

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS EM PROCESSO DE REMEDIAÇÃO DE ÁREA CONTAMINADA NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE

Mayra Ferreira dos Santos¹

mayra.santos0691@unilasalle.edu.br

Janice Hamm¹

janice.hamm@unilasalle.edu.br

Fernanda Siqueira Souza¹

fernanda.souza@unilasalle.edu.br

Resumo: Os comércios varejistas de combustíveis possuem serviços essenciais a população, entretanto essas atividades são altamente poluidoras. Qualquer vazamento em tanques de combustíveis pode causar contaminação na água e solo subterrâneos, necessitando de técnicas eficazes de descontaminação, a fim de minimizar, ao máximo, os impactos ambientais. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo apresentar um diagnóstico ambiental em postos de combustíveis localizados na cidade de Porto Alegre – RS que estão em processo de remediação de área contaminada e um estudo sobre as principais técnicas de remediação. Para atingir o objetivo proposto, o trabalho foi estruturado em 3 etapas, sendo: (i) coleta de dados; (ii) análise e diagnóstico ambiental; e (iii) mapeamento dos métodos de remediação. Conforme os dados coletados, dos 380 postos de combustíveis da cidade de Porto Alegre, 242 são classificados como área não contaminada, equivalendo a 63,68% e 49 estão em processo de remediação ativos, 12,89%. Posteriormente, foram avaliados os métodos de descontaminação mais utilizados, dando ênfase aos processos oxidativos avançados. A partir dos artigos consultados foi possível evidenciar uma lacuna na literatura, na qual não foi evidenciado estudo comprovando a eficiência dos processos oxidativos avançados aplicados em postos de combustíveis.

Palavras-chave: Postos de Combustíveis; Remediação; Processos Oxidativos Avançados.

ENVIRONMENTAL DIAGNOSIS OF FUEL STATIONS IN THE PROCESS OF REMEDYING THE CONTAMINATED AREA IN THE MUNICIPALITY OF PORTO ALEGRE

Abstract: Fuel retailers have essential services for the population, however these activities are highly polluting. Any leakage in fuel tanks can cause contamination in underground water and soil, requiring effective decontamination techniques in order to minimize environmental impacts as much as possible. In this context, the present study aimed to present an environmental diagnosis in gas stations located in the city of Porto Alegre - RS that are in the process of remediation of a contaminated area and a study

on the main remediation techniques. To achieve the proposed objective, the work was structured in 3 stages, being: (i) data collection; (ii) environmental analysis and diagnosis; and (iii) mapping remediation methods. According to the data collected, of the 380 gas stations in the city of Porto Alegre, 242 are classified as uncontaminated area, equivalent to 63.68% and 49 are in active remediation process, 12.89%. Subsequently, the most used decontamination methods were evaluated, emphasizing advanced oxidative processes. From the articles consulted, it was possible to evidence a gap in the literature, in which no study was found proving the efficiency of advanced oxidative processes applied in gas stations.

Keywords: Gas Station; Remediation; Advanced Oxidative Processes.

INTRODUÇÃO

A poluição mundial está cada vez mais preocupante e servindo de alerta para a população. Inúmeras técnicas vêm sendo utilizadas no intuito de minimizar ou prevenir os danos ambientais no ecossistema, pois a contaminação afeta diretamente a atmosfera, solo, florestas, animais, rios e oceanos (GODOI; FAVORETO; SANTIAGO-SILVA, 2003). O aumento da poluição é consequência do acréscimo das atividades com potencial poluidor elevado e do crescimento populacional sem a devida preocupação e cuidados ao meio ambiente (CARDOSO; LODI; BARROS, 2017).

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, área contaminada é o local que contenha quantidades ou concentrações de substâncias ou resíduos que tenham sido depositados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural em condições que possam causar ou estejam causando danos à saúde humana, ao meio ambiente ou outro bem a proteger. Conforme a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), os contaminantes podem propagar-se por diferentes ecossistemas ambientais, como o ar, solo, águas subterrâneas e superficiais, gerando impactos negativos devido à alteração da composição natural dos meios.

A contaminação das águas subterrâneas está sendo detectada com uma frequência cada vez maior, gerando impactos graves como problemas de saúde, danos ambientais e impactos sociais (LOURENÇO, 2006). A preservação da água subterrânea é de suma importância, pois ela corresponde a aproximadamente 97% da água doce do mundo disponível para a utilização humana. A contaminação do lençol freático ocorre em locais próximos a lançamentos de esgotos e postos de combustíveis ativos (GOMES; COUTINHO, 2007).

