

IV-232 – AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM POÇOS NAS VIZINHANÇAS DE POSTOS APÓS 15 ANOS DA OCORRÊNCIA DE VAZAMENTO DE COMBUSTÍVEIS EM RECIFE, PERNAMBUCO

José Luiz Lima da Silva ⁽¹⁾

Químico Industrial pela Universidade Federal de Pernambuco. Mestre em Engenharia Civil (Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Analista em Gestão Ambiental da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH).

Sávia Gavazza ⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Alagoas. Doutorado em Engenharia Civil (Hidráulica e Saneamento) pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Professora Associada da UFPE. Pós-doutorado pela Universidade de Cornell (EUA) e Universidade de Toronto (Canadá).

Lourdinha Florêncio ⁽³⁾

Engenheira Civil pela UFPE. Doutorado em Tecnologia Ambiental e Ciências da Agricultura pela Universidade de Wageningen (Holanda). Professora Titular do Departamento de Engenharia da UFPE.

Mario Takayuki Kato ⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná. Doutorado em Tecnologia Ambiental e Ciências da Agricultura pela Universidade de Wageningen (Holanda). Professor Titular do Departamento de Engenharia da UFPE.

Endereço⁽¹⁾: Laboratório de Saneamento Ambiental da UFPE. Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n. Cidade Universitária. CEP: 50740-530. Recife PE. E-mail: jluziquimico@gmail.com; kato@ufpe.br.

RESUMO

A utilização de poços é uma boa alternativa para a Região Metropolitana de Recife (RMR), por causa da existência de mananciais subterrâneos de boa qualidade e devido à crescente escassez de fontes hídricas superficiais nas bacias hidrográficas próximas. Entretanto, certos problemas como a falta de saneamento e a presença de empreendimentos potencialmente poluidores, dentre eles os postos de combustíveis, que oferecem risco de acidentes envolvendo vazamentos, aumentam consideravelmente a consequente contaminação do lençol freático. Nesse contexto, o objetivo no presente trabalho foi o de avaliar o comportamento das plumas de contaminação no entorno de três postos de abastecimento localizados na RM, alvo de denúncias no passado sobre vazamentos de combustíveis. Certos compostos presentes no óleo diesel e na gasolina, respectivamente os hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA) e benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX), são indicadores de que a água foi contaminada por combustíveis de origem petroquímica. Foram coletadas amostras de água e levantados dados de campo de poços próximos aos três postos de combustíveis suspeitos. Foram determinadas as concentrações dos referidos hidrocarbonetos via cromatografia gasosa com espectrômetro de massa, e de parâmetros de potabilidade. Os resultados encontrados sugerem atenuação natural em todos os locais próximos dos poços analisados, uma vez que as concentrações encontradas foram mínimas ou nulas. De qualquer maneira, sugere-se a necessidade de trabalhos semelhantes para avaliação dos hidrocarbonetos em solos ao longo do tempo, caracterização da microbiota no processo de biodegradação anaeróbia nos poços e elaboração de textos normativos. Estas deveriam fixar as exigências de monitoramento desses contaminantes para verificar a qualidade da água consumida pela população que utiliza poços em áreas potencialmente sujeitas à contaminação por combustíveis.

PALAVRAS-CHAVE: Água subterrânea, Hidrocarbonetos, Atenuação natural. Monitoramento. Gestão ambiental.

INTRODUÇÃO

Poços tubulares para abastecimento de água é uma prática cada vez mais utilizada devido à escassez de fontes hídricas superficiais nas bacias hidrográficas em Pernambuco, mais precisamente nas proximidades da Região Metropolitana de Recife (RMR). A RMR possui dois mananciais subterrâneos com volume e qualidade excelentes, o Beberibe na zona norte e o Barreiras na zona sul. Este trabalho focaliza no aquífero Barreiras na área de Boa Viagem, já que os três bairros avaliados em que se localizam os postos estão delimitados nessa região. O aquífero Boa Viagem possui elevado índice de vulnerabilidade natural (CORREIA, 2006).

Os mananciais subterrâneos na RMR enfrentam certos problemas de caráter socioambiental, destacando-se a sua vulnerabilidade frente à falta de saneamento básico e a presença de empreendimentos potencialmente poluidores, quais sejam as indústrias, os lixões, os cemitérios e os postos de combustíveis, entre outros.

Estes últimos merecem destaque devido ao grande volume de derivados de petróleo armazenados em tanques subterrâneos e, apesar do esforço pela prevenção e investimentos em novas tecnologias e adequação de equipamentos, continuam oferecendo risco de acidentes envolvendo vazamentos e consequente contaminação do lençol freático (CORSEUIL, 1997).

Apresentam-se ainda, nesse cenário, duas questões que precisam de intervenção: a perfuração clandestina e indiscriminada de poços (não registrada nos órgãos competentes) e a falta de fiscalização ambiental eficiente (fruto de carência de pessoal em número suficiente para atendimento das demandas); ou seja, falta de controle ou monitoramento ambiental mais efetivo. O resultado é uma deficiente gestão das áreas degradadas por derramamento ou vazamento de combustíveis, o que constitui numa fragilidade grave que poucos Estados brasileiros conseguiram minimizar (MORAES et al, 2014).

