

Estudo de caso sobre contaminação do solo e água subterrânea por benzeno na região de Barueri (SP)

Case study about contamination
of soil and groundwater for benzene in
the region of Barueri (SP)

Andressa Calza¹

Prof. Dr. Herlander Mata-Lima²

Profa. Dra. Roseli Frederigi Benassi¹

¹ UFABC, andressa.calza@ufabc.edu.br

² Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA)

Submetido em 10/03/2015

Revisado em 01/04/2015

Aprovado em 05/05/2015

Resumo: Este artigo apresenta um estudo de caso referente à caracterização e remediação de solo contaminado por benzeno num posto de abastecimento de combustível localizado em área urbana. A metodologia aplicada incluiu a caracterização da área envolvente no que concerne à ocupação e uso do solo, a realização de poços para coleta de amostras de solo e água e monitoramento da evolução da pluma de concentração do benzeno dissolvido na água. Detectaram-se concentrações de benzeno acima dos valores de referência em três (3) dos treze (13) poços implantados na área, razão pela qual estabeleceu-se um plano de intervenção que consistiu na aplicação da tecnologia *Multi Phase Extraction* (MPE) para reduzir a concentração do benzeno a nível aceitável de acordo com a regulamentação vigente.

Palavras chave: Benzeno. Contaminação. Remediação. Solo.

Abstract: This article presents a case study on characterization and remediation of soil contaminated with benzene in a petrol station located in urban area. The methodological procedure included the characterization of the surrounding area with respect to land use, implementation of wells to collect soil and water samples, and monitoring of the evolution of the concentration of benzene dissolved in water. Benzene concentrations were detected above the reference values in three (3) of the thirteen (13) wells established in the area, which lead to the establishment of a contingency plan that consisted in application of Multi Phase Extraction (MPE) technology to reduce the concentration of benzene at acceptable level in accordance with the current regulation.

Keywords: Benzene. Contamination. Remediation. Soil.

Introdução

A contaminação do solo está entre os mais graves problemas ambientais presente no meio urbano (ISLAM et al., 2015), designadamente em áreas onde prevalecem atividades industriais (SCHNEIDER et al., 2006). A contaminação do solo está geralmente associada a uma das seguintes situações: (1) áreas de disposição de resíduos sólidos (urbanos e industriais), (2) lagoas de tratamento de efluentes industriais, (3) disposição de esgoto, (4) disposição de resíduos radioativos, (5) atividades agrícolas, (6) vazamento de petróleo e derivados, e (7) rejeitos de atividades mineradoras (ANTONIO; GEORGINA, 2014, LAGO; ELIS; GIACHETTI, 2006). A dispersão dos poluentes resultantes das situações supramencionadas depende essencialmente de agentes externos como água (precipitação-escoamento) e vento e as propriedades intrínsecas do solo, tais como a porosidade e permeabilidade que influenciam a infiltração e percolação no subsolo (TIEYU et al., 2015).

A gravidade dos problemas de contaminação do solo varia em função do tipo de contaminante (orgânico ou inorgânico) e das características biofísicas da área e, por conseguinte, do tipo de ocupação e uso do solo (e.g. residencial, comercial ou industrial) e da existência de conexão com reservatórios de água subterrânea. Grande parte dos impactos da contaminação do solo em áreas urbanas se manifesta na saúde (JENNINGS, 2013) e nas funções biológica e propriedades físico-químicas do solo (ISLAM et al. 2015).

Dentre os contaminantes orgânicos mais frequentes destacam-se o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno – BTEX (JENNINGS, 2013). O benzeno (C_6H_6) está entre os mais nocivos visto que é um potencial carcinogênico de lenta degradação e rápida evaporação (ANTONIO; GEORGINA, 2014). Em condições normais de temperatura e pressão, o benzeno é um líquido incolor, volátil, com odor característico de hidrocarbonetos aromáticos, ponto de ebulição relativamente baixo ($80,1^\circ C$) e uma alta pressão de vapor, o que ocasiona uma rápida evaporação à temperatura ambiente. É altamente inflamável e pouco solúvel em água, mas