Esta questão é preocupante principalmente para as indústrias de petróleo, que lidam diariamente com problemas decorrentes de vazamentos, derramamentos e acidentes durante a exploração, refinamento, transporte, e operações de armazenamento do petróleo e seus derivados (CORSEUIL; MARINS, 1997). Os postos de combustíveis situados em áreas metropolitanas são considerados as principais fontes de contaminação da água subterrânea e isso deve-se aos vazamentos em tanques subterrâneos de armazenamento de combustíveis, onde ocorre a infiltração da substância nociva, sendo eles gasolina e óleo diesel (GOMES; COUTINHO, 2007).

Os vazamentos em tanques subterrâneos geralmente se dão pela falta de manutenção e troca do mesmo, em períodos adequados. Segundo a Portaria FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler) nº22/2019 a vida útil de um tanque subterrâneo de combustível é de 30 anos, contados a partir da data de fabricação. Além de oferecer risco ao meio ambiente, o vazamento de derivados de petróleo ocasionado pela má conservação dos tanques, pode acarretar complicações à população, tornando-se um problema de saúde pública (LIMA, 2010).

A gasolina e os derivados de petróleo são constituídos por moléculas orgânicas como: benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, os chamados BTEX (GANDOLFI; PONTES, 2018). Os BTEX são considerados substâncias solúveis em água e também, devido a sua mobilidade, são os primeiros compostos a atingirem o lençol freático, dissolvendo-se parcialmente e ocasionando a contaminação dos aquíferos (LOURENÇO, 2006). Com objetivo de detectar estes parâmetros presentes na água subterrânea e realizar investigações ambientais para delimitar a pluma de contaminação, os postos de combustíveis devem realizar duas análises anuais nos poços de monitoramento, de acordo com o exigido na Portaria FEPAM nº 22/2019.

Para a identificação de um local com área contaminada é necessário realizar avaliação preliminar, investigação confirmatória, e investigação detalhada. Os resultados analíticos devem atender aos padrões estabelecidos na Resolução CONAMA nº 420/2009, que 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. A partir desse monitoramento e investigação, iniciam-se projetos e alternativas para atenuar a contaminação, aplicando a técnica escolhida de remediação de área degradada (CARDOSO; LODI; BARROS, 2017).

Para aplicar uma técnica de remediação é necessário fazer análise completa do sítio de contaminação, avaliando suas características para e, assim, ser possível identificar qual o melhor procedimento para cada local. Entre as tecnologias utilizadas para a remediação de águas subterrâneas, destacam-se: Pump-and-treat, Oxidação química, Fitorremediação, Air stripping e Processos Oxidativos Avançados. A escolha da técnica é essencial para que a remediação da área seja bem-sucedida (GOMES; COUTINHO, 2007). Para isso, alguns fatores são relevantes para a escolha, tais como: relações de custo-benefício, o correto diagnóstico ambiental, delimitação da pluma de contaminação, características das questões hidrogeológicas e natureza dos contaminantes.

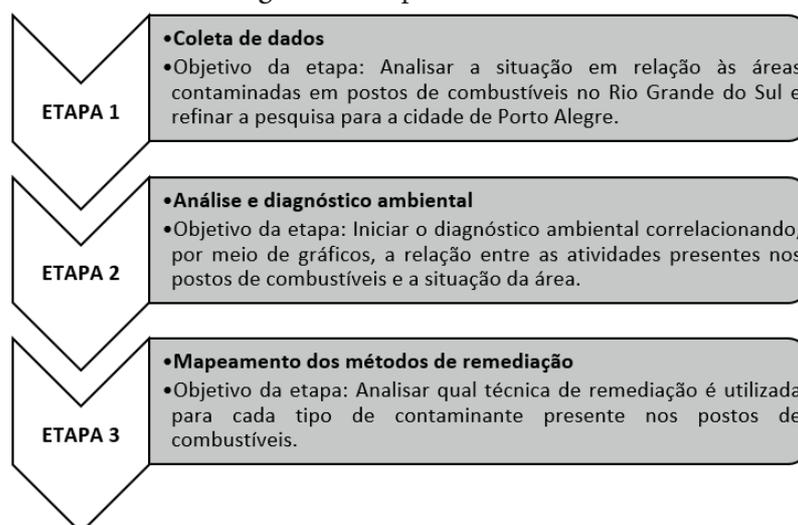
Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar um diagnóstico ambiental em postos de combustíveis localizados na cidade de Porto Alegre – RS que estão em processo de remediação de área contaminada. Além disso, visa mapear e identificar os possíveis métodos de descontaminação de acordo com cada contaminante presente nas águas subterrâneas.