Dentro desse contexto, o presente trabalho partiu do interesse de saber como se comportaram as plumas de contaminação no entorno de três postos de combustíveis localizados em três bairros distintos na Região Metropolitana de Recife, e que foram alvo de denúncias sobre possíveis vazamentos de combustíveis, num lapso de tempo de quinze anos.

Dos três casos em estudo, o que se localiza no bairro do Ipsep foi o que teve maior destaque na mídia em setembro de 2002, uma vez que o vazamento de combustíveis afetou os poços de abastecimento de água de várias residências construídas no entorno, inclusive de um conjunto habitacional. A empresa detentora da bandeira do posto e fornecedora de combustíveis tomou medidas mitigadoras cabíveis, quais sejam a extração de combustível em fase livre através de bombeamento e o fornecimento de água potável à população através de caminhões-pipa, já que o consumo de água dos referidos poços tornou-se impróprio.

Os outros dois bairros, Ibura e Cordeiro, não receberam a mesma atenção, pois os respectivos incidentes não tiveram visibilidade por parte da população em geral e nem dos órgãos fiscalizadores, ou ainda da imprensa. Estes acidentes foram denunciados por anônimos via Ouvidoria da Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) e posteriores entrevistas com os moradores por ocasião de vistorias para verificar a consistência das queixas.

A presença de certos compostos em amostras de água revelou que as mesmas foram contaminadas por combustíveis derivados de petróleo, tendo sido considerados dois grupos, os denominados BTEX, formados pelos hidrocarbonetos monoaromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e os xilenos, e os HPA que são os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, formados por mais de um anel aromático (BRITO, 2005).

Estes compostos são associados a casos de leucemia e tumores cancerosos, além de má formação fetal. Portanto, trata-se de potenciais carcinogênicos e teratogênicos amplamente estudados pelos grandes centros de pesquisa, com limites de permissibilidade à exposição ou ingestão da ordem de μgL^{-1} , o que é suficiente para justificar as preocupações que cercam os incidentes aqui estudados; principalmente os BTEX, por serem mais solúveis em água (INMETRO, 2012).

Os hidrocarbonetos aromáticos, tanto mono quanto policíclicos, gozam de grande estabilidade química; isso significa que não reagem com facilidade com outros compostos, e em ambientes naturais, onde as condições físicas e bioquímicas, que oferecem a possibilidade dos fenômenos microbiológicos, não favorecem muito a sua degradação (OLIVEIRA e ALVES, 2013).

OBJETIVOS

Demonstrar a vulnerabilidade da perfuração de poços tubulares e cacimbas em áreas próximas a empreendimentos potencialmente poluidores como é o caso de postos de combustíveis e a necessidade de monitoramento específico para a qualidade da água nos parâmetros BTEX e HPA.

Discutir, a partir dos resultados de BTEX e HPA em paralelo às análises de potabilidade, que estas não são suficientes para garantir que a água de um poço em estado vulnerável (próximo a fontes potenciais de contaminação) pode ser consumida.

Verificar a ocorrência do processo de atenuação natural, bem como o nível de recuperação da qualidade da água contaminada após as possíveis medidas remediativas.

METODOLOGIA UTILIZADA

Os 12 poços monitorados foram aqueles que se encontravam mais próximos dos postos de combustíveis envolvidos, principalmente no caso do bairro do Ipsep, onde o acidente foi registrado e acompanhado anteriormente. Entretanto, em todos os outros dois locais a dificuldade de acesso aos poços foi considerável, sendo que em alguns casos não se obteve a autorização dos proprietários para a coleta de amostras, e em outros as pessoas não admitiram o incidente ocorrido, disso deduzindo não ser necessária a coleta. Os poços analisados foram perfurados em profundidades que variaram de 12 m a 20 m e todos possuíam bomba para captação.

As amostras foram coletadas após à saída do poço e antes da entrada nas cisternas, ou seja, na saída da bomba de captação do poço. A coleta de amostras foi realizada conforme o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras, publicação lançada pela Agência Nacional de Águas (ANA) e estabelecido pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2012).

Para a análise cromatográfica dos compostos BTEX e HPA, foi utilizado um cromatógrafo a gás modelo 7890A acoplado a um espectrômetro de massas 5975C inert MSD da Agilent Technologies com injetor split/splitless e sistema de injeção de amostras automático.

Na análise dos parâmetros de campo como pH, potencial redox, condutividade e temperatura, utilizamos um analisador multiparâmetros com eletrodos específicos e calibrados da marca Hexis.

PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS PARA A DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS BTEX

Em um vial âmbar de 20 mL, adicionou-se 3,30 g de cloreto de sódio PA, uma barra magnética (15x6 mm) e 11 mL da solução padrão de BTEX ou amostra. Os vials foram vedados com fita veda rosca de teflon.