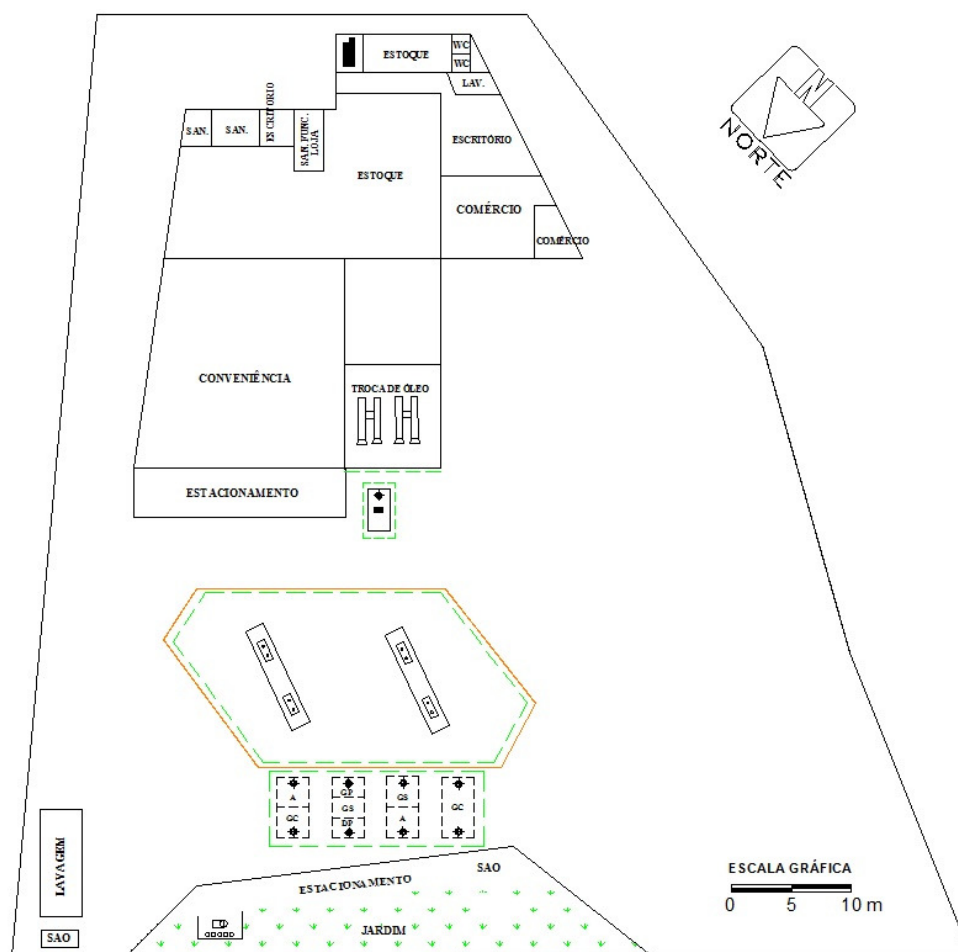
miscível com a maioria dos outros solventes orgânicos. Comercialmente, é conhecido como benzol, que é uma mistura de benzeno com outros hidrocarbonetos aromáticos, como tolueno e xileno. A liberação do benzeno no ambiente urbano resulta geralmente de emissões industriais referentes às siderurgias, indústrias do petróleo; indústrias petroquímicas, laboratórios de análise química, postos de gasolina, exaustão e abastecimento de veículos, oficinas de automóveis e outras atividades que usam gasolina como solvente (TIEYU et al., 2014, BRASIL, 1993, 2003). A exposição humana ao benzeno se dá principalmente pelo ar, sendo a via inalatória a responsável por 98 a 99 % da quantidade de benzeno presente no corpo humano (SOUZA et al., 2011). O estudo de caso considerado neste trabalho integra dados sobre as características do solo, da água subterrânea, do contaminante, o tipo de ocupação e uso do solo, assim como método de investigação para determinar medidas de intervenção no caso de um vazamento de combustível no meio urbano.

Materiais e Métodos

Área de Estudo

O caso estudado corresponde a um posto de combustíveis (**figura 1**) localizado na região de Barueri na qual se constatou, durante a reforma do posto, forte odor de combustível.

Figura 1. Representação esquemática da área estudada



Caracterização do entorno

De acordo com o procedimento para investigação, foi feita a caracterização do uso e ocupação do solo no local, através do caminhamento em um raio de 200 m a partir dos limites da área de interesse. Além de observar o uso e a ocupação do solo, foram verificadas também outras possíveis fontes potenciais de contaminação no entorno. A região onde está localizado o posto estudado é caracterizada pela presença de estabelecimentos comerciais e alguns edifícios residenciais. Durante a vistoria, não foi constatada a existência de poços para captação de água subterrânea.

Segundo a NBR-13786/2005 o local é classificado como Classe 2, devido à existência de edifícios comerciais e residenciais com mais de 4 andares, conforme indica a **tabela 1**.

Tabela 1. Classificação dos postos de serviço conforme o entorno (NBR 13.786/2005)

Classe 0
Quando não possuir nenhum dos fatores de agravamento das classes seguintes
Classe 1
Rede de drenagem de águas pluviais
Rede subterrânea de serviços (água, esgoto, energia elétrica, etc)
Fossa em áreas urbanas
Edifício multifamiliar, até quatro andares
Classe 2
Asilo
Creche
Edifício multifamiliar, com mais de quatro andares
Favela, em cota igual ou superior à do posto
Edifício de escritórios comerciais, com quatro ou mais andares
Poço de água, artesiano ou não, para consumo doméstico
Casa de espetáculos ou templo
Escola
Hospital
Classe 3
Favela em cota inferior a do posto
Metrô em cota inferior à do solo
Garagem residencial ou comercial construída em cota inferior à do solo
Túnel construído em cota inferior à do solo
Edificação residencial, comercial ou industrial, construída em cota inferior à do solo
Atividades industriais ou operações de risco ¹
Água do subsolo utilizada para consumo público da cidade (independentemente do perímetro de 100 m)
Empreendimentos localizados em região que contenha formação geológica cárstica
Corpos naturais superficiais de água, bem como formadores, destinados a:
a) Abastecimento doméstico
b) Proteção das comunidades aquáticas
c) Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho)
d) Irrigação
e) Criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana (CONAMA n ° 20)
¹ Entende-se como atividades e operações de risco o armazenamento e manuseio de explosivos, bem como locais de carga e descarga de líquidos inflamáveis (base e terminal).

A abordagem do problema se desenvolveu em duas fases: (1) na primeira fase foi realizada uma pesquisa para caracterizar espacialmente a dispersão do

contaminante (benzeno) no solo e água subterrânea; (2) na segunda fase instalou-se um equipamento de Remediação do tipo *Multi Phase Extraction* (MPE).

