

## **Avaliação da presença de fase livre em um posto revendedor de combustíveis**

## **Assessment of the presence of free phase at a fuel retail station**

## **Evaluación de la presencia de fase libre en una estación de servicio de combustible**

DOI: 10.54033/cadpedv22n14-229

Originals received: 11/21/2025

Acceptance for publication: 12/15/2025

---

### **Valéria Menezes de Souza**

Mestra em Engenharia Ambiental e Sanitária  
Instituição: Universidade Federal de Goiás (UFG)  
Endereço: Goiânia, Goiás, Brasil  
E-mail: valeria24souza@gmail.com

### **Nora Katia Saavedra del Aguila Hoffmann**

Doutora em Hidráulica e Saneamento  
Instituição: Universidade Federal de Goiás (UFG)  
Endereço: Goiânia, Goiás, Brasil  
Email: kasaavedra@ufg.br

---

### **RESUMO**

Os postos revendedores de combustíveis são responsáveis por extensas áreas detentoras de passivos ambientais em todo o globo terrestre. A inserção de combustíveis nas matrizes ambientais do solo e água subterrânea, introduz as substâncias químicas benzeno, tolueno, etilbenzo, xilenos (BTEX) e os hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (PAH) nos compartimentos ambientais, o que prejudica a exploração das águas subsuperficiais pelas comunidades, trazendo prejuízos ambientais e sociais. A presente pesquisa teve como objetivo avaliar a qualidade ambiental do solo e água subterrânea de um posto de revendedor de combustíveis, dado o risco à saúde humana e deterioração das matrizes ambientais envolvidas. Para tanto, a proposta metodológica adotada consistiu em pesquisas bibliográficas e visitas em campo, onde foi possível, através de coletas de solo e água subterrânea, determinar as condições ambientais do meio. Com a visita de campo constatou-se a presença de fase livre em cinco poços de monitoramento. Foi verificado das análises laboratoriais realizadas em solo, proveniente das sondagens, contaminação do mesmo por BTEX e PAH em concentrações que variaram entre 0 a 0,2227 mg/kg e 0 a 0,1498 mg/kg, respectivamente. Além disso, foi identificado contaminação por fase dissolvida pelos compostos BTEX e PAH em sete PMS, onde as concentrações destas substâncias químicas estiveram na faixa de 0 a 683,87

µg/L e de 0 a 181,85 µg/L. Faz-se necessário a aplicação, o quanto antes, de medidas de remediação para conter o avanço das plumas de fase livre e dissolvida. Ademais, deve-se monitorar também, os níveis de BTEX e PAH de eventuais poços de captação de água que existam nas redondezas do posto, evitando assim, a possibilidade de ingestão de água contaminada por hidrocarbonetos.

**Palavras-chave:** Contaminação Ambiental. Postos de Combustíveis. Fase Livre. BTEX. PAH.

### ABSTRACT

Fuel retail stations are responsible for extensive areas with environmental liabilities worldwide. The introduction of fuels into the environmental matrices of soil and groundwater introduces the chemical substances benzene, toluene, ethylbenzoate, xylenes (BTEX), and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) into these environmental compartments, hindering the exploitation of subsurface water by communities and causing environmental and social damage. This research aimed to evaluate the environmental quality of the soil and groundwater at a fuel retail station, given the risk to human health and the deterioration of the environmental matrices involved. To this end, the methodological approach adopted consisted of bibliographic research and field visits, where it was possible, through soil and groundwater sampling, to determine the environmental conditions of the area. The field visit revealed the presence of free-phase plumes in five monitoring wells. Laboratory analyses of soil from the boreholes showed contamination by BTEX and PAH at concentrations ranging from 0 to 0.2227 mg/kg and 0 to 0.1498 mg/kg, respectively. Furthermore, dissolved-phase contamination by BTEX and PAH compounds was identified in seven monitoring wells, where the concentrations of these chemicals ranged from 0 to 683.87 µg/L and from 0 to 181.85 µg/L. It is necessary to implement remediation measures as soon as possible to contain the advance of free-phase and dissolved-phase plumes. In addition, BTEX and PAH levels should also be monitored in any water intake wells in the vicinity of the site, thus preventing the possibility of ingesting water contaminated by hydrocarbons.