A microextração SPME foi feita utilizando a fibra PDMS de 100 µm. Essas foram acondicionadas por um tempo de 30 minutos à temperatura de 250 °C no injetor do cromatógrafo.

A extração foi feita por *headspace*, assim agitou-se (sem aquecimento) a amostra contida no vial por 4 minutos, e em seguida inseriu-se a agulha da SPME no *headspace* do vial, expondo a fibra sem tocar no líquido, por 2 minutos. A seguir injetou-se no CG-MS iniciando o processo de aquisição de dados. As condições analíticas do cromatógrafo nesse procedimento constam na Tabela 1.

O esquema mostrado na Figura 1 representa as operações envolvidas no método de extração por *headspace*.

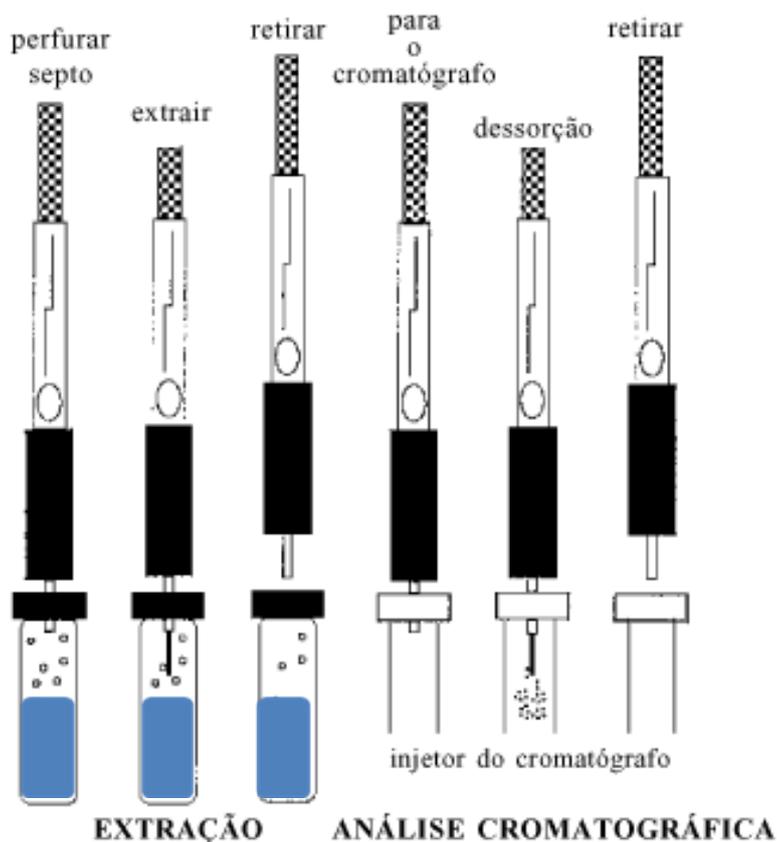


Figura 1: Esquema de extração dos compostos BTEX

Tabela 1: Parâmetros do GC-MS para a determinação de BTEX

Parâmetros	Condições
Temperatura do injetor	205 °C
Modo de injeção	Split 20:1
Coluna	Agilent 19091 J-433; 325°C; 30m x 250 µm x 25 µm
Gás de arraste	Hélio
Fluxo	1 mL/min
Pressão	11,084 psi
Programação de temperatura da coluna	
Temperatura inicial: 30 °C por 1 min	
Rampa de aquecimento: 2 °C/min até 58 °C	
Tempo total: 15 min	

PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS PARA A DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS HPA

Para a determinação dos 16 HPAs classificados pela USEPA (2006) como prioritários, em água subterrânea e salina, quais sejam, naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno,

benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, dibenzo(a,h)antraceno, benzo(ghi)perileno e indeno(1,2,3-cd)pireno, os procedimentos foram como os descritos a seguir.

A primeira etapa foi o condicionamento das colunas SPE. Esta etapa consistiu em percolar pelo adsorvente da coluna, respectivamente, 5 mL de metanol e 5 mL da solução água:isopropanol (95:5 v/v), com um fluxo aproximado de 1 gota.seg⁻¹ sem deixar o adsorvente secar completamente. A seguir adicionou-se a 100 mL da amostra aquosa e 15 mL de isopropanol.

A amostra também percolou pelo adsorvente da coluna de SPE com um fluxo aproximado de 1 gota.seg⁻¹. Em seguida deixou-se o adsorvente secar completamente. Logo depois, adicionou-se novamente, para percolar pelo adsorvente, 10 mL da solução água:isopropanol (95:5 v/v) com um fluxo aproximado de 1 gota.seg⁻¹. Deixou-se novamente o adsorvente da coluna secar completamente.

Os HPAs do adsorvente da coluna de SPE foram eluídos percolando 5 alíquotas de 2 mL de diclorometano, com um fluxo aproximado de 1 gota.seg⁻¹, que foram colocadas diretamente no reservatório da coluna de SPE, deixando-se o adsorvente da coluna secar completamente.