Descrição dos Métodos

Esta pesquisa se baseia nos dados que resultaram da coleta em campo e laudos laboratoriais (definição do método na **tabela 2**), conforme abaixo descrito. Os dados obtidos em campo, assim como as medições rotineiras, advêm de levantamentos realizados durante a perfuração e instalação dos poços e ao longo de todo o processo de avaliação e remediação, englobando: (1) análise visual e reconhecimento do solo para definição de condutividade hidráulica; (2) coleta de amostras de água e solo para análise química; e (3) monitoramento da profundidade da água subterrânea para elaboração do mapa potenciométrico. Saliente-se que o método empregado respeitou a legislação vigente: Decisão de Diretoria 103 (CETESB, 2007) e Decisão de Diretoria 263 (CETESB, 2009) que exige a emissão de laudos laboratoriais para amostragens decorrentes da construção de poços ou outra forma de monitoramento das subcamadas de solo, assim como as demais normas técnicas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Tabela 2. Relação do parâmetro estudado e o respectivo método analítico

PARÂMETRO	MÉTODO	REFERÊNCIA
Benzeno	8260C	USEPA (United States Environmental Protection Agency)

Os mapas de isoconcentração do benzeno – indicam a dispersão espacial da pluma de concentração dos poluentes (**figura 4**) – foram elaborados em AutoCad e comparados, em intervalos de 6 meses, durante o período de remediação do solo. Os mapas são feitos com base nos resultados das análises químicas realizadas a cada nova amostragem, demonstrando assim a diminuição da pluma de concentração e a eficácia do sistema de remediação adotada. Para resultados de análises indicando níveis de concentração de benzeno acima de valores de

referência, como se verificou neste estudo, deve ser realizado um plano de intervenção respeitando as seguintes etapas:

- i. avaliação do tipo de medidas de intervenção a serem adotadas;

As seguintes ações foram estabelecidas: (a) determinação de concentrações máximas aceitáveis (CMA) no ponto de exposição levando em consideração os cenários resultantes da caracterização do entorno; (b) seleção de padrões legais aplicáveis (PLA) em função dos cenários de exposição (existência de posto de abastecimento). Uma vez identificada a necessidade de adoção de medidas de intervenção a área é classificada como Área Contaminada (AC).

- ii. descrição das medidas de intervenção a serem adotadas, assim como o método de remediação. Saliente-se que a medida de intervenção é determinada pelo Responsável Técnico do projeto e deve constar do plano de intervenção;
- iii. estabelecimento do plano de intervenção.

Para realizar a investigação detalhada e o plano de intervenção, foram executadas sequencialmente as seguintes etapas:

Etapas 1 – Sondagem, perfuração e instalação de poços

Sondagem e Instalação de 13 poços de monitoramento (PM-01 a PM-13), para detalhamento horizontal, e 5 Poços Multinível (PMN-01 a PMN-05) para detalhamento vertical. A alocação dos poços de monitoramento (**PM**) foi feita mediante o estudo dos possíveis focos de vazamento, tais como tanques, bomba, área de troca de óleo visto que e os poços são instalados próximos a esses focos. Os poços de monitoramento multinível (**PMN**) foram instalados após a detecção e delimitação da pluma de contaminação. Todos os poços foram construídos obedecendo-se à norma NBR 15.495-1 “Poços de Monitoramento de água subterrânea em aquíferos granulares – Parte 1: Projeto e construção” (Jul/07). Todos os poços foram construídos com tubo geomecânico de 2” com seção filtrante de dois (2) metros inseridos na zona saturada e um metro na zona não

saturada, no caso da **PM** e um (1) metro inserido na zona saturada, no caso do **PMN** (ver **tabela 3**).

A perfuração para instalação dos poços foi feita com trado manual (**figura 2**) e sem a utilização de fluido de perfuração. Os materiais escavados foram caracterizados tátil-visualmente e descritos na forma de perfis litológicos, auxiliando na caracterização geológica da área.

Figura 2. Perfuração do poço com trado manual



Tabela 3. Características dos poços instalados

Poço	Profundidade (m)	Diâmetro Instalado	Filtro	NA (m)
		(cm)	(m)	
PM-01	5,00	5,08	3,0	1,82
PM-02	4,50	5,08	3,0	1,31
PM-03	4,50	5,08	3,0	1,30
PM-04	4,50	5,08	3,0	1,53
PM-05	4,00	5,08	3,0	2,09
PM-06	4,00	5,08	3,0	2,18
PM-07	4,00	5,08	3,0	2,28
PM-08	4,00	5,08	3,0	1,38
PM-09	4,00	5,08	3,0	1,75
PM-10	4,00	5,08	3,0	2,27
PM-11	4,00	5,08	3,0	1,44
PM-12	4,00	5,08	3,0	1,76
PM-13	4,50	5,08	3,0	1,48
PMN-01	6,50	5,08	1,0	2,15
PMN-02	8,50	5,08	1,0	2,11
PMN-03	6,50	5,08	1,0	2,27
PMN-04	8,50	5,08	1,0	2,25
PMN-05	9,00	5,08	1,0	2,17

Legenda:

m = metro

NA = nível da água

Etapa 2 – Medições *in situ* de VOC's (compostos orgânicos voláteis) e amostragem de solo e água para análise química

Durante a sondagem, a cada metro perfurado, duas amostras idênticas de solo são coletadas em cada poço e colocadas em sacos plásticos. A primeira é destinada a medição de VOC's, utilizando o GASTECH, equipamento utilizado para monitoramento da qualidade do solo. A segunda é armazenada em baixa temperatura. A última dupla de amostra é coletada rente à franja capilar. Os resultados obtidos com o GASTECH são comparados e a amostra que é destinada para a análise química é aquela que deu valor mais alto na medição, caso os valores sejam iguais, a última amostra (coletada rente à franja capilar) deve ser enviada ao laboratório, sendo as outras descartadas.