**Keywords:** Environmental Contamination. Fuel Stations. Free Phase. BTEX. PAH.

### RESUMEN

Las estaciones de servicio son responsables de extensas áreas con pasivos ambientales a nivel mundial. La introducción de combustibles en las matrices ambientales del suelo y las aguas subterráneas introduce las sustancias químicas benceno, tolueno, benzoato de etilo, xilenos (BTEX) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) en estos compartimentos ambientales, lo que dificulta la explotación de las aguas subterráneas por parte de las comunidades y causa daños ambientales y sociales. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad ambiental del suelo y las aguas subterráneas en una estación de servicio, dado el riesgo para la salud humana y el deterioro de las matrcces ambientales involucradas. Para tal, el enfoque metodológico adoptado consistió

en investigación bibliográfica y visitas de campo, donde fue posible, mediante muestreos de suelo y aguas subterráneas, determinar las condiciones ambientales de la zona. La visita de campo reveló la presencia de columnas de fase libre en cinco pozos de monitoreo. Los análisis de laboratorio del suelo de los pozos mostraron contaminación por BTEX y PAH en concentraciones que oscilaron entre 0 y 0,2227 mg/kg y entre 0 y 0,1498 mg/kg, respectivamente. Además, se identificó contaminación en fase disuelta por compuestos BTEX y PAH en siete pozos de monitoreo, donde las concentraciones de estos químicos variaron entre 0 y 683,87 µg/L y entre 0 y 181,85 µg/L. Es necesario implementar medidas de remediación lo antes posible para contener el avance de las columnas de fase libre y disuelta. Además, también se deben monitorear los niveles de BTEX y PAH en cualquier pozo de toma de agua en las cercanías del sitio, previniendo así la posibilidad de ingerir agua contaminada con hidrocarburos.

**Palabras clave:** Contaminación Ambiental. Estaciones de Servicio. Fase Libre. BTEX. HAP.

## 1 INTRODUÇÃO

No decorrer dos anos, as águas subterrâneas têm sido amplamente utilizadas no abastecimento de centros urbanos e comunidades rurais. Contudo, tal recurso, ao longo do tempo, tem apresentado deterioração de sua qualidade em decorrência de contaminações por distintas atividades, dentre elas a de revenda de combustíveis.

Segundo a Companhia Ambiental de São Paulo – CETESB (2017), áreas detentoras de passivos ambientais são causadoras de distintos óbices, dentre os quais podem ser citados: os prejuízos à saúde pública, a degradação da qualidade dos corpos hídricos, restrições do uso do solo, depreciação econômica das propriedades e impactos ao meio ambiente.

A atividade de revenda de combustíveis é amplamente conhecida como responsável pela contaminação de extensas áreas em todo o globo, onde mesmo países com tecnologia de ponta ainda detém passivos ambientais provenientes destas atividades, tais quais Alemanha, Japão, EUA e Canadá (TEIXEIRA *et al.*, 2016).

Freire *et al.* (2014), afirmaram que postos mais antigos são mais propensos a apresentarem contaminações, devido a que, no período em que

foram construídos, não haviam tecnologias tão eficientes para conter vazamentos e nem mecanismos que acusassem processos de não-estanqueidade no sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC), sendo estes verificados de modo tardio.

Em processos de não-estanqueidade, os combustíveis chegam ao solo e podem permanecer adsorvidas no local por um período prolongado de tempo, agindo como fonte constante de contaminação da água subterrânea em períodos de elevação do nível do lençol freático (KWON *et al.*, 2020). Ademais, dependendo das características de retenção do solo, e da viscosidade dos combustíveis perdidos em equipamentos não estanques, os poluentes podem percolar e alcançar o nível do lençol freático, formando as fases livres (ANJOS, 2012).

Qi *et al.* (2020), destacam para a contaminação das águas subterrâneas por líquido leve menos denso que a água (Light Nonaqueous Phase Liquids, LNAPL), outrora, conhecida como fase livre, onde estas substâncias podem se dissipar, transformando-se em fase dissolvida e comprometer a qualidade dos aquíferos subterrâneos, e conseqüentemente, o abastecimento de municípios e comunidades que utilizem a captação de água em poços rasos, conforme reportado por López, Schuhmacher e Domingo (2008).

A fase livre acompanha o fluxo das águas subterrâneas, diferentemente da fase residual que permanece retida na zona vadosa. Deste modo, os líquidos de fase não aquosa podem migrar para poços de exploração de água subterrâneas, inviabilizando a continuidade de utilização segura desta fonte de água (OLIVEIRA, 2016).

Em contato com a água subterrânea, a fase livre se dissolve em várias partículas, liberando compostos tóxicos e cancerígenos como o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) e os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH) na água (SCHLUEP *et al.*, 2002).