Evaporou-se o diclorometano em banho de água a 40 °C e redissolvido o resíduo com 1 mL de diclorometano. A próxima etapa foi a leitura da amostra no GC-MS utilizando injeção automática, cujas condições analíticas estão na Tabela 2 e segue esquema mostrado na figura 2.

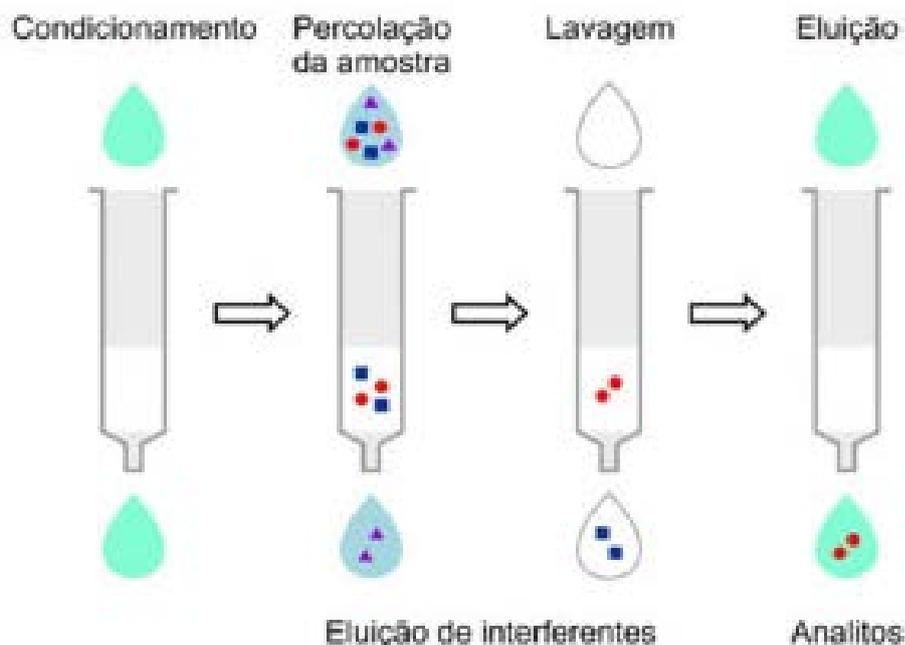


Figura 2: Esquema de extração dos compostos HPA

Tabela 2: Parâmetros do GC MS para determinação de HPA

Parâmetros	Condições
Temperatura do injetor	205 °C
Volume da amostra injetada	2 µL
Modo de injeção	Splitless
Coluna	Agilent 19091J-433; 325 °C; 30 m x 250 µm 0,25 µm
Gás de arraste	Hélio
Fluxo	30 cm/seg
Dados do detector	
Temperatura da linha de transferência: 290 °C	
Temperatura da fonte de íons: 230 °C	
Temperatura do quadrupolo: 150 °C	
Delay: 2 min	
Modo scan: 25 a 500 m/z	

A análise dos BTEX e HPA e das características físico-químicas para potabilidade, seguiu as diretrizes contidas nos procedimentos operacionais padrão do LSA, que tem como base o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1999). Alguns parâmetros foram avaliados em campo através de analisador multiparâmetros, como a temperatura, pH, potencial redox e condutividade. A determinação de coliformes termotolerantes foi realizada pelo método do substrato cromogênico definido, o ONPG-MUG (Colilert).

RESULTADOS OBTIDOS

Na inspeção de campo, observou-se que o entorno dos 12 poços estava em condições de relativa limpeza e os moradores demonstraram preocupação em preservar a integridade dos mesmos.

No momento da coleta as amostras não apresentavam fase livre, ou seja, não estava perceptível a presença de substâncias sobrenadantes como gasolina ou óleo diesel. Não havia odores ou coloração atípica, bem como material particulado em suspensão, tais como detritos ou resíduos visíveis.

Os dados da validação do método para determinação de compostos BTEX, utilizado neste trabalho, são apresentados na Tabela 3. Os valores estão dentro da faixa permitida de acordo com o INMETRO e ANVISA, com exceção do LD (limite de detecção) e LQ (limite de quantificação), que não possuem uma faixa aceitável específica na legislação.

Tabela 3: Validação do método de BTEX

Dados estatísticos	Parâmetros				
	Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	m-p-xilenos	o-xileno
r ²	0,9950	0,9976	0,9974	0,9969	0,9960
LD (µgL ⁻¹)	0,80	1,04	1,00	0,99	1,37
LQ (µgL ⁻¹)	2,66	3,49	3,34	3,32	4,5
Precisão (%)	13,10	7,32	8,06	10,92	17,78
Exatidão (%)	85,0	84,1	87,2	85,3	85,3

Os valores obtidos para BTEX nas amostras de água dos poços avaliados nesse trabalho são apresentados nas Tabelas 4 a 9 a seguir. LD é limite de detecção e valores acompanhados pelo (*) representam concentrações abaixo do LQ, Limite de Quantificação.