A amostragem da água dos poços para análise química resulta da coleta feita por um amostrador (*bayler*) descartável, utilizando-se um *bayler* para cada poço. As amostras foram transferidas para os frascos de coleta tomando-se o cuidado de evitar a agitação das mesmas. As amostras foram identificadas (procedência, data e hora), sendo preenchida a guia de remessa (cadeia de custódia), a qual acompanhou as amostras até o laboratório. Para a análise de benzeno foi utilizado um frasco de vidro de 40 mL com tampa de teflon, denominado “*vial*”. Não foi detectada fase livre, ou seja, combustível sobrenadante, em nenhum dos poços de monitoramento.

Deve-se coletar também o Branco de Campo e Branco de Equipamento. Branco de campo é uma quantidade de água destilada que deve ser colocada nos mesmos frascos de coleta utilizados no trabalho, transportada e manuseada como as amostras de água e enviada ao laboratório para análise (CETESB, 1988).

Etapa 3 – Determinação da potenciometria local

Com os valores das cotas das seções de entrada de cada um dos poços de monitoramento e o nível d'água, foi elaborado um mapa potenciométrico (**figura 3b**), onde se observa que o sentido do fluxo da água subterrânea na área ocorre preferencialmente para leste.

Etapa 4 – Ensaio de Permeabilidade

O ensaio de permeabilidade é realizado para definir as características do solo na área de estudo onde os poços foram instalados e, principalmente, para definir a velocidade do fluxo da água subterrânea (condutividade hidráulica), para isso uma amostra indeformada de solo foi coletada. Esta amostra foi coletada a uma profundidade de aproximadamente um metro e enviada ao laboratório de ensaios para determinar a condutividade hidráulica.

Resultados

As perfurações efetuadas permitiram constatar que o solo é predominantemente argiloarenoso de coloração marrom avermelhado. Apresenta-se o exemplo do perfil do poço de monitoramento PM-02 na **figura 3** e 4.

Figura 3. Representação do perfil litológico dos poços realizados.