Segundo NADIM *et al.* (2000), os BTEX são subprodutos detectados principalmente em situações de inserção acidental de gasolina no meio ambiente, tais compostos estão presentes em cerca de 20% do volume total do respectivo combustível.

A literatura indica que os BTEX, são os principais componentes dos compostos orgânicos voláteis, os quais são, comprovadamente, nocivos à saúde humana, amplamente conhecidos por seus riscos de desenvolver câncer, supressão do sistema imunológico, e desenvolvimento de doenças cardiovasculares (NÔ *et al.*, 2019). A bibliografia disponível adverte que, mesmo em concentrações ínfimas, os BTEX são compostos severamente depressores do sistema nervoso central (OLIVEIRA; LOUREIRO, 1998).

Os dezesseis compostos dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, listados pela Environmental Protection Agency - EPA, são um grupo formado por dois ou mais anéis aromáticos fundidos, a maioria é formada durante a combustão incompleta de materiais. Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos petrogênicos estão presentes no petróleo e em seus derivados, sendo introduzidos nas matrizes ambientais por derramamentos de combustíveis (WEI *et al.*, 2015).

Bosetti *et al.* (2007), constataram que, indivíduos que trabalham com atividades que as expõe aos PAH's são mais propensas a desenvolver câncer de bexiga e pulmão. Ghosal (2016), indica em sua pesquisa que os compostos supramencionados são amplamente conhecidos por suas características propriedades tóxicas, genotóxicas, mutagênicas e/ou carcinogênicas.

No estado de Goiás, a Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente – CEMAm nº 29 (2018), baliza que, constatada a presença de fase livre, o empreendimento deverá providenciar as medidas gerenciais para a remoção deste poluente em um prazo de 180 dias, em virtude da presença de NAPL constituir o pior cenário de contaminação ambiental por postos revendedores de combustíveis. Desde modo, é imprescindível acompanhar empreendimentos que apresentem fase livre, além disso, deve-se o mais rápido possível aplicar medidas de remediação na área afetada.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a qualidade ambiental do solo e água subterrânea, de um posto de revendedor de combustíveis, dado o risco à saúde humana e deterioração das matrizes ambientais envolvidas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A proposta metodológica adotada consistiu em pesquisa bibliográfica sistematizada, onde utilizou-se como descritores: contaminação, hidrocarbonetos, fase livre, BTEX e PAH na plataforma Scopus e no Google Acadêmico, além de visitas técnicas na área do empreendimento e amostragem de água subterrânea.

### 2.1 LOCAL DE ESTUDO

O empreendimento em estudo, se trata de um posto revendedor de combustíveis, que atua há trinta e sete anos no mercado, e está situado na mesorregião leste do Estado de Goiás. A supramencionada unidade federativa está situada no centro-leste do Brasil, sob uma altitude igual a 552 metros (CIDADE-BRASIL, 2020), além disso, abrange uma área equivalente a 340.106 km<sup>2</sup> e contempla 246 municípios.

Atualmente, o empreendimento apresenta três tanques subterrâneos de armazenamento de combustíveis, quatro unidades abastecedoras e área específica para troca de óleo. Na área do empreendimento, há um poço tubular o qual é utilizado para a captação de água subterrânea e utilização nas atividades desenvolvidas pelo posto revendedor de combustíveis.

### 2.2 EXECUÇÃO DE SONDAGENS, MEDIÇÃO DE VOC E INSTALAÇÃO DE POÇOS DE MONITORAMENTO

Para delimitar a pluma de fase livre, identificada em 2018, em 2019, foram realizadas quatorze sondagens, as quais foram executadas no entorno dos poços de monitoramento PM-2 e PM-8, que apresentaram óleo sobrenadante em água no ano de 2018.

As quatorze sondagens executadas em 2019, apresentaram os diâmetros das perfurações de quatro polegadas, e chegaram a uma profundidade média de 12,25 metros. Além disso, foram medidas a cada metro das sondagens, as

concentrações dos Compostos Orgânicos Voláteis - VOC, utilizando o equipamento Detector Portátil de Gás, Ion-Science, Phoccheck tiger, número de série T-113708. Após as perfurações, foram instalados quatorze poços de monitoramento de águas subterrâneas, onde nível médio da água subterrânea foi detectado a 8,46 metros de profundidade.

Todos os poços instalados possuem diâmetro interno igual a duas polegadas, revestimento em tubo de PVC geomecânico, filtro com ranhuras, caps liso, selo de massa forte 1,00 m de comprimento, pré-filtro material de granulometria de 0,50 a 1,0 mm, tampa expansível com cadeado, câmara de calçada e tampa metálica com símbolo de identificação do poço.