Tabela 4: Resultados das determinações de BTEX (μgL^{-1}). Amostras coletadas em junho/2015

Poços		Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	m,p Xilenos	o - Xilenos
Ipsep	P1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P2	<LD	<LD	1,51*	2,20*	<LD
	P3	<LD	<LD	<LD	19,16	22,86
	P4	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P5	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Ibura	P6	<LD	<LD	<LD	6,21	<LD
	P7	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P8	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P9	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cordeiro	P10	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P11	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P12	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD

Tabela 5: Resultados das determinações de BTEX (μgL^{-1}). Amostras coletadas em agosto/2015

Poços		Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	m,p Xilenos	o - Xilenos
Ipsep	P1	<LD	<LD	<LD	1,28*	<LD
	P2	<LD	<LD	2,03*	2,37*	<LD
	P3	<LD	<LD	<LD	17,11	21,54
	P4	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P5	<LD	<LD	<LD	3,11*	3,70*
Ibura	P6	<LD	<LD	2,44*	9,53	<LD
	P7	<LD	<LD	<LD	1,81*	<LD
	P8	<LD	<LD	<LD	6,12	<LD
	P9	<LD	<LD	1,94*	2,95*	<LD
Cordeiro	P10	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P11	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P12	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD

Tabela 6: Resultados das determinações de BTEX (μgL^{-1}). Amostras coletadas em setembro/2015

Poços		Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	m,p Xilenos	o - Xilenos
Ipsep	P1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P2	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P3	<LD	<LD	3,52	<LD	<LD
	P4	<LD	<LD	2,11*	<LD	<LD
	P5	<LD	<LD	<LD	1,41*	2,68*
Ibura	P6	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P7	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P8	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P9	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cordeiro	P10	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P11	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P12	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD

Tabela 7: Resultados das determinações de BTEX (μgL^{-1}). Amostras coletadas em março/2016

Poços		Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	m,p Xilenos	o - Xilenos
Ipsep	P1	<LD	<LD	<LD	2,28*	<LD
	P2	<LD	3,97	3,73	2,14*	<LD
	P3	<LD	<LD	<LD	19,03	21,77
	P4	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P5	<LD	<LD	<LD	3,08*	3,52*
Ibura	P6	<LD	<LD	2,30*	9,41	<LD
	P7	<LD	2,06*	<LD	1,63*	<LD
	P8	<LD	<LD	<LD	5,18	<LD
	P9	<LD	<LD	1,73*	2,81*	<LD
Cordeiro	P10	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P11	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P12	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD

Tabela 8: Resultados das determinações de BTEX (μgL^{-1}). Amostras coletadas em maio/2016

Poços		Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	m,p Xilenos	o - Xilenos
Ipsep	P1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P2	<LD	3,37	3,58	<LD	<LD
	P3	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P4	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P5	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Ibura	P6	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P7	<LD	1,82*	<LD	<LD	<LD
	P8	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P9	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
Cordeiro	P10	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P11	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P12	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD

Tabela 9: Resultados das determinações de BTEX (μgL^{-1}). Amostras coletadas em junho/2016

Poços		Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	m,p Xilenos	o - Xilenos
Ipsep	P1	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P2	<LD	3,80	2,13*	<LD	<LD
	P3	<LD	<LD	<LD	10,35	17,86
	P4	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P5	<LD	<LD	<LD	1,21*	1,90*
Ibura	P6	<LD	<LD	2,40*	5,27	<LD
	P7	<LD	1,43*	<LD	2,74*	<LD
	P8	<LD	<LD	<LD	4,12	<LD
	P9	<LD	<LD	1,81*	2,64*	<LD
Cordeiro	P10	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P11	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
	P12	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD

A Tabela 10 mostra os valores máximos permitidos para os BTEX, como padrão de potabilidade em água de consumo humano, contidos na Portaria n.º 2.914 de 2011 do Ministério da Saúde.

Tabela 10: Valores máximos permitidos de compostos BTEX em água.

Parâmetros	Portaria MS 2.914/2011 ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Benzeno	5,0
Tolueno	170,0
Etilbenzeno	200,0
Xilenos (totais)	300,0

Os dados da validação do método para determinação de compostos HPA, utilizado neste trabalho, são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Validação do método de HPA

Parâmetros	r ²	Faixa linear (µg.L ⁻¹)	Recuperação média (%)	Limite de confiança da média (%)
Fluoreno	0,998	4,1 a 48,9	100 ± 8	80 a 119
Antraceno	0,998	4,5 a 50,9	96 ± 9	73 a 118
Pireno	0,997	3,9 a 48,7	95 ± 1	93 a 98
Benzo(a)antraceno	0,998	4,2 a 49,0	83 ± 1	81 a 85
Criseno	0,998	4,2 a 48,9	75 ± 3	68 a 83
Benzo(b)fluoranteno	0,995	3,7 a 48,5	93 ± 8	73 a 113
Benzo(k)fluoranteno	0,998	4,2 a 49,0	82 ± 3	75 a 89
Benzo(a)pireno	0,992	4,2 a 49,0	73 ± 2	67 a 79
Dibenzo(a,h)antraceno	0,998	4,2 a 49,0	79 ± 7	62 a 97
Benzo(ghi)perileno	0,996	4,0 a 48,6	86 ± 2	80 a 92
Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,997	4,2 a 48,9	81 ± 2	75 a 87

Nenhuma das amostras apresentou valores quantificáveis dos compostos do grupo HPA. As possíveis causas desse resultado serão discutidas no próximo item.