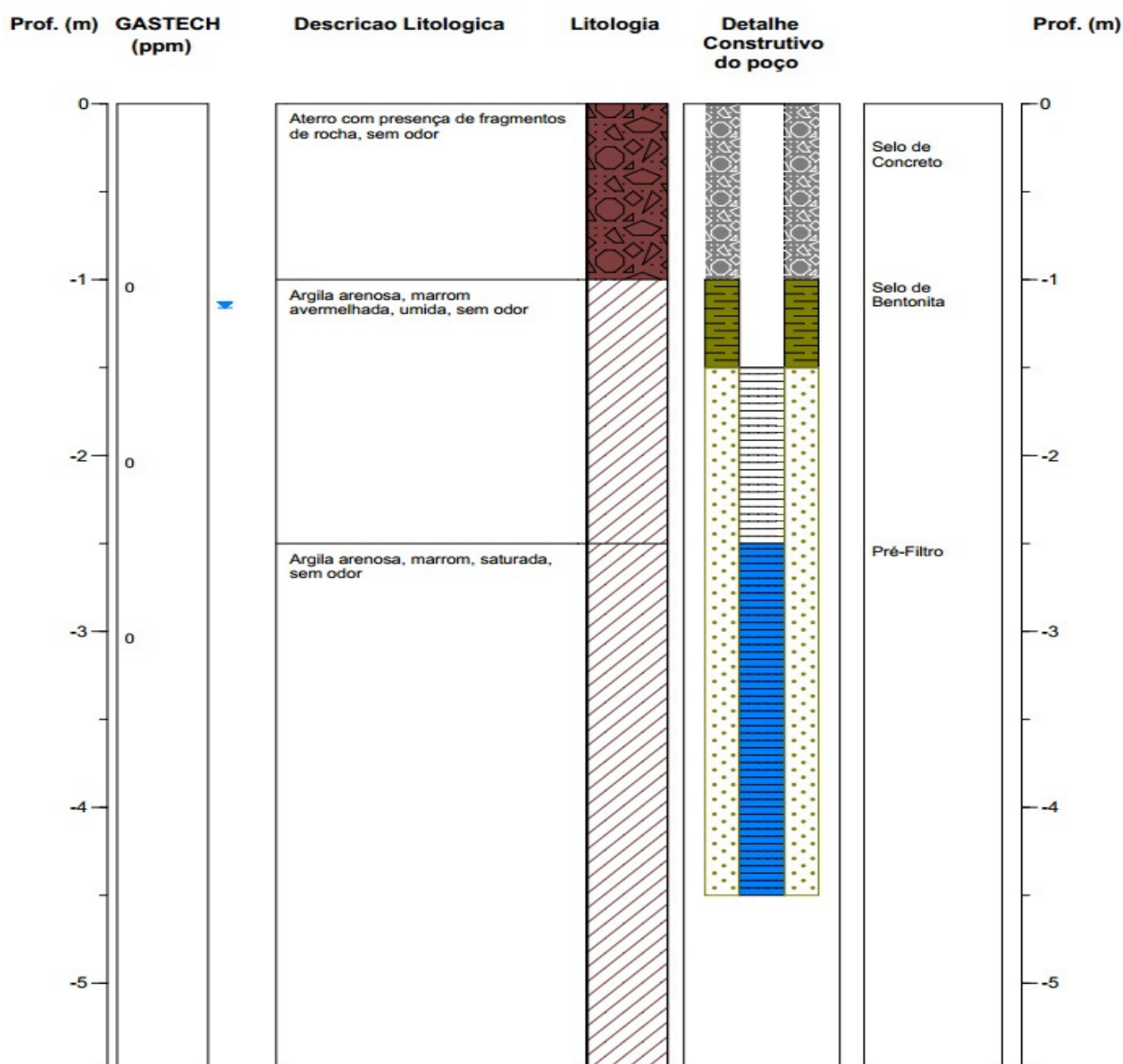
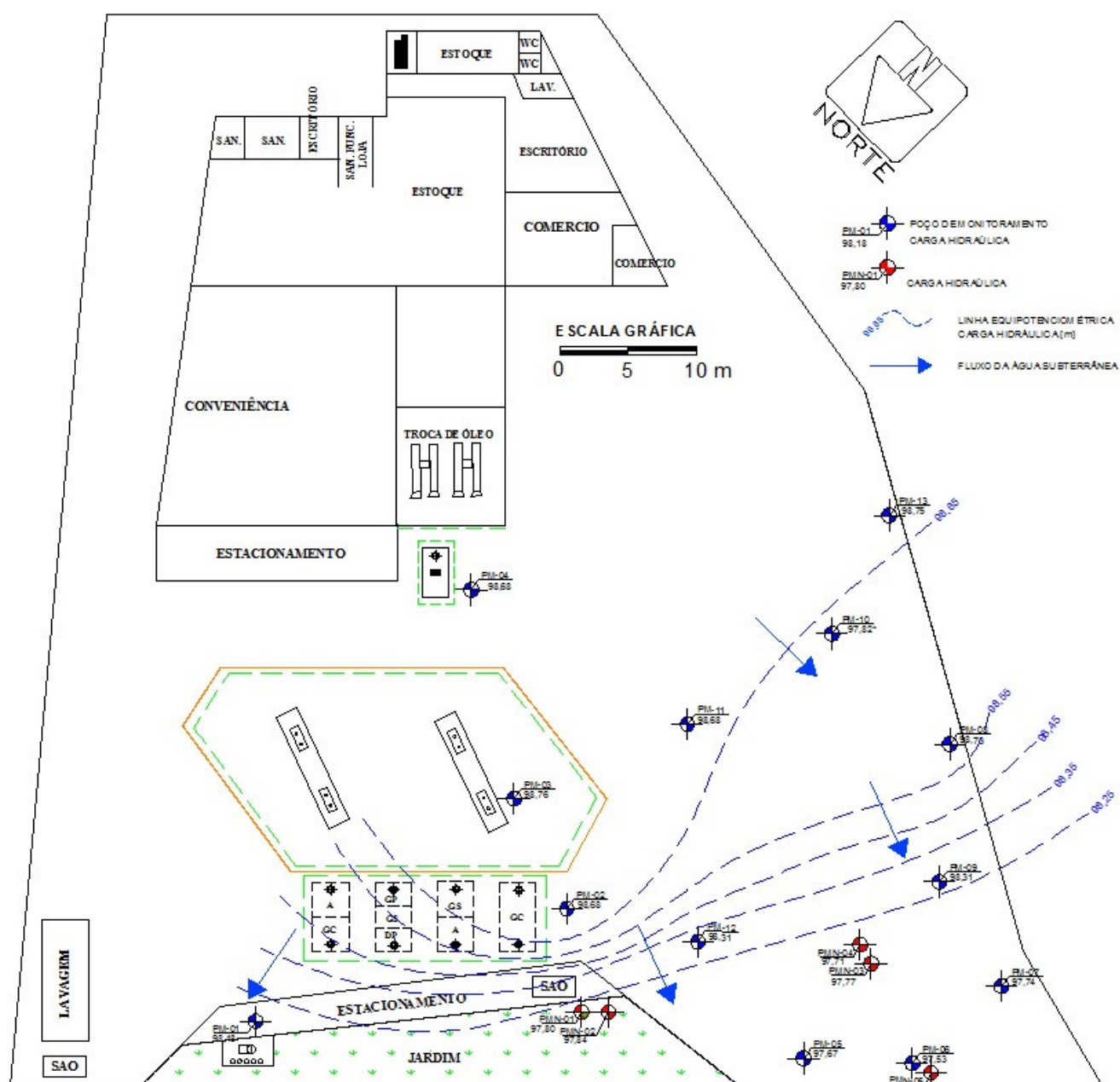


Figura 4. Mapa potenciométrico.



As medições realizadas com o GASTECH não detectaram a presença de VOC's (compostos orgânicos voláteis), razão pela qual a amostra rente à franja capilar foi encaminhada ao laboratório. Os resultados das análises químicas do solo e da água subterrânea foram comparados aos valores de referência definidos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB (valores de intervenção), conforme se ilustra na **tabela 4**.

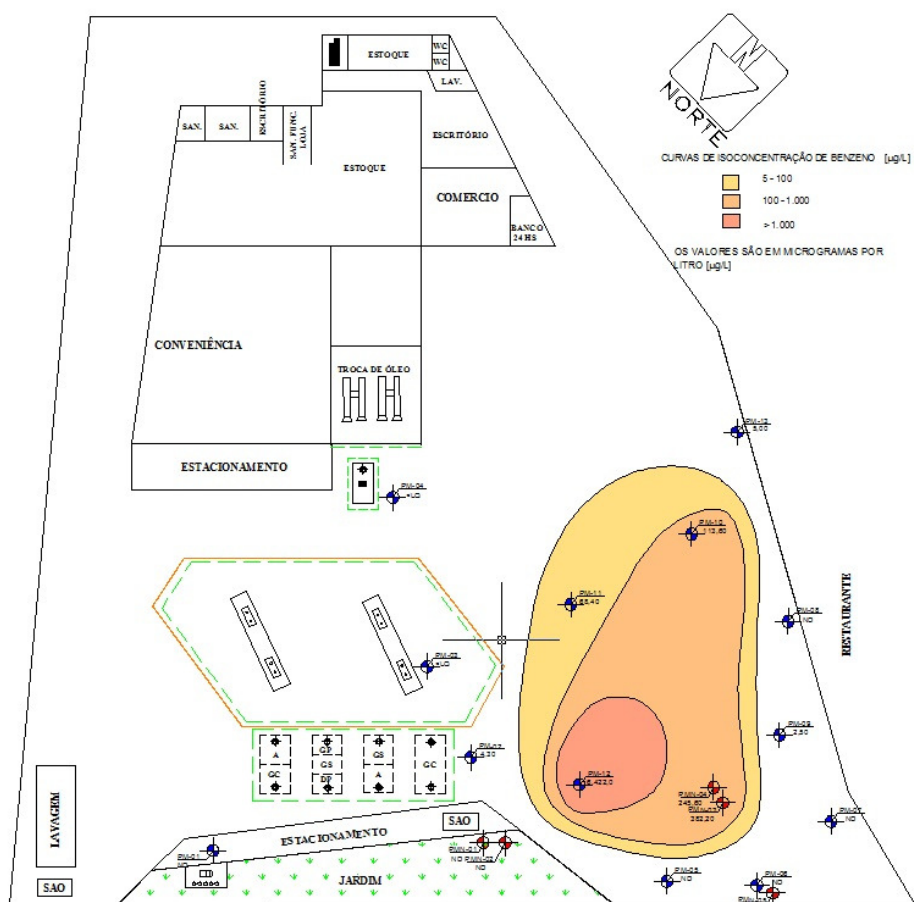
Tabela 4. Concentração de benzeno no solo e na água

Poços	Solo		Água	
	Benzeno (µg/L)	Valores de referência para solo (µg/L)	Benzeno (µg/L)	Valores de referência para água (µg/L)
		Intervenção Residencial		Intervenção Residencial
PM-01	ND*	0,08	ND	5
PM-02	ND	0,08	4,3	5
PM-03	ND	0,08	ND	5
PM-04	ND	0,08	ND	5
PM-05	ND	0,08	ND	5
PM-06	ND	0,08	ND	5
PM-07	ND	0,08	ND	5
PM-08	ND	0,08	ND	5
PM-09	ND	0,08	ND	5
PM-10	0,002	0,08	113,6	5
PM-11	0,005	0,08	68,4	5
PM-12	0,005	0,08	6422	5
PM-13	ND	0,08	ND*	5
PMN-01	ND	0,08	ND*	5
PMN-02	ND	0,08	ND*	5
PMN-03	ND	0,08	382,2	5
PMN-04	ND	0,08	245,6	5
PMN-05	ND	0,08	ND*	5

*(ND=não detectado)

Conforme a **tabela 4**, os resultados das análises químicas das amostras de solo apresentaram concentrações de benzeno abaixo dos valores de intervenção estabelecidos pela CETESB. Contudo, os resultados das análises químicas das amostras de água subterrânea apresentaram concentrações superiores aos valores de referência nos poços PM-10, PM-11, PM-12, PMN-03 e PMN-04.

Com base nos resultados das análises químicas da água subterrânea de todos os poços amostrados, elaborou-se o mapa de dispersão da pluma de fase dissolvida na água subterrânea para o benzeno. O valor de intervenção/referência estabelecido pela CETESB foi considerado como limite inferior da pluma (**figura 5**).

Figura 5. Área de dispersão da pluma de concentração do benzeno

Discussão

Durante a realização das 18 sondagens não se detectou a fase livre em nenhum dos poços instalados, porém os resultados das análises químicas das amostras de água subterrânea para benzeno apresentaram concentrações acima dos valores de referência estabelecidos pela CETESB, fato que indica que o benzeno está presente na água subterrânea. Assim, definiu-se um modelo conceitual de exposição, que estabelece, conforme o uso e ocupação do solo do entorno, quais são as concentrações máximas aceitáveis (CMA's) de benzeno para a região e procedeu-se à elaboração de um plano de intervenção, que é obrigatório sempre que a concentração de benzeno excede o limite estabelecido.

Definição do modelo conceitual de exposição

O modelo Conceitual constitui-se no resumo das informações obtidas na

área do empreendimento, considerando todos os processos físicos, químicos e biológicos que determinam o transporte de contaminantes da fonte através dos meios que compõem este sistema até os potenciais receptores, avaliando sua relação com a vizinhança e bens a proteger.

No geral, existem dois tipos de fontes potencialmente poluidoras em postos de combustíveis: **fontes primárias**, usualmente originadas por vazamentos em tanques de armazenamento, bombas e linhas de interligação e operação e **fontes secundárias**, representadas por plumas de fase retida no solo, fase livre e dissolvida na água subterrânea. Na área estudada, foram identificadas as seguintes fontes potenciais de contaminação:

- i. **Fontes primárias:** tanques de armazenamento de combustível e bombas de abastecimento;
- ii. **Fontes secundárias:** fase dissolvida na água subterrânea.

Analisando o uso e ocupação do solo no entorno do empreendimento e suas características, são identificados os potenciais receptores, ou seja, aqueles que podem ter contato com a contaminação identificada. No caso deste local, os potenciais receptores são os estabelecimentos comerciais existentes na área do posto, visto que a pluma de contaminação por benzeno não ultrapassou os limites do estabelecimento. Nesta situação, o valor de CMA é 892,00 µg/L, conforme CETESB (2009).

Plano de intervenção

Os possíveis cenários que consubstanciam situações de perigo resultante do fato de se ter observado concentrações acima das CMAs (concentrações máximas aceitáveis) são os seguintes:

- a) Ingestão de água subterrânea por receptores residenciais e comerciais;
- b) Inalação de vapores em ambientes fechados a partir da água subterrânea por receptores residenciais e comerciais.

Como na caracterização do entorno do empreendimento (que leva em consideração pesquisa junto ao Departamento de Água e Esgoto – DAE) não foram encontrados poços para abastecimento de água na região estudada, o cenário de Ingestão de água subterrânea passa a ser considerado hipotético. Não obstante este fato, medidas de remediação não devem ser ignoradas se existir elevada possibilidade de os poços virem a ser realizados no futuro e/ou se houver possibilidade de ocorrência de dispersão da pluma para áreas de maior risco.

Devido à presença de fase dissolvida no local, com concentrações acima do nível aceitável para os cenários de inalação em ambientes fechados (comerciais e residenciais), adotou-se, como medida de remediação, a instalação de um sistema *Multi Phase Extraction* (MPE) para diminuir as concentrações em fase dissolvida até se atingir o valor de referência considerado como aceitável.

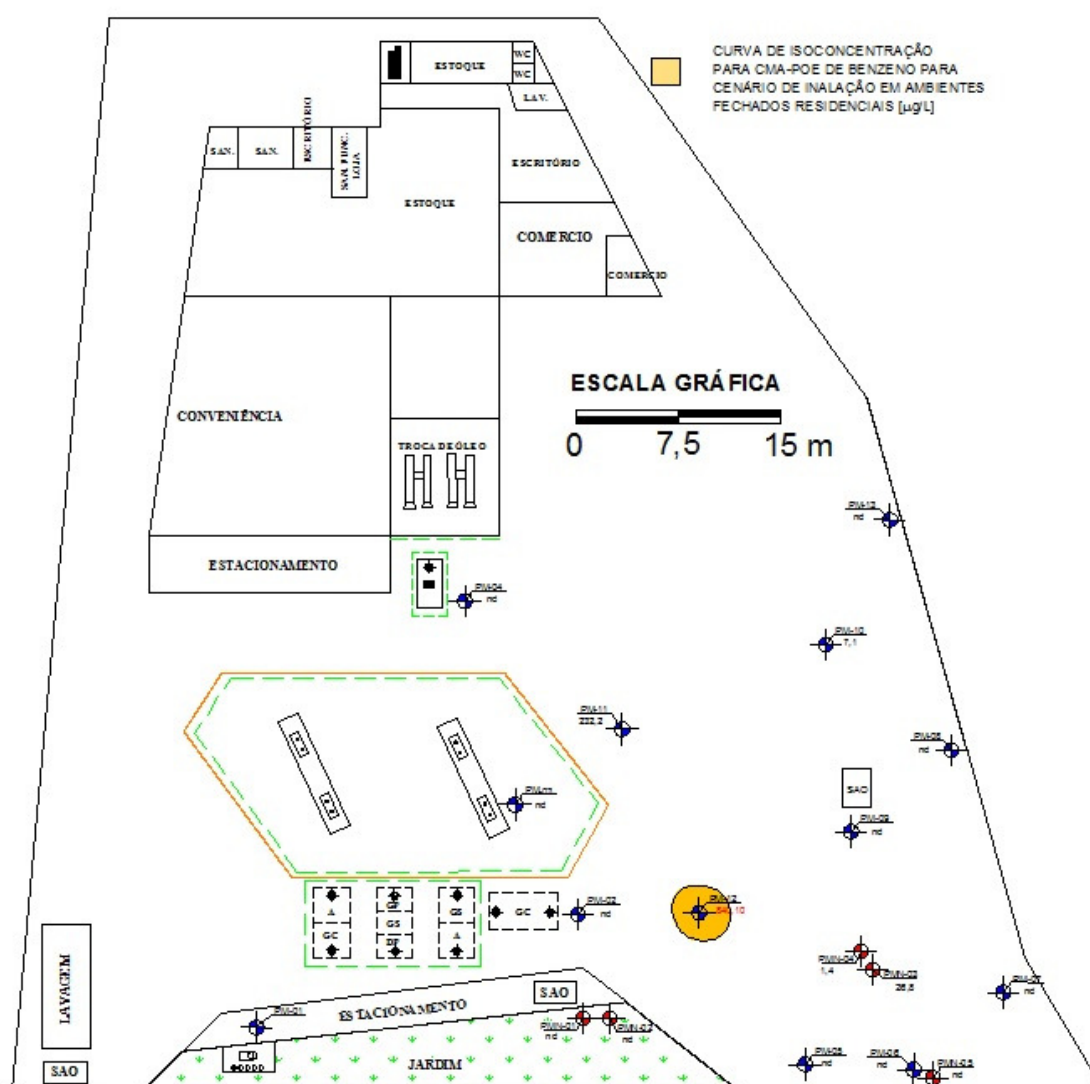
O MPE é uma tecnologia de remediação *in situ*, que extrai simultaneamente mais de uma fase fluida dos poços instalados. Estas fases incluem geralmente o ar (ou seja, a fase gasosa, incluindo vapor orgânico) e água (isto é, a fase aquosa, incluindo constituintes dissolvidos), podendo incluir a fase livre (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1999).