### 2.3 COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO E ÁGUA

Foram coletadas quatorze amostras de solo, na franja capilar, sendo utilizados frascos âmbar de boca larga de 100g. Após a instalação dos poços, realizou-se a purga e esperou-se 24 horas para realizar a coleta das amostras de água. Além das amostras coletadas dos poços de monitoramento instalados, foram coletadas, também, amostras dos nove poços de monitoramento pré-existent na área. Além disso, foi medido a espessura da fase livre nos poços de monitoramento.

As amostras de água foram coletadas em frascos âmbar, com capacidade volumétrica de um litro, para a realização das análises químicas de PAH, e em vial de 40 ml para a análise de BTEX. As amostras foram imediatamente acondicionadas em ambiente adiabático (caixa de isopor) e enviadas para o laboratório, o qual possuía a certificação ISO 17.025 (2017).

## 3 RESULTADOS

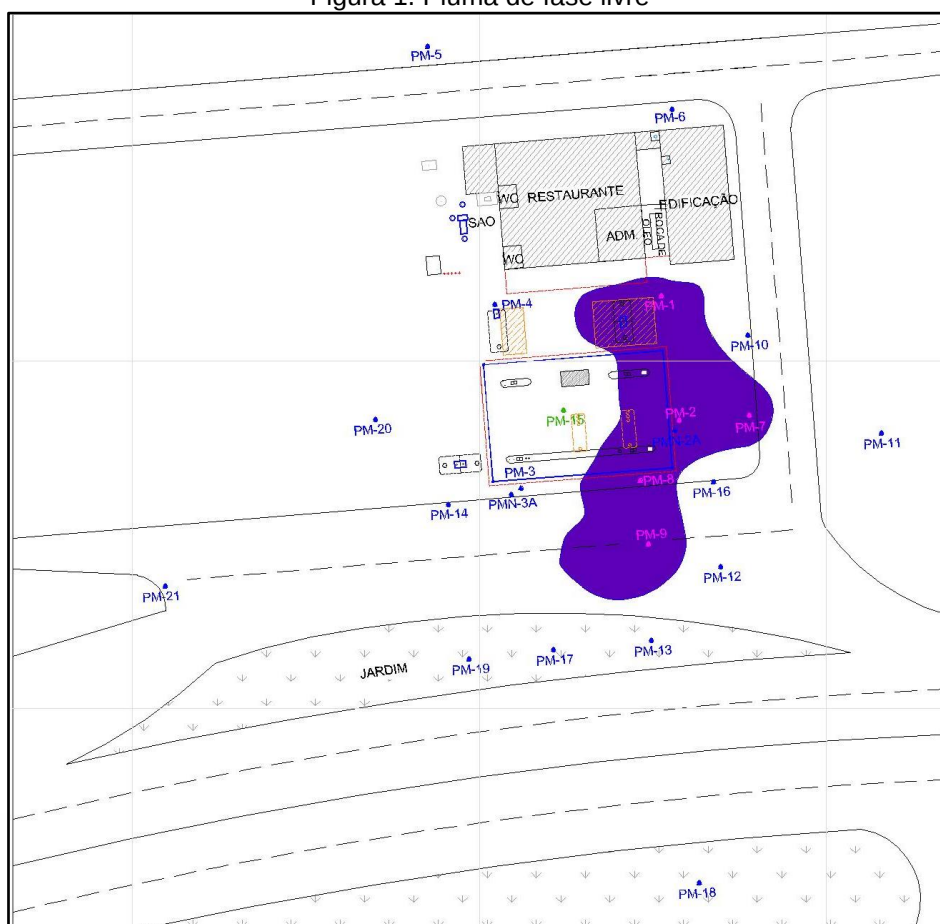
Todas as concentrações de compostos orgânicos voláteis, detectados durante na execução das sondagens, foram iguais a 0,0 ppm. As concentrações de BTEX e PAH para solo, variaram entre 0 a 0,2227 mg/kg e 0 a 0,1498 mg/kg,

respectivamente, no entanto, estiveram abaixo do que preconiza a Resolução CONAMA 420 (2009).

A Resolução CONAMA 420 (2009), estabelece valores máximos de concentrações para o solo, de acordo com as características da área, podendo ser classificadas como área residencial, industrial e agrícola. Para o empreendimento, utilizou-se os valores basais estabelecidos para áreas residenciais, em decorrências do entorno do empreendimento compreender essencialmente casas e comércios.

As espessuras de fase livre identificadas na área, variaram entre 0,04 m a 0,80 m, sendo detectadas em cinco dos vinte e três poços de monitoramento existentes (PM-1, PM-2, PM7, PM-8, PM-9), totalizando uma área com presença de passivo ambiental de, aproximadamente, 782 m<sup>2</sup> conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1. Pluma de fase livre

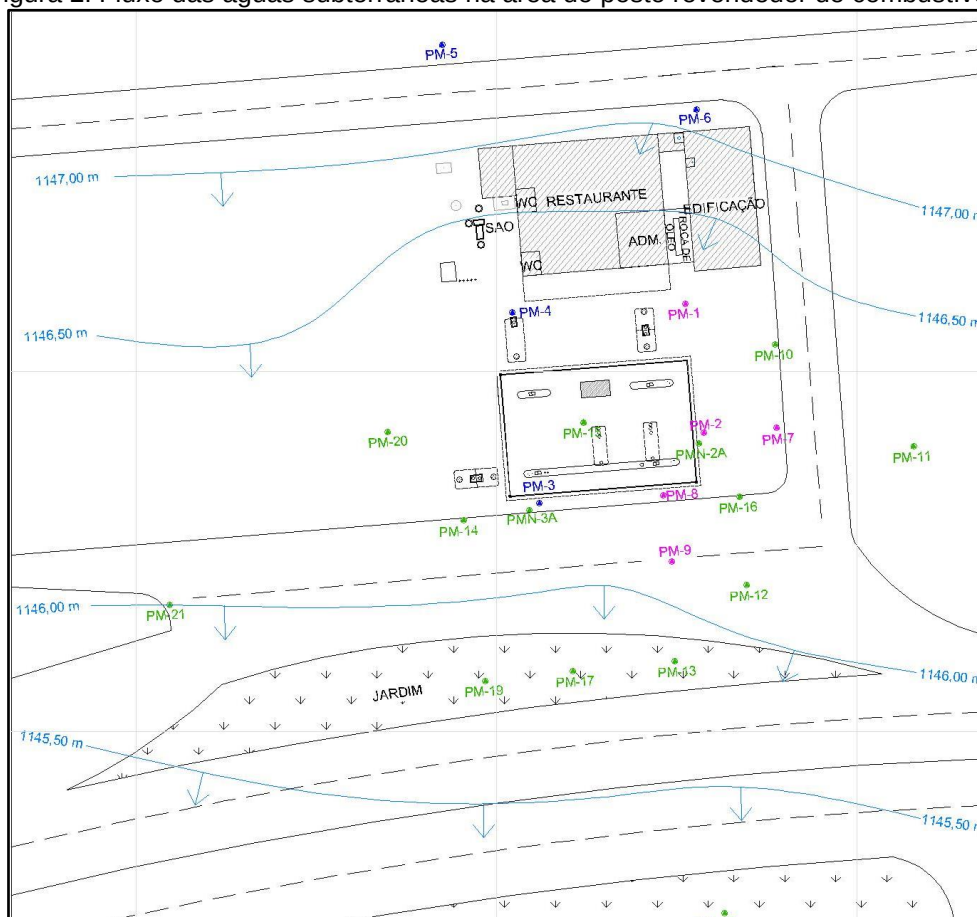


Fonte: Autores (2021).

O sentido do fluxo do lençol freático é de nor-nordeste (NNE) para sudoeste (SSO), e observou-se que a pluma de fase livre acompanha o fluxo das águas subterrâneas e está migrando para além das delimitações da área do posto, conforme ilustrado na Figura 2.

A somatória das concentrações de BTEX e PAH, nos poços de monitoramento, variaram entre 0 a 683,87 µg/L e de 0 a 181,85 µg/L, respectivamente. Individualmente, as concentrações de BTEX excederam os limites máximos de concentração, estabelecidos pelo CONAMA nos poços apresentados na Tabela 1.

Figura 2. Fluxo das águas subterrâneas na área do posto revendedor de combustíveis



Fonte: Autores (2021).