Os resultados dos ensaios físico-químicos e bacteriológicos para potabilidade são apresentados nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12: Resultados dos ensaios físico-químicos e microbiológicos para potabilidade.

Parâmetros	Unidades	Portaria MS 2914/2011	Poços					
			P1	P2	P3	P4	P5	P6
Coliformes totais	NMP/ 100 mL	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Coliformes termotolerantes	NMP/ 100 mL	Ausência em 100 mL	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cor	mg Pt/L	-	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Turbidez	uT	5 (VMP)	4	3	5	4	4	2
Alcalinidade parcial	mg.L ⁻¹	-	0	0	0	0	0	0
Alcalinidade total	mg.L ⁻¹	-	0	0	0	0	0	0
N-NO ₂ ⁻	mg.L ⁻¹	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Fe (total)	mg.L ⁻¹	-	1,35	1,28	1,22	2,00	1,59	1,56
Temperatura	°C	-	28,2	29,0	28,5	28,0	28,7	29,0
pH	-	-	5,60	6,11	5,90	5,70	6,00	5,04
Condutividade	µS cm ⁻¹	-	202,9	280,0	235,0	266,0	275,0	188,9
Potencial redox	mV	-	139,8	191,7	155,0	135,7	140,0	190,5

Tabela 13: Resultados dos ensaios físico-químicos e microbiológicos para potabilidade.

Parâmetros	Unidades	Portaria MS 2914/2011	Poços					
			P7	P8	P9	P10	P11	P12
Coliformes totais	NMP/ 100 mL	-	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Coliformes termotolerantes	NMP/ 100 mL	Ausência em 100 mL	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Cor	mg Pt/L	-	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Turbidez	uT	5 (VMP)	1	2	2	1	2	1
Alcalinidade parcial	mg.L ⁻¹	-	0	0	0	0	0	0
Alcalinidade total	mg.L ⁻¹	-	0	0	0	0	0	0
N-NO ₂ ⁻	mg.L ⁻¹	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Fe (total)	mg.L ⁻¹	-	1,30	1,25	1,05	<1	<1	<1
Temperatura	°C	-	29,2	29,0	30,0	27,5	27,6	27,0
pH		-	5,22	5,20	5,11	5,70	5,50	5,55
Condutividade	µS cm ⁻¹	-	255,0	199,8	185,7	208,0	200,1	230,0
Potencial redox	mV	-	185,3	180,5	142,0	108,1	100,9	107,5

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos indicam que os poços analisados possuem água potável, pois estão dentro dos limites permitidos pela Portaria MS 2.914/2011.

Os valores de potencial redox indicam que o ambiente químico é oxidante, contudo aponta para o nitrato como acceptor de elétrons no lugar do oxigênio (JARDIM, 2014), o que pode ter contribuído para o processo de atenuação natural dos hidrocarbonetos em estudo.

Após a remoção do oxigênio dissolvido, prevalecerá uma condição anaeróbia; neste caso, o nitrato presente na água subterrânea poderá ser usado como um receptor de elétrons por micro-organismos anaeróbios na mineralização dos hidrocarbonetos. A desnitrificação resulta na formação de dióxido de carbono, água e nitrogênio gasoso (KULKAMP, 2003).

Estudos de biorremediação por atenuação estimulada indicam a eficiência da utilização de nitrato como acceptor de elétrons em ambientes quimicamente favoráveis, ou seja, pobres em oxigênio ocasionada pela degradação do etanol, contido na gasolina, e com valores de pH próximos da neutralidade, condições observadas no caso em estudo, permitiram a degradação dos compostos BTEX (COSTA, 2009).

A turbidez é uma característica da água motivada pela presença de partículas em estado coloidal, em suspensão, matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, plâncton e outros organismos microscópicos e expressa a interferência à passagem de luz, através do líquido. Portanto, simplificada, a transparência da água. Ressalta-se que valores de turbidez em torno de 8 uT ou menos são visualmente imperceptíveis. Algumas amostras se aproximaram do valor máximo permitido, indicando a necessidade de maior controle e atenção nesse parâmetro (CETESB, 2016).

A ausência de coliformes termotolerantes representa um dado positivo, tendo em vista que a RMR é precariamente saneada e que se trata de poços antigos numa região densamente habitada, com uma população de aproximadamente 1,6 milhões e com uma densidade demográfica superior a 7000 hab.km⁻² (IBGE, 2017).