METODOLOGIA

O presente trabalho foi estruturado em 3 etapas, conforme apresentado na Figura 1, sendo: (i) coleta de dados; (ii) análise e diagnóstico ambiental; e (iii) mapeamento dos métodos de remediação.

A Etapa 1 consistiu na coleta de dados obtidos do sistema interno da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler – FEPAM. Os dados foram coletados em 13 de março de 2020 e apresentaram o resultado de todos os postos de combustíveis do Rio Grande do Sul e a classificação quanto a situação da área. A partir deles, elaborou-se uma planilha no Excel para quantificar os postos no Estado e, assim, refinar a pesquisa para a capital, Porto Alegre.

Figura 1 – Etapas do trabalho.



Fonte: Elaborado pelas autoras (2020).

Na Etapa 2, os dados foram classificados conforme os seguintes itens: porte dos postos de combustível; postos que apresentam ou não troca de óleo; postos que apresentam ou não lavagem; e classificação referente à contaminação. Para a classificação da contaminação, as áreas foram divididas em seis categorias, são elas:

- Não contaminada: local onde nunca foi detectado contaminação;
- Avaliação: fase inicial, onde são investigadas questões históricas do local, para avaliar a possível existência de substâncias tóxicas na área (Resolução CONAMA 420/2009);
- Investigação: ocorre a confirmação ou não da existência de substâncias tóxicas ao meio ambiente e à saúde humana no solo ou nas águas subterrâneas, acima dos padrões estabelecidos na legislação (Resolução CONAMA 420/2009);
- Remediação: utilização de técnicas para descontaminar ou reduzir contaminantes presentes em uma determinada área (Resolução CONAMA 420/2009);
- Monitoramento para reabilitação: realizado por meio do acompanhamento de relatórios composto pelo resultado das análises realizadas nos poços de monitoramento encaminhados ao órgão ambiental. Quando os resultados das análises não estiverem mais acima dos parâmetros estabelecidos em lei, a área começa a ser monitorada para receber a classificação de reabilitada;
- Reabilitada: área liberada para o uso, as técnicas de remediação foram bem-sucedidas e o local está descontaminado.

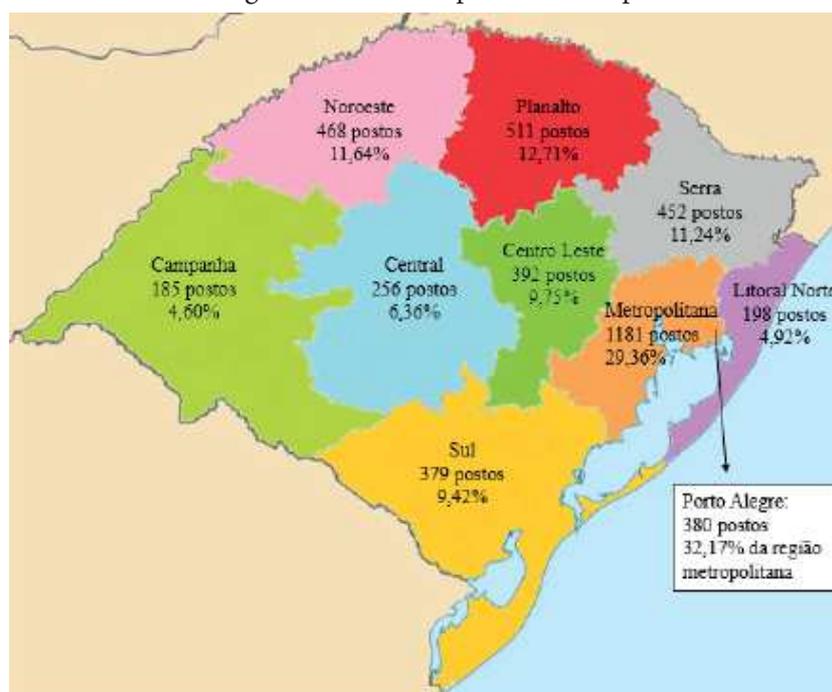
Após, foram elaborados gráficos comparativos utilizando os dados coletados, iniciando-se o diagnóstico ambiental e correlacionando as informações obtidas. A partir do diagnóstico realizado na Etapa 2, a Etapa 3 consistiu em mapear artigos científicos publicados, utilizando a base de dados Science Direct e as palavras chaves: processos oxidativos avançados, remediação, postos de combustíveis e BTEX, visando identificar e discutir os principais contaminantes presentes em postos de combustíveis e as tecnologias de remediação utilizadas para os determinados contaminantes.

RESULTADOS

Coleta de Dados

De acordo com a delimitação metodológica do presente trabalho, observou-se a existência de 4022 postos de combustíveis cadastrados no sistema da FEPAM, os quais são classificados em seis tipos de áreas de acordo com a evidência de contaminação. Os postos são divididos em regiões, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Divisão de regiões no Estado e percentual de postos de combustíveis



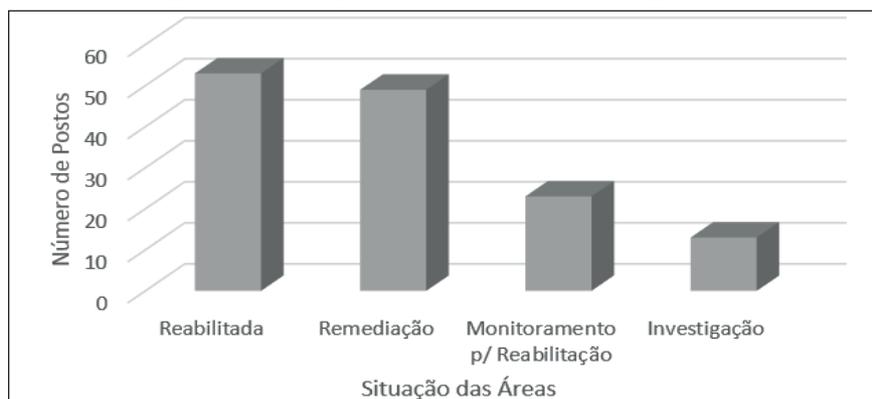
Fonte: Elaborado pelas autoras (2020).

De acordo com a Figura 2, observa-se que a região metropolitana possui 1181 postos, correspondendo a 29,36% do total de postos instalados no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, a capital do Estado, possui 380 postos, totalizando 32,17% dos estabelecimentos que pertencem a região metropolitana.

Análise e Diagnóstico Ambiental

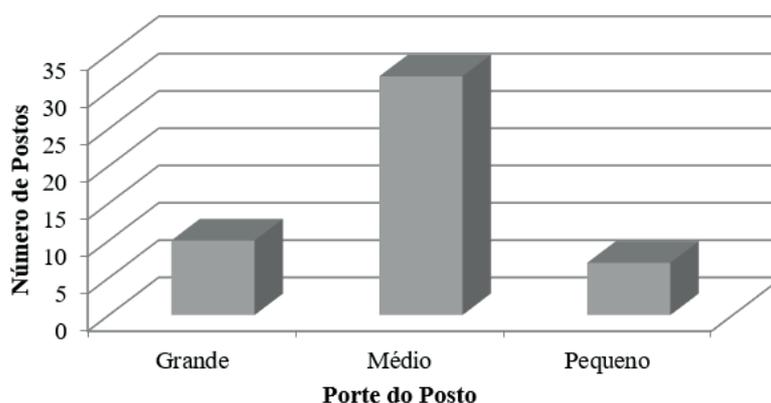
De acordo com a classificação proposta no presente trabalho, dos 380 postos de combustíveis da cidade de Porto Alegre, 242 são classificados como área não contaminada, equivalendo a 63,68%. Os outros 138 postos estão distribuídos de acordo com a Figura 3.

De acordo com a Figura 3, em situação de remediação, constatou-se 49 postos, (12,89%), e 53 são classificados como área reabilitada, (13,95%). Notou-se que, em Porto Alegre, há poucos postos contaminados em relação ao total cadastrado, isso pode estar correlacionado às ações de prevenção que o órgão ambiental exige dos empreendedores, como as análises semestrais nos poços de monitoramento, a fim de controlar possíveis indícios de contaminação.

Figura 3 – Situação das áreas em Porto Alegre - RS

Fonte: Elaborado pelas autoras (2020).

A Figura 4 apresenta a relação entre as áreas em remediação e o porte do estabelecimento. Pode-se observar que os postos com porte médio são evidenciados em maior número, compõem 65,30%, seguido dos postos com porte grande e pequeno. Ressalta-se que há uma pequena diferença entre esses dois portes, onde o grande compõe 20,40% da totalidade e o pequeno 14,30%.

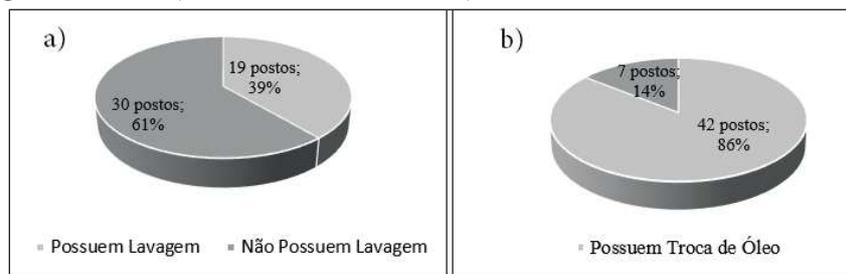
Figura 04 – Relação de áreas em remediação e o porte do posto de combustível

Fonte: Elaborado pelas autoras (2020).

Em Porto Alegre, há 228 postos enquadrados em porte médio, equivalendo a 60% da totalidade de postos na cidade. Em virtude de haver maior quantidade de empreendimentos neste porte, está dentro do esperado que haja maior número de postos com área contaminada em remediação. Verificou-se que dos 30 postos de grande porte na cidade, 10 estão em processo de remediação, ou seja 33,33% deles. Os postos de pequeno porte correspondem a 122 do total, sendo que apenas 7 deles estão em processo de remediação.

Para a cidade de Porto Alegre – RS, foram levados em consideração outras características dos postos de combustíveis, como a relação das áreas contaminadas com as atividades realizadas no comércio de combustíveis. Conforme é demonstrado na Figura 5a, a atividade de lavagem está presente na minoria dos postos que estão em processo de descontaminação - apenas 19 postos possuem a atividade citada. Em relação a troca de óleo, 86% dos postos que estão em processo de remediação possuem a atividade, enquanto apenas 14% não possuem, de acordo com a Figura 5b.

Figura 5a – Relação de áreas em remediação com a atividade de lavagem
Figura 5b – Relação de áreas em remediação com a atividade de troca de óleo



Fonte: Elaborado pelas autoras (2020).

Analisando a Tabela-01, verifica-se que em relação a todas as atividades oferecidas em um comércio de combustíveis que possui áreas contaminadas, os locais que apresentam apenas troca de óleo possuem maior destaque em relação as outras atividades, pois correspondem a 25 postos, 51,02%. Em seguida, encontram-se os locais que possuem lavagem e troca de óleo, que correspondem a 34,45% do total.

Tabela 01 – Relação de áreas em remediação com serviços oferecidos

Lavagem e Troca de Óleo	Lavagem e Troca de Óleo	Apenas Lavagem	Apenas Troca de Óleo	Nenhuma das Atividades
Número de Postos	17	2	25	5

Fonte: Elaborado pelas autoras (2020).

Diante dos dados apresentados, constatou-se que tanto a atividade de lavagem quanto a de troca de óleo estão presentes em postos que estão em processo de remediação. Esses serviços podem ser classificados como atividades que possuem potencial de contaminação, se o mesmo não apresentar os sistemas de controle exigidos pelo órgão ambiental, como piso impermeabilizado, sistema de armazenamento de óleo lubrificante usado e canaletas de contenção. O efluente gerado na troca de óleo e lavagem é direcionado por meio de canaletas coletoras para caixa separadora de água e óleo, que é o compartimento onde ocorre a separação da água das substâncias tóxicas, como: óleo, resquícios de gasolina e surfactantes, liberando assim, apenas água para a rede pública de esgotos e, conseqüentemente não havendo infiltração do efluente contaminado no solo.

Mapeamento dos Métodos de Remediação

A partir do momento da constatação da contaminação nos postos de combustíveis, seja em água ou solo subterrâneos, é necessário iniciar o processo de recuperação do local, para evitar maiores danos ao meio ambiente e à saúde pública (LIMA et al., 2017). A escolha da técnica de remediação deverá levar em consideração as características de cada contaminante e a urgência de remediar a área que é, geralmente, proporcional a pressão que as empresas receberão de órgãos ambientais para realizar a descontaminação (SANTOS; UNGARI; SANTOS, 2008).

Um grande número de técnicas de remediação vem sendo desenvolvidas a fim de eliminar os hidrocarbonetos do solo, pois eles são extremamente móveis no subsolo e biodegradáveis (MARQUES; GUERRA, [s.d.]).

Existem, atualmente, muitas tecnologias e métodos de descontaminação de solo e águas subterrâneas, sendo algumas delas:

- Pump-and-treat: é uma técnica utilizada em águas subterrâneas contaminadas com produtos químicos dissolvidos. Geralmente, realiza-se a instalação de poços de extração, dos quais a água é bombeada para a superfície do sistema de tratamento. Esse sistema é formado por um ou mais tipos de tratamento, dependendo se há mais de um tipo de contaminante ou se o mesmo está presente em grandes concentrações na água. Na maioria das vezes, utiliza-se carvão ativado. Posteriormente a água tratada pode ser devolvida ao subsolo ou descarregada para posterior descarte (USEPA, 2012a).
- Oxidação química: pode ser aplicada em muitos tipos de contaminantes, como combustíveis, solventes e pesticidas. É realizada “in situ”, ou seja, no local da origem da contaminação, adicionando-se oxidantes nos poços, que são instalados em diferentes profundidades para atingir o máximo de dissolução e contaminação não dissolvida possível. Após o oxidante ser bombeado pelos poços, se espalha para o solo e águas subterrâneas, onde mistura e reage com os contaminantes, transformando-os em substâncias menos tóxicas. Os principais oxidantes utilizados são permanganato, persulfato, peróxido de hidrogênio e ozônio. Também é comum a adição de catalisadores, pois eles aumentam a velocidade de reação, otimizando o processo (USEPA, 2012b).
- Fitorremediação: técnica aplicada em locais que possuem baixos níveis de contaminantes, pois utilizam-se plantas para limpar os ambientes contaminados. Além de remover ou decompor os produtos químicos presentes na água subterrânea e no solo, as plantas ajudam a impedir que o fluxo das águas subterrâneas transporte os contaminantes para outro local. É um processo natural, que demanda menor mão de obra e equipamentos (USEPA, 2012c).
- Air stripping: utilizada em contaminantes voláteis, como os compostos orgânicos voláteis (VOC). O processo define-se em coletar o gás presente na água subterrânea por meio de um removedor de ar de coluna. A água subterrânea é bombeada para a superfície e em seguida, para a parte superior do tanque. À medida que a água percorre as bandejas presentes no tanque, um ventilador localizado na parte inferior sopra o ar para a parte de superior. Os gases tóxicos acumulam-se na parte superior do removedor de ar e a água tratada é retirada pela parte inferior. A água recolhida é testada e, se atender as legislações ambientais, poderá ser bombeada novamente para o subsolo (USEPA, 2012d).
- Processos Oxidativos Avançados (POAs): são definidos como processos de oxidação em que se utiliza como agente oxidante químico o radical hidroxila, pois ele é capaz de reagir com a maioria dos compostos orgânicos, devido a sua alta reatividade (DONAIRE, 2007).

Dentre estes métodos, destacam-se os processos oxidativos avançados (POAs), que sendo cada vez mais utilizados como métodos de descontaminação de solos e águas subterrâneas, devido à capacidade de degradar a maioria das substâncias orgânicas (TÔRRES; AZEVEDO, 2008). Os POAs são empregados

quando têm-se contaminantes pouco degradáveis e que possuem elevada toxicidade, pois o radical hidroxila oxida a matéria orgânica, devido a sua alta reatividade e pouca seletividade, fazendo com que ocorra a mineralização do contaminante (MELO et al., 2009).

Os POAs reagem com os contaminantes e os transformam, geralmente, em dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos, ou seja, substâncias menos tóxicas que o contaminante primário (TEIXEIRA; JARDIM, 2004). Porém, nem sempre o processo ocorre gerando subprodutos menos tóxicos. Em alguns casos, poderá haver formação de produtos com elevada toxicidade, podendo atingir maiores níveis que o contaminante original (FIOREZE; SANTOS; SCHMACHTENBERG, 2014). Em virtude disso, é fundamental a realização de testes de bancada antes da aplicação de qualquer uma das tecnologias, para avaliar a toxicidade dos produtos, verificar se o método escolhido trará os resultados esperados em cada escala de aplicação, uma vez que cada um dos métodos possui restrições quanto a sua utilização e para determinar a dosagem dos produtos químicos.

Segundo Domènech et al (2001) e Fioreze et al (2014) os processos oxidativos avançados são recomendados para tratamentos em pequena e, no máximo, média escala e possuem indicações para serem utilizados em locais com baixa concentração de contaminantes. Também, é importante salientar que esses métodos, quando assistidos por radiação ultravioleta, não são adequados quando o contaminante possui alto nível de absorção e sólidos em suspensão presentes no meio, pois a eficiência do processo diminui, ocasionando perda de luz, dispersão e absorção competitiva (DOMÈNECH; JARDIM; LITTER, 2001).

Os radicais hidroxila são gerados por meio de reações químicas que contém oxidantes fortes, como ozônio, peróxido de hidrogênio, radiação ultravioleta e semicondutores, como o dióxido de titânio (MANSILLA et al., 1997). Conforme Teixeira e Jardim (2004), os processos oxidativos avançados podem ser divididos em heterogêneos e homogêneos. Os processos heterogêneos contam com a presença de catalisadores para elevar a velocidade das reações químicas e, conseqüentemente, otimizar o processo; já os processos que não utilizam catalisadores são chamados de homogêneos.

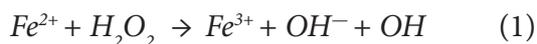
Ainda, de acordo com Teixeira e Jardim (2004), os POAs apresentam inúmeras vantagens, como:

- Mineralizam os poluentes;
- Podem ser utilizados em compostos que suportam altas temperaturas;
- Transformam produtos que suportam altas temperaturas em compostos biodegradáveis;
- Podem ser usados unificados com outros tratamentos;
- Possuem forte poder oxidante e alta cinética de reação;
- Geralmente, não geram resíduos e nem formam subprodutos;
- Na maioria das aplicações do método, consomem menos energia, possuindo menor custo;
- O tratamento pode ser realizado in situ.

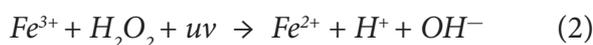
Foto-Fenton

Conforme Cavalcanti, et al (2010) e Vieira et al. (2018) as reações foto-fenton estão sendo bastante utilizadas em estudos recentes, uma vez que o reagente fenton, formado pelo íon ferroso e peróxido de

hidrogênio em meio ácido, está sendo eficiente em remover contaminantes orgânicos, inclusive compostos aromáticos presentes em água subterrânea ou solo. A eficiência do processo deve-se ao radical hidroxila, produzido conforme demonstrado na Equação (1).



O íon ferroso reage com o peróxido de hidrogênio, formando íon férrico, um hidróxido e um radical hidroxila. O íon férrico, na presença de água oxigenada e radiação ultravioleta, regenera o íon ferroso e libera um íon H^+ e um radical hidroxila, conforme a Equação (2).



Então, o radical hidroxila formado reage com o contaminante e, como produto, obtém-se água e a matéria orgânica oxidada, de acordo com a Equação (3).



O pH da reação é um fator determinante nesse processo, pois conforme Vieira, et al, 2018, quando a reação é realizada com pH 3,0, o processo possui melhores resultados. O aumento do valor do pH da reação causa aumento da precipitação do ferro, catalisador do processo, na forma de peróxidos, diminuindo a eficiência do método (LU, 2000).

Também, é necessário levar em consideração as concentrações de peróxido de hidrogênio e íons ferrosos, uma vez que elas devem variar de acordo com o grau e tipo de contaminação. Na Equação 1 utiliza-se o íon Fe^{2+}/H_2O_2 combinados, pois a reação ocorre mais rapidamente que se fosse utilizado o reagente Fe^{3+}/H_2O_2 . Isso ocorre devido à baixa reatividade do íon férrico com o peróxido de hