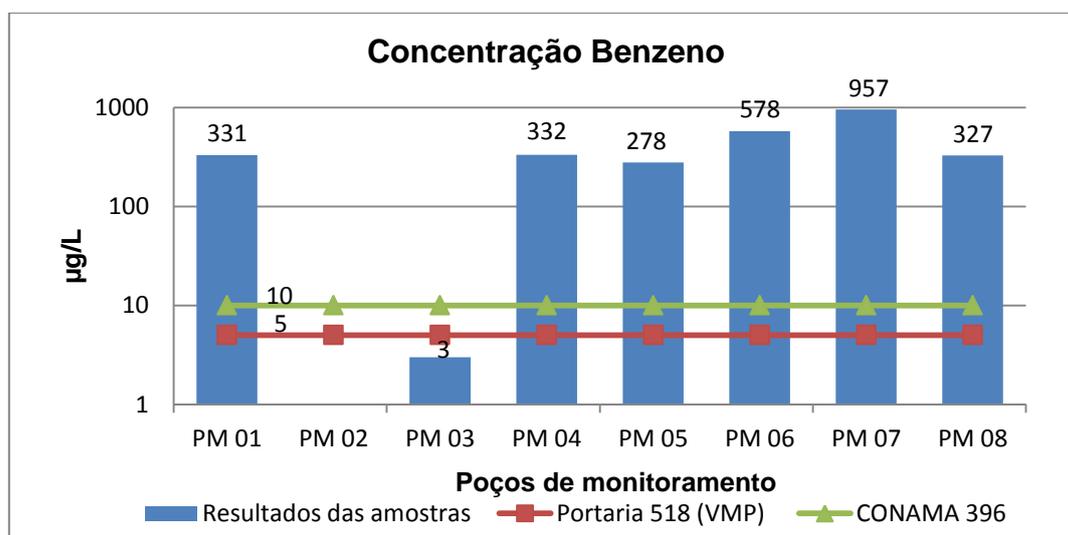


Figura 04 – Comparação da concentração de benzeno com as legislações.

Fonte: SEMMA, 2009 e CEIMIC, 2009 (Adaptado) Fonte: SEMMA, 2009 e CEIMIC, 2009 (Adaptado)

## 5.2 – Tolueno

A análise para o tolueno mostrado na figura 05 apresenta valores elevados em seis poços de monitoramento, ou seja, níveis de contaminação bem acima do permitido pelas legislações (Ministério da Saúde e CONAMA 396). Também conforme o teor de benzeno, amostra do poço de monitoramento 07 foi o que apresentou maior valor (3765 µg/L de tolueno), cerca: de 18 vezes o valor máximo permitido pelo Ministério da Saúde (170 µg/L) e 156 vezes o máximo permitido pelo CONAMA 396 (24 µg/L).

O tolueno é um contaminante ambiental, depressor do sistema nervoso central e, mesmo em baixas concentrações, produz fadiga, fraqueza e confusão mental.

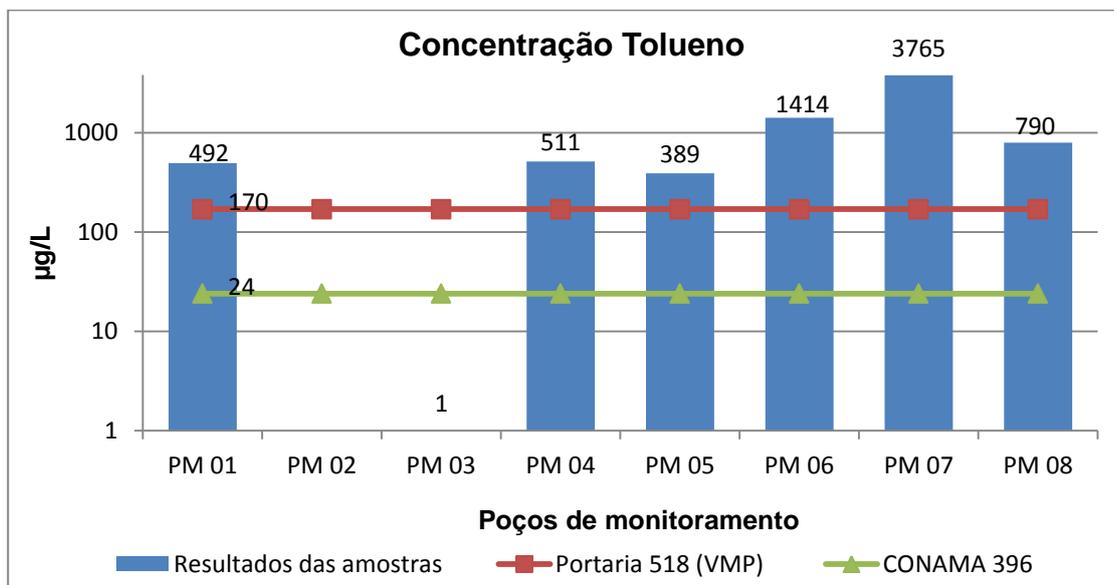


Figura 05 – Comparação da concentração de tolueno com as legislações.  
Fonte: SEMMA, 2009 e CEIMIC, 2009 (Adaptado)

## 5.3 – Etilbenzeno

A análise para etilbenzeno mostrado conforme a figura 06 apresenta concentração de 491 µg/L de etilbenzeno. Valor este que se encontra acima do permitido pela legislação tanto do Ministério da Saúde quanto do CONAMA 396 (ambas permitem 200 µg/L) apenas em uma amostra do poço de monitoramento 07, isso corresponde a 2,8 vezes o valor acima do padrão determinados pela legislação.

Os riscos à saúde, devido à exposição aguda a etilbenzeno, são tonteiras, delírios, dores de cabeça e vômito, convulsões, coma e/ou morte. Também pode irritar os olhos, nariz e garganta. Os efeitos podem ocorrer algum tempo após a exposição do mesmo e podem permanecer por meses ou anos.

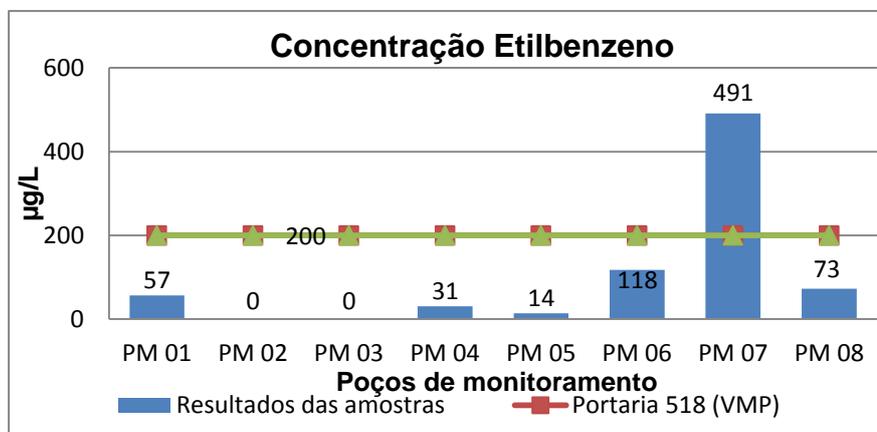


Figura 06 – Comparação da concentração de etilbenzeno com as legislações.  
Fonte: SEMMA, 2009 e CEIMIC, 2009 (Adaptado).

#### 5.4 – Meta,para-Xilenos

Os isômeros m,p-xilenos apresentaram valores de concentração acima do permitido pela legislações tanto do Ministério da saúde quanto resolução CONAMA 396 que é de 300 µg/L m,p-xilenos. Conforme a figura 07 pode-se verificar que 6 (seis) amostras de poços de monitoramento estão contaminadas e comprovam a justificativa acima. No poço de monitoramento 07 assim como os demais parâmetros, foi o que apresentou valor mais elevado comparado com as legislações, cerca 11 vezes mais do que o permitido para xilenos.

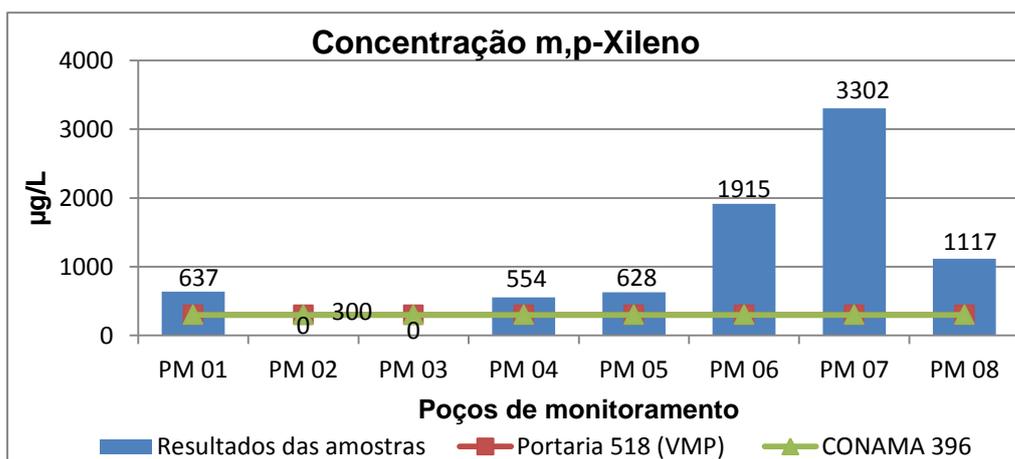


Figura 07 – Comparação da concentração de meta, para-xilenos com as legislações.  
Fonte: SEMMA, 2009 e CEIMIC, 2009 (Adaptado).

#### 5.5 – Orto-Xileno

A figura 08 comprova que em 8 (oito) amostras de poços de monitoramento analisados, 6 (seis) amostras apresentavam valores acima do permitido pelo Ministério da Saúde e pela resolução CONAMA 396. O poço de monitoramento 07 novamente estava com um valor bem superior estabelecido pelas legislações brasileiras, ou seja, elevado nível de contaminação com valor de 1406 µg/L de o-xileno, sendo que o máximo seria 300 µg/L de o-xileno, cerca: de 4,7 vezes o permitido para o mesmo composto.

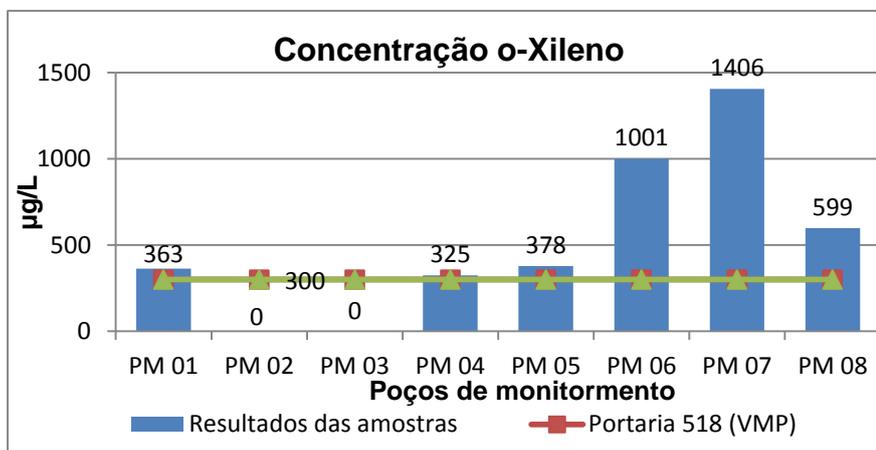


Figura 08 – Comparação da concentração de orto-xileno com as legislações. Fonte: SEMMA, 2009 e CEIMIC, 2009 (Adaptado).

### 5.6 – Xileno total

O conjunto de xilenos (meta-para e orto) forma o xileno total. Os valores vão continuar acima dos padrões estabelecidos pelas legislações (MS e CONAMA), portanto, com uma diferença considerável em relação às legislações, proporcionado pela soma dos xilenos(m-p +o). Diante desse quadro, os poços de monitoramento terão as mesmas características dos xilenos anteriores, 6 (seis) poços acima do permitido e poço de monitoramento 07 com uma diferença ainda maior cerca: de 15 vezes maior do que o permitido xileno, conforme a figura 09.

A exposição ao xileno resulta no aparecimento de cefaléia, transtornos da visão, diminuição da coordenação, irritação no nariz e garganta; também pode causar dores de cabeça, náuseas e vômitos, além do cansaço e danos ao estômago.

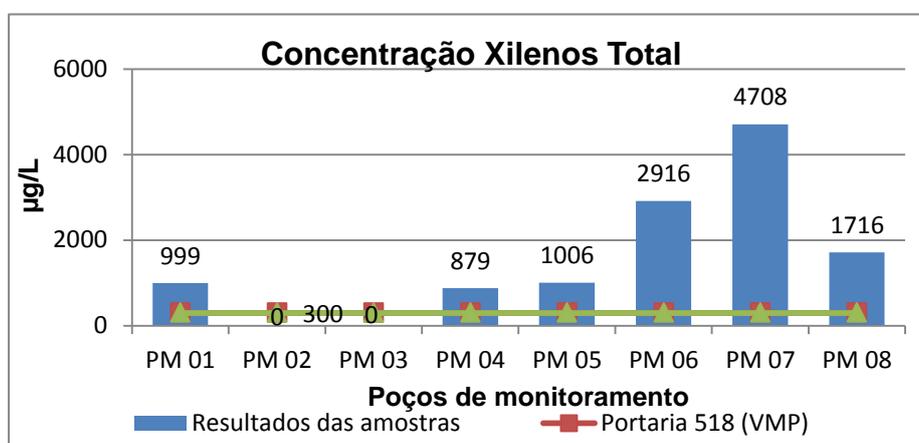


Figura 09 – Comparação da concentração de xileno total com as legislações. Fonte: SEMMA, 2009 e CEIMIC, 2009 (Adaptado).

O conjunto de compostos: benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) de 6 (seis) poços de monitoramento que estão fora dos padrões para consumo humano estabelecidos pela portaria 518 de 2004 do Ministério da Saúde e resolução CONAMA 396 de 2008, de acordo com anexo II, estão impróprias para os usos preponderantes (consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação) podem ser visualizados conforme a figura 10. Portanto o aquífero encontra-se poluído e contaminado, provocados por vazamentos de tanques subterrâneos de combustível (TSC) do posto revendedor.

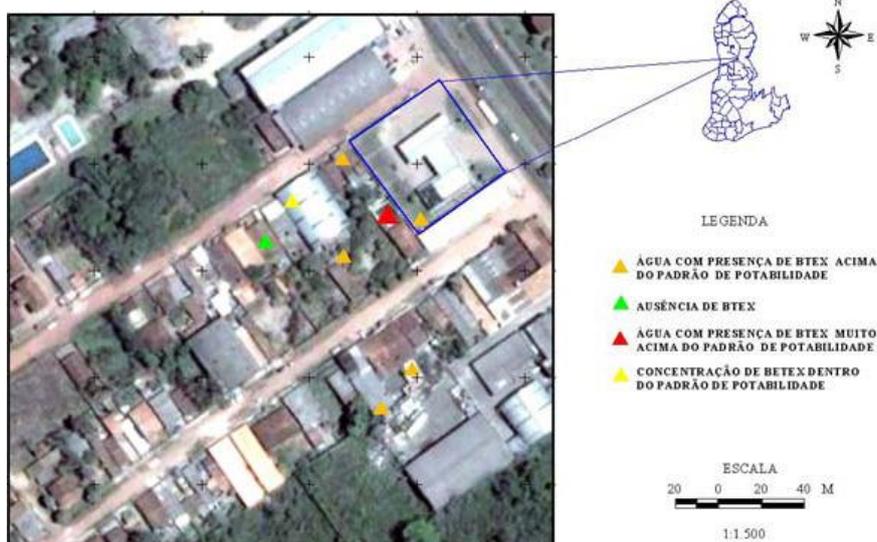


Figura 10 – localização dos níveis de BTEX nos poços de monitoramento.

Fonte: REIS JÚNIOR, 2009.

Segundo ainda esta pesquisa, não foram encontrados hidrocarbonetos de petróleo em fase livre, no entanto foi identificada a presença de pluma de fase dissolvida de BTEX, pois o posto revendedor encontra-se com suas atividades suspensas pelo órgão ambiental responsável a aproximadamente dois anos.

A área do entorno do PR, constituída em sua quase totalidade por unidades residências abastecidas por poços tubulares com profundidade média de 12,0 metros, em razão da precariedade no abastecimento da Companhia de Saneamento do Pará – COSANPA, apresenta elevada contaminação da água por BTEX.

Diante do problema de contaminação da área, os moradores denunciaram em 2007 o caso ao Ministério Público do Pará que solicitou providências do órgão ambiental local para efetuar a investigação ambiental preliminar (IAP) que ocorreu somente em 2009. Neste período de investigação o Instituto de Criminalística do Pará não apresentou nenhum resultado de análise.

A carência de infraestrutura da região norte do país de realizar análises de orgânicos (laboratórios existentes), bem como de técnicos capacitados para esta tarefa, pode ocorrer problemas relacionados à demora para diagnosticar possíveis contaminações, além de não expressar o valor inicial das concentrações em tempo real, dificultando para tomada de decisão eficiente e eficaz para conter o vazamento rapidamente.

Ocorreu à demora para realização das análises específica de hidrocarbonetos. Este fato se deve principalmente na dificuldade de encontrar laboratórios que realizem análises de orgânicos no estado do Pará, pois na época o LABOHI-UEPA estava com o laboratório em obras.

Atualmente, o PR encontra-se fechado. Além disso, os responsáveis estão fornecendo água mineral e enchendo as caixas d' água das residências atingidas pela contaminação da área ao entorno do posto de combustíveis em estudo, verificado através da visita *in loco* e conversas informais com moradores.

## 6 - CONCLUSÃO

Os poços de monitoramento da área de estudo apresentam valores extremamente elevados de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos em 6 (seis) amostras de água retiradas da área ao redor do Posto Revendedor de Combustíveis (PRC), bem acima do permitido para potabilidade, segundo a portaria 518 do Ministério da Saúde, de 25 de março de 2004.

Segundo o anexo II da Resolução CONAMA nº 396 de 03 de abril de 2008, que: dispõem sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências, estão fora dos padrões de qualquer classe, pois para as classes 1 e 2 deviam estar obrigatoriamente ausentes e para as classes 3 e 4 apresentam níveis de concentrações de BTEX fora dos padrões estabelecidos pela mesma.

As águas subterrâneas fornecidas pelos poços tubulares com profundidade média de 12,0 m localizados nas residências, assim como o poço tubular localizado no PRC da pesquisa apresentam-se contaminadas, e, portanto impróprias para o consumo dessas áreas, pois oferece riscos eminente a saúde humana.

A água está inadequada para o consumo humano e para outros usos preponderantes, pois pode oferecer risco ao desenvolvimento de doenças do sistema nervoso central ou leucemia e doenças sistêmicas (devido à elevada concentração de BTEX dissolvido).

## 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBINET, M. & MARGAT, J. 1970. **Cartographie de la vulnérabilité a la pollution des napes d'eau souterraine**. Bull BRGM 2me Series: 3 (4): 13-22.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Postos de serviços revendedores. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>> Acesso em: 8 de fev. de 2010.

AZAMBUJA, E.; COSTA, A.F.U.; NANNI, A.S.; SCHMIDT, A.. **O emprego da prospecção geofísica na avaliação de plumas, de contaminação por hidrocarbonetos**. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

BAESSA, Marcus Paulus Martins. **Assinaturas geoeletricas em área contaminada por hidrocarboneto no pólo industrial de Cubatão - SP**. *Rev. Bras. Geof.* [online]. 2007, vol.25, n.4, pp. 462-462. ISSN 0102-261X.

BRASIL. Leis (1998). **Decreto n. 2.607 de 28 de maio de 1998**. Dispõe sobre a adição de álcool etílico anidro combustível à gasolina. *Lex: Coletânea de Legislação e Jurisprudência*, São Paulo, v. 62, p. 1.965.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria MS n.º 518/2004**. Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005.

CETESB (2004) - **COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL**. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: abr 2010.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Emergências químicas: estatística – postos revendedores**. 2007. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/estatisticas/revenda.asp>>. Acesso em: mar 2010.

CORSEUIL, H. X.; MARINS, M. D. M. Contaminação de águas subterrâneas por derramamentos de gasolina: o problema é grave?. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental** 1997; v 2; nº 2; p. 50-54.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), **Resolução CONAMA nº 396/2008**. Brasília, 2005.  
Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 10 fev. 2010.

COOKSON, T. (1995) **Bioremediation Engineering: Design and Application**. McGraw- Hill Inc, New York, 525p.

CORSEUIL, H. X.; MARINS, M. D. M. Contaminação de águas subterrâneas por derramamentos de gasolina: o problema é grave?. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental** 1997; v 2; nº 2; p. 50-54.

DUARTE, K. S. **Avaliação do risco relacionado à contaminação dos solos por hidrocarbonetos no Distrito Federal**. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil. Distrito Federal. 259p. 2003.

FETTER, C. W. Jr. Applied Hydrogeology. **Macmillan Publishing Co**, 1994, 3rd Edition, p. 691.

KOLENISKOVA, C. **Avaliação de Risco Toxicológico para hidrocarbonetos totais de petróleo em forma fracionada aplicada gestão e monitoramento de água subterrânea em um complexo industrial**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2006; p. 266.

LAGREGA, M. D. *et al*; BUCKINGHAM, P. L.; EVANS, J. C. 1994. Hazardous waste management. **McGraw-Hill**, Inc. USA. P. 1146.

MAIA, André Luiz Silva; TANCREDI, Nicola Saverio Holanda. **Contaminação por derivados de petróleo de posto de combustível com o suporte da ferramenta SIG (Sistema de Informação Geográfica): O caso do Residencial Olimpus – Belém/Pará**. 2004. Trabalho de conclusão de curso em engenharia ambiental – Universidade do Estado do Pará, Belém, 2004.

MATTA, M. A. da S. 2004. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da Região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil**. Belém. (Tese Doutorado) Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. 292p.

MENDES, R. Exposição ocupacional ao benzeno e seus efeitos sobre a saúde dos trabalhadores. **Revista da Associação Médica do Brasil**, v. 39, p. 249-256, 1993.

MOREIRA, C. A. **Aplicação do método eletromagnético transiente em área contaminada sob atenuação natural**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP, 2005. 161 f.

OLIVEIRA, L. I; LOUREIRO, C. O. 1998. Contaminação de aquíferos por combustíveis orgânicos em Belo Horizonte: Avaliação preliminar. **X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 21 Abril 2000.**

OLIVEIRA, L. S. **Influência do solo contaminado com petróleo na morfologia e fisiologia de Schinus terebinthifolius Raddi (Anacardiaceae)**. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

PEDROZO, M. F. M.; BARBOSA, E. M.; CORSEUIL, H. X.; SCHNEIDER, M. R.; LINHARES, M. M. **Ecotoxicologia e Avaliação de Risco do Petróleo**. Salvador: Centro de Recursos Ambientais, Governo da Bahia, Secretaria do Planejamento, Ciência e Tecnologia, Salvador, 2002. p. 229.

PETERS, K. E., Moldowan, J. M. (1993) **The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossil in Petroleum and Ancient Sediments**. Prentice Hall, New Jersey, 361p.

PICELI, Paulo Cezar. 2005. **Quantificação de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos no ar de ambientes ocupacionais**. 2005. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2005.

SAUCK, W. A. **A model for the resistivity structure of LNAPL plumes and their environs in sandy sediments**. Journal of Applied Geophysics, v. 44, p. 151-165, 2000.

SEICOM. 1995. **Plano diretor de mineração em áreas urbanas: região metropolitana de Belém e adjacências**. [S.l.:s.n.].211 p.

SERQUEIRA, W.; ANJOS, G. C. dos; SOUZA, E. L. de, Avaliação Preliminar dos Riscos potenciais de Contaminação das Águas Subterrâneas por Postos de Combustíveis do Município de Belém (PA). **XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2002.

SOUZA, A. L.; MELLO, C. F.; CARDOSO, C. L.; BARBAS, V. J. L. e SOUZA, A. S. **Uso Racional e Sustentável da Água na Aqüicultura**, 2004. Capítulo 3, p. 55.

TEIXEIRA, R. M. **Postos de combustíveis - contaminação de aquíferos e solos por vazamento em tanques subterrâneos**. Disponível: <http://www.cenedcursos.com.br/postos-de-combustiveis-contaminacao-de-aquiferos.html> Acesso em 16 de agosto de 2009.

THOMAS, J. E. **Fundamentos da engenharia do petróleo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2004.

TIBURTIUS, E. R. L.; ZAMORA, P. P.; EMMEL, A.; LEAL, E. S. **Degradação de BTXS via processos oxidativos avançados**, 2005. *Quim. Nova*, v. 28, nº 1, p. 61-64.

TIBURTIUS, E. R. L.; ZAMORA, P. P.; LEAL, E. S. Contaminação de águas por BTXs e processos utilizados na remediação de sítios contaminados. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 441-446, 2004.

VALENTIN, Leonardo Antonio. **Boas práticas de laboratório**: aplicação para avaliar o impacto ambiental causado pelo derrame de derivados de petróleo. 2006. 111 f. (Mestrado em Química analítica) - Universidade de São Paulo, (São Carlos), 2006.