De forma geral, a presença de coliformes nas águas subterrâneas está associada a poços mal construídos, sem laje de proteção e tubo de boca, sem perímetro de proteção e sob influência de rios poluídos, locados inadequadamente ou mal protegidos. A inadequação do filtro e pré-filtro à formação geológica normalmente reflete em problemas de cor e turbidez da água subterrânea. Por isso, é comum que vários estudos mostrem frequentemente que estes parâmetros não atendem aos padrões de potabilidade no caso das águas subterrâneas (CETESB, 2016).

Na visão da Organização Mundial de Saúde (OMS), os riscos à saúde impostos pelas substâncias químicas (de efeito crônico e longo prazo, por vezes não muito bem fundamentados do ponto de vista toxicológico e epidemiológico) não devem ser comparados aos riscos microbiológicos de transmissão de doenças (de efeito agudo e curto prazo, inquestionáveis e de grande impacto). Em termos gerais, guardada a importância relativa e específica de cada um, a garantia da qualidade microbiológica da água deve receber prioridade (CORREIA, 2006).

Os resultados encontrados para os compostos BTEX e HPA sugerem a ocorrência de atenuação natural em todos os poços analisados, mesmo não se tendo a oportunidade de acessar aos valores de concentração dos contaminantes quando da ocorrência dos vazamentos. Esses dados foram devidamente registrados no episódio do bairro do Ipsep, mas os documentos encontram-se atualmente nas dependências da Secretaria de Meio Ambiente da Prefeitura do Recife, a qual não cedeu os mesmos até o presente momento.

A evolução da pluma de contaminantes ao longo do tempo não foi verificada, pois faltaram dados da época em que ocorreram os acidentes, porém o processo de atenuação natural pode ser a resposta para justificar as concentrações baixas ou nulas que foram encontradas, e que o nível de recuperação da qualidade da água contaminada pode ser considerada bom mesmo após as medidas remediativas precárias adotadas após o acidente, que no caso se limitou a remover a fase livre através de bombeamento e acompanhamento da referida atenuação através dos poços de monitoramento.

O comportamento, transporte e destino desses compostos no meio ambiente dependem de suas características físico-químicas e bioquímicas. Geralmente os HPA são persistentes no meio ambiente e possuem baixa solubilidade em água. Na maioria dos casos, essa solubilidade diminui com o aumento do número de anéis e da massa molecular do composto (CETESB, 2016). Esses argumentos podem ser a justificativa pela ausência dos compostos HPA nas amostras coletadas.

Os episódios de vazamento de combustíveis se deram num período de quinze anos e as plumas de contaminantes tendem a atingir níveis aceitáveis num período de oito anos em média. Uma vez ocorrido o vazamento, os hidrocarbonetos de petróleo passam pelas fases de diluição, dispersão, adsorção, volatilização e biodegradação, caracterizando o processo de autodepuração ou atenuação natural (CORSEUIL, 1997).

CONCLUSÕES

Um dos objetivos deste trabalho foi demonstrar a vulnerabilidade da perfuração de poços de água em áreas próximas a empreendimentos potencialmente poluidores, como no caso de postos de combustíveis. Os resultados encontrados nos parâmetros BTEX confirmam que a água dos poços analisados está contaminada pelo menos nos bairros do Ipsep e Ibura. Nessas localidades foi possível confirmar a contaminação da água por gasolina.

Os resultados encontrados nos parâmetros BTEX e HPA, com baixas ou nulas concentrações sugerem que o processo de atenuação natural ocorreu em todos os poços analisados, mesmo carecendo dos valores da concentração inicial dos contaminantes, há quinze anos, valores estes registrados em relatórios referentes, principalmente, ao episódio do bairro do Ipsep.

Mesmo se tratando de localidades com precárias condições sanitárias, sem acesso a saneamento, as amostras não apresentaram resultados que indicassem contaminação por esgoto a céu aberto ou instalações de fossas inadequadas, embora o risco desse evento seja bastante acentuado.

Apesar dos resultados nos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e para os compostos dos grupos BTEX e HPA, terem permanecido abaixo dos valores máximos permitidos pela Portaria MS 2.914/2011, comprovou-se que há presença de compostos do grupo BTEX, indicando que houve contaminação do meio em análise. Apenas os parâmetros físico-químicos e microbiológicos não são suficientes para atestar a potabilidade de água nos casos em que os poços perfurados se encontrem próximos de empreendimentos potencialmente poluidores como os postos de combustíveis.

A ausência do benzeno em todas as amostras demonstra que, por ser o mais solúvel em água e volátil em relação ao solo dentre os BTEX, o mesmo deve ter sido degradado mais rápido que os demais. A presença de etilbenzeno, tolueno e xilenos nas amostras dos bairros do Ipsep e Ibura revela que nesses sítios houve de fato

os referidos vazamentos nos períodos já citados, e que mesmo em baixas concentrações suas existências são pelo menos incômodas do ponto de vista conceitual, pois ninguém pretende consumir água contaminada, mesmo em níveis permitidos pela legislação.

RECOMENDAÇÕES

São necessários trabalhos semelhantes para avaliação do comportamento dos compostos BTEX e HPA em solos ao longo do tempo e a caracterização da microbiota envolvida no processo de biodegradação nesses casos.

Também se torna interessante a avaliação da qualidade das águas superficiais, cujos mananciais são próximos às atividades petroquímicas, portos, grandes centros urbanos e lava-jatos para os parâmetros BTEX e HPA.

Como tema de saúde pública, é importante um levantamento de casos de doenças relacionadas à intoxicação por compostos BTEX e HPA, na população que utiliza águas de poços ou faça uso de mananciais próximos a refinarias, postos de combustíveis e outros empreendimentos que trabalhem com derivados petroquímicos.

É recomendada ainda a revisão e elaboração de textos normativos da legislação ambiental, que fixem exigências quanto ao monitoramento desses contaminantes quando do acompanhamento da qualidade da água consumida pela população que utiliza poços perfurados, em especial daqueles nas proximidades de áreas potencialmente contaminadas, nos parâmetros relativos a cada tipologia, bem como na demarcação das áreas quanto ao risco, seja ele natural ou proveniente de atividades antrópicas.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro para realização das pesquisas aos pesquisadores do LSA-UFPE e pela concessão de bolsas de mestrado e doutorado. À Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH) pelo apoio ao primeiro autor pela oportunidade de realizar o mestrado na UFPE; e aos moradores nas proximidades dos postos de gasolina estudados, pelo apoio nas coletas de amostras e informações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA; AWWA; WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22. ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, 2012. - Disponível em: https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_1000-3000.pdf - Acessado em 18/02/2017.
2. BAYER, D. M. ; SPINELLI, A. C. O. C. ; GAVAZZA, S. ; FLORENCIO, L. ; KATO, M. T. . Natural attenuation and biosurfactant-stimulated bioremediation of estuarine sediments contaminated with diesel oil. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 171, p. 173-188, 2013.
3. BRITO, F. V. Estudo da Contaminação de Águas Subterrâneas por BTEX oriundas de postos de distribuição no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS. 2005.
4. CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras. Disponível em: <http://laboratorios.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/47/2013/11/guia-nacional-coleta-2012.pdf> - Acessado em 15/09/2016.
5. CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br - Acessado em 26/10/2016.
6. CORREIA, E. R. C. Caracterização da vulnerabilidade natural do aquífero Boa Viagem no Município do Recife - Método GOD. Dissertação de Mestrado, UFPE, 2006.
7. CORSEUIL, H. X.; MARINS, M. D. M. Contaminação de águas subterrâneas por derramamentos de gasolina: o problema é grave. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 2, n. 2, p. 50-54, 1997.
8. COSTA, A. H. R.; NUNES, C. C.; CORSEUIL, H. X. Biorremediação de águas subterrâneas impactadas por gasolina e etanol com o uso de nitrato. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 265-274, 2009.

9. EUA, EPA, United States Environmental Protection Agency. Disponível em: <https://www.epa.gov/greenercleanups/methodology-understanding-and-reducing-projects-environmental-footprint> - Acessado em 31/10/2016.
10. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=261160> - Acessado em 18/02/2017.
11. INMETRO, FISPQ n.º 8298 – 2012. Disponível em www.inmetro.gov.br/metcientifica/MRC/FISPQ-8298.pdf - Acessado em 15/02/2016.
12. JARDIM, W. F. Medição e interpretação de valores do potencial redox (EH) em matrizes ambientais. Química Nova, v. 37, n. 7, p. 1233-1235, 2014.
13. KULKAMP, M. S. Atenuação natural de hidrocarbonetos de petróleo em um aquífero contaminado com derramamento simultâneo de óleo diesel e etanol. Dissertação de Mestrado, UFSC, 2003.
14. MORAES, S. L.; TEIXEIRA, C. E.; MAXIMIANO, A. M. S. (Organizadores) - Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas / organizadores. -- 1. Ed. rev.. - São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: BNDES, 2014.
15. OLIVEIRA, R. M.; ALVES, F. Microbial diversity used in the bioremediation of soils contaminated by petroleum and oil products. NBC - Periódico Científico do Núcleo de Biociências, v. 3, n. 05, p. 01-14, 2013.
16. PEDROZA, S.; FLORENCIO, L.; KATO, M. T.; PAIM, A. P. S; GAVAZZA, S. Remoção Anaeróbia dos Componentes BTEX de Água Contaminada por Gasolina. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 14 n.3 Jul/Set 2009, 61-67.
17. SILVA, J. L. L. Avaliação da qualidade da água em poços nas vizinhanças de postos após 15 anos da ocorrência de vazamento de combustíveis em Recife, Pernambuco. Dissertação de Mestrado, UFPE, 2017.