Apenas o poço de monitoramento PM-23, teve suas concentrações máximas estabelecidas pela legislação vigente excedidas pelos compostos Naftaleno e Fenantreno, componentes dos PAH. Contudo, no poço de

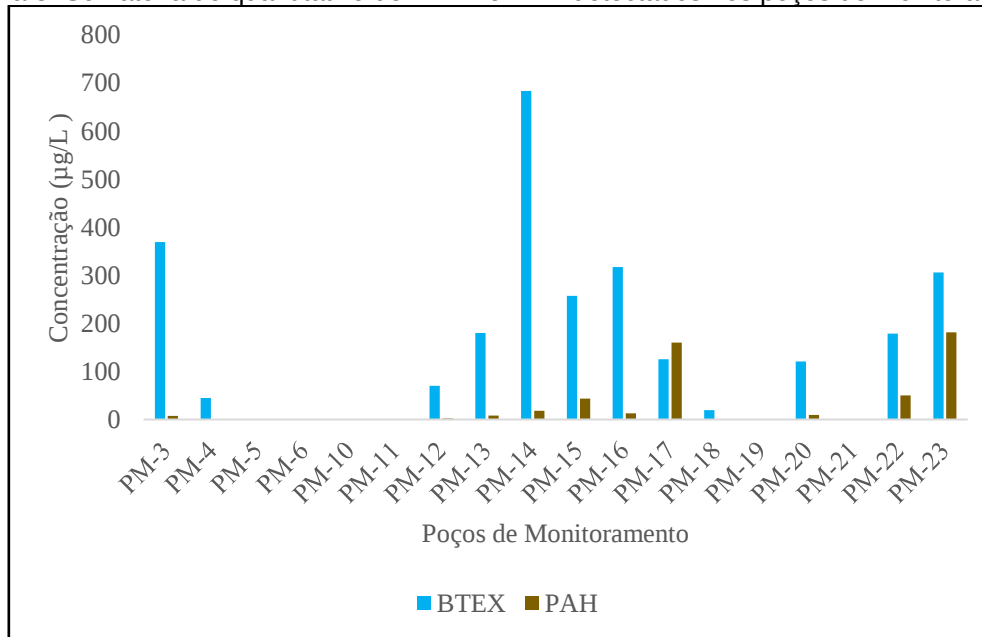
exploração de água subterrânea presente no posto, não foi constatado contaminação por BTEX e/ou PAH (Figura 3).

Tabela 1. Poços de monitoramento que apresentaram contaminação

| Compostos   | Concentração máxima admissível definidos pelo CONAMA 420 (µg/L) | Poços de monitoramento que apresentaram contaminação acima do estabelecido pelo CONAMA 420 |
|-------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Benzeno     | 5                                                               | PM-3, PM-14, PM-16, PM-17, PM-22 e PM-23                                                   |
| Tolueno     | 700                                                             | -                                                                                          |
| Etilbenzeno | 300                                                             | PM-23                                                                                      |
| Xilenos     | 500                                                             | PM-15, PM-17, PM-22 e PM-23                                                                |

Fonte: Autores (2021).

Figura 3. Somatória do quantitativo de BTEX e PAH detectados nos poços de monitoramento



Fonte: Autores (2021).

## 4 DISCUSSÕES

O posto revendedor de combustíveis identificado neste estudo apresentou contaminação nas matrizes de solo e água subterrânea, todavia, as concentrações de compostos orgânicos voláteis não se apresentaram superiores a 0,0 ppm. A ausência da identificação de VOC no estabelecimento pode ser justificada pela característica do solo, onde, segundo Moraes, Teixeira e Maximiano (2014) solos com índices de baixa permeabilidade podem inibir a

circulação de ar entre os interstícios na zona vadosa, e uma consequente redução na volatilização de combustíveis.

A identificação de fase livre e sorvida em solo é considerado pela literatura o pior cenário de contaminação ambiental, em razão desta tipologia de poluição proporcionar uma fonte perene de contaminação para as águas subsuperficiais (OLIVEIRA, 2016). À luz do parágrafo três, da Resolução CONAMA 420 (2009), observou-se que somente após a remoção desta forma de contaminação é que se pode realizar a análise de risco, devendo esta ser exaurida ou reduzida a volumes mínimos.

A degradação da qualidade ambiental ocasionada pela presença de líquidos de fase não aquosa é amplamente reportada pela literatura, a qual indica amplamente os efeitos nocivos destes poluentes tanto ao meio ambiente quanto à saúde pública. A exemplo disto, Nambi *et al.* (2017), apresentaram em sua obra a detecção de um vazamento de oleodutos, onde para a delimitação do passivo ambiental fez necessário a instalação de 30 poços de monitoramento (PM), destes, 15 PMs continham fase livre, com espessura variando entre 0,024 a 0,838 m. Contudo, semelhante ao presente estudo, a área do posto revendedor de combustíveis em avaliação não apresentou contaminação em forma de vapor.

No presente estudo, foram detectadas concentrações de BTEX em poços de monitoramento. Tal evento decorre da dissolução das substâncias químicas presentes nos combustíveis em meio aquoso, onde os compostos de BTEX são consideravelmente solúveis em água (OLIVEIRA, 2016). Nambi *et al.* (2017), e Freire *et al.* (2014), também identificaram concentrações de BTEX nas águas subterrâneas em áreas contaminadas com fase livre.

As concentrações de PAH, foram inferiores às concentrações de BTEX obtidas na área, isto pode ser reflexo da baixa solubilidade dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em água, onde as frações menos densas são rapidamente dissolvidas em água, enquanto os compostos de cadeia mais longas, e mais densos, permanecem estáveis, contudo, a alteração da temperatura pode aumentar a solubilidades destes compostos (JIN *et al.*, 2020).

Áreas com presença de contaminação por hidrocarbonetos podem oferecer a riscos à saúde humana para população residente, estudos apontam

que homens expostos a este tipo de poluentes têm maior probabilidade de desenvolver câncer de estômago, reto, pele e rim, no que tange a saúde feminina, estas estão mais propensas a apresentar algum tipo de câncer hematopoiético (Miño *et al.*, 2008).

A correta determinação da área impactada, e do volume de fase líquida não aquosa, presente no meio subterrâneo é imprescindível para a adoção do meio de remediação a ser aplicado na área. Desta forma, a instalação de poços de monitoramento, em áreas impactadas por derivados de petróleo, constitui um meio de se observar e delimitar plumas de contaminação tanto da fase livre, como das fases dissolvidas e gasosas (SOUZA *et al.*, 2016).

Além disso, existem inúmeras tecnologias disponíveis no mercado para a recuperação de áreas contaminadas por fase livre, podendo estas serem do tipo química, física ou microbiológica.

## 5 CONCLUSÕES

Nos procedimentos de investigações de passivo ambiental, é largamente difundido a realização de perfurações para identificar locais onde apresentem concentrações elevadas de compostos orgânicos voláteis, devido a estes gases serem indicativos de contaminação em solo e água subterrânea. Assim sendo, a execução de sondagens e avaliação da água subterrânea é direcionada para pontos que apresentem maiores concentrações de compostos orgânicos voláteis. Os poços de extração servem para realizar a drenagem da água subterrânea contaminada, estes são instalados em locais onde há os hotspot, ou seja, pontos de maiores concentrações de contaminantes, assim, naturalmente estes pontos sempre terão concentrações mais acentuadas. A correta determinação da área impactada, e do volume de fase líquida não aquosa, presente no meio subterrâneo é imprescindível para a adoção do meio de remediação a ser aplicado na área.

O empreendimento apresentou contaminação por fase livre e fase dissolvida nas águas subterrâneas, acima dos limites estabelecidos pelo CONAMA nº 420 (2009). Sendo assim, se faz necessário a aplicação, o quanto

antes, de medidas de remediação para conter o avanço das plumas dos poluentes identificados. Ademais, deve-se monitorar os níveis de BTEX e PAH de eventuais poços de captação de água subterrânea que existam nas redondezas do posto revendedor de combustíveis, evitando assim, a possibilidade de ingestão de água contaminada por hidrocarbonetos pela população residente nas cercanias do empreendimento.

## REFERÊNCIAS

- ANJOS, R. B dos. **Avaliação de HPA e BTEX no solo e água subterrânea, em postos de revenda de combustíveis: Estudo de caso na cidade de Natal - RN.** 2012. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Petróleo). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR ISO 17025: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração.* Rio de Janeiro, p. 32. 2017.
- BOSETTI, C.; BOFFETTA, P.; LA VECCHIA, C. Occupational exposures to polycyclic aromatic hydrocarbons, and respiratory and urinary tract cancers: A quantitative review to 2005. *Annals of Oncology*, v. 18, 2007.
- CETESB, COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Texto explicativo: Relação de áreas contaminadas e reabilitadas no estado de São Paulo. Dezembro de 2017. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2018/01/Texto-explicativo.pdf>>.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução n. 420, de 30 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Brasília, 2009.
- FREIRE, P. A. C.; TRANNIN, I. C. B.; SIMÕES, S. J. C. Bombeamento e tratamento da fase livre em Aquífero Litorâneo. *Eng. Sanitária & Ambiental*, v. 19, 2014.
- GHOSAL, D; GHOSH, S.; DUTTA, T. K., AHN, Y. Current State of Knowledge in Microbial Degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs): A Review. *Frontiers in Microbiology*, v. 7, ago. 2016.
- GOIÁS. *Conselho Estadual de Meio Ambiente - CEMAM. Resolução Nº 29, de 10 de dezembro de 2018.* Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos ao licenciamento ambiental de Ponto de Abastecimento, Posto Revendedor e Instalação de Sistema Retalhista de Combustíveis no Estado de Goiás. Goiás, 2018.
- JIN, H.; DING, W.; CHEN, B.; BAI, B.; ZHAO, Q.; CAO, C. A molecular dynamics simulation investigation on the solubility of polycyclic aromatic hydrocarbons in supercritical water. *Journal of Molecular Liquids*, v. 301, 2020.
- KWON, H.; MOHAMED, M. M.; ANNABLE, M. D.; KIM, H. Remediation of NAPL-contaminated porous media using micro-nano ozone bubbles: Bench-scale experiments. *Journal of Contaminant Hydrology*, v. 228, 2020.
- LÓPEZ, E.; SCHUHMACHER, M.; DOMINGO, J. L. Human health risks of petroleum-contaminated groundwater. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 15, p. 278–288, 2008.

MIÑO, C. P.; CORTÉS, A. L.; ARÉVALO, M.; SÁNCHE, M. E. Monitoring of DNA Damage in Individuals Exposed to Petroleum Hydrocarbons in Ecuador. *The New York Academy of Sciences*, v. 1140, p. 121-128, 2008.

MORAES, S. L.; TEIXEIRA, C. E.; MAXIMIANO, A. M. de S. (Org.). *Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas*. São Paulo: IPT, BNDES, 2014.

NADIUM, F.; HOAG, G. E.; LIU, S.; CARLEY, R. J. ZACK, P. Detection and remediation of soil and aquifer systems contaminated with petroleum products: an overview. *Journal of Petroleum. Science and Engineering*, vol. 27, pag. 169-178, mai. 2000.

NAMBI, I. M.; RAJASEKHAR, B.; LOGANATHAN, V.; KRISHNA, R. R. An assessment of subsurface contamination of an urban coastal aquifer due to oil spill. *Environ Monit Assess*, 2017.

NÔ, S. R.; KIM, J. A.; CHEONG, H. K.; HA, M.; JEE, Y. K.; PARQUE, M. S.; CHOI, K. H.; KIM, H.; CHO, S. I.; CHOI, K.; PAEK, D. Hebei Spirit oil spill and its long-term effect on children's asthma symptoms. *Environmental Pollution*, v. 248, 2019.

OLIVEIRA, E. *Hidrogeologia Ambiental: Contaminação de Solo e Águas Subterrâneas*. 2º ed. São Paulo/SP: 2016.

OLIVEIRA, L. I.; LOUREIRO, C. O. Contaminação de aquíferos por combustíveis orgânicos em Belo Horizonte: avaliação preliminar. In: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 21 de abril de 1998. Disponível em <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/issue/view/1188>>.

QI, S.; LUO, J.; O'CONNOR, D.; YIDONG, W.; HOU, D. A numerical model to optimize LNAPL remediation by multiphase extraction. *Science of the Total Environment*, v. 718, 2020.

SCHLUEP, M.; GALLI, R.; IMBODEN, D. M.; ZEYER, J. Dynamic equilibrium dissolution of complex nonaqueous phase liquid mixtures into the aqueous phase. *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 21, 2002.

SOUZA, M. M.; LIMA, J. T.; BARBOSA, M. C.; JÚNIOR, G. C. S. Determinação do volume específico de Light Non-Aqueous Phase Liquids a partir de espessuras aparentes de fase livre em poços de monitoramento: análise de sensibilidade dos parâmetros envolvidos. *Eng. Sanitária e Ambiental*, v. 21, 2016.

TEIXEIRA, C. E.; MOTTA, F. G.; MORAES, S. L. *Panorama GAC: mapeamento da cadeia de gerenciamento de áreas contaminadas*. São Paulo: IPT, 2016.

WEI, C.; HAN, Y.; BANDOWE, B. A. M.; CAO, J.; HUANG, R. J.; NI, H.; TIAN, J.; WILCKE, W. Occurrence, gas/particle partitioning and carcinogenic risk of polycyclic aromatic hydrocarbons and their oxygen and nitrogen containing derivatives in Xi'an, central China. *Science of the Total Environment*, v. 550, 2015.