A tecnologia usada no projeto de descontaminação é constituída por um sistema de extração de alto vácuo, atuando diretamente nos limites da franja capilar, succionando o composto de ar e água pelo princípio do arraste pneumático. Este processo ainda contribui para aeração do solo em um raio de atuação definido em função da vazão do equipamento e fácies litológicas, para aumento da atividade microbiana, auxiliando o processo de degradação natural dos contaminantes. O efluente bombeado passa por uma câmara de vácuo, onde o líquido será conduzido a uma caixa separadora, ao atingir os níveis de transferência controlados por sensores magnéticos. O gás, por sua vez, passa por um sistema de tratamento por carvão ativado antes de ser descartado na atmosfera. Após a separação do combustível residual na caixa separadora, o efluente líquido ainda passa por um processo de tratamento antes de ser definitivamente descartado para rede pública

ou reinjetado na propriedade em tratamento. O equipamento do sistema MPE é automático podendo ser programado para não funcionar em períodos noturnos evitando a perturbação, devido ao ruído, de eventuais residências vizinhas. Toda a operação do MPE é pode ser automatizado, sendo prudente apenas uma visita mensal para manutenção preventiva do equipamento.

A tecnologia MPE de remediação *in situ* permitiu, num período de 18 meses, reduzir as concentrações do benzeno nos poços PM-11, PM-12, PM-13, PMN-03 e PMN-04 para 7,10 µg/L, 232,20 µg/L, 840,10 µg/L, 26,80 µg/L e 1,40 µg/L, respectivamente, ficando abaixo do CMA estabelecido de 892,00 µg/L, conforme **figura 6**.

Figura 6. Área de dispersão da pluma de concentração do benzeno após remediação



Conclusões

A pesquisa conduzida para avaliar a causa da ocorrência de forte odor de benzeno durante a reforma do posto de combustível permitiu constatar que:

- a concentração de benzeno no solo estava confinada a uma pequena área e os valores detectados foram inferiores aos valores de referência para intervenção. Na mesma área, foram detectadas concentrações de benzeno muito acima de valores de referência estabelecidos para água subterrânea, porém, ao delimitar a pluma, percebeu-se que a contaminação não estrapalou os limites do local;
- o uso da tecnologia MPE é adequada para remediação do solo contaminado por benzeno visto que, num período de 18 meses, foi possível reduzir a concentração de benzeno na água para níveis abaixo da concentração máxima aceitável.

Referências

ANTONIO, G.V.L., GEORGINA, F.V. Health risk assessment of zone 7 contaminated with benzene in the environmental liability generated by the “march 18th ex-refinery” in Mexico city. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, v. XV, n. 3, p. 419-428, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13786: Posto de serviço — Seleção dos equipamentos para sistemas para instalações subterrâneas de combustíveis. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.495-1: Poços de Monitoramento de água subterrânea em aquíferos granulares – Parte 1: Projeto e construção. Rio de Janeiro, 2007.

BRASIL. Ministério da Previdência Social (MPS). Benzenismo: norma técnica sobre intoxicação ao benzeno. Brasília: MPS, INSS, 1993. 28 p.

BRASIL. Ministério da Saúde, Norma de Vigilância da Saúde dos Trabalhadores expostos ao Benzeno, Julho de 2003.

CETESB, Procedimento CETESB 6410: Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas, 1988.

CETESB, Decisão de Diretoria 103 de 22 de junho de 2007

CETESB, Decisão de Diretoria 263 de 20 de outubro de 2009

ISLAM, M.S., AHMED, M.K., HABIBULLAH-AL-MAMUN, M., MASUNAGA, S. Potential ecological risk of hazardous elements in different land-use urban soils of Bangladesh. **Science of the Total Environment**. v. 512-513, p. 94-102, 2015.

JENNINGS, A.A. Analysis of worldwide regulatory guidance values for the most commonly regulated elemental surface soil contamination. **Journal of Environmental Management**. v. 118, p. 72-95, 2013.

LAGO, A., ELIS, V., GIACHETTI, H. Aplicação integrada de métodos geofísicos em uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos em Bauru-SP. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, n.3, p. 357-374, 2006.

SCHNEIDER, R.P., MORANO, S.C., GIGENA, M.A., MISSAWA, S.K., ROCHA, R.C., RODRIGUES, D.L., ELLERT, N., KATAOKA, S., KATSURAGI, C., ROSA, D.C., DE OLIVEIRA, F.L.C. Contamination levels and preliminary assessment of the technical feasibility of employing natural attenuation in 5 priority areas of president Bernardes refinery in Cubatao, Sao Paulo, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**. v. 116, p. 21-52, 2006.

SOUZA, R. P., & PAULA, J. L.. O benzeno e a saúde humana: A normatização para sua utilização. (P. D.-G. FORENSES, Ed.) GOIÁS: PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS. 2011

TIEYU, W., BO, P., BING, T., ZHAOYUN, Z., LIYU, D., YONGLONG, L. Benzene homologues in environmental matrixes from a pesticide chemical region in China: occurrence, health risk and management. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. v. 104, p. 357-364, 2014.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Engineering and Design. Engineer Manual: Multi-Phase Extraction**. Washington DC: USACE, 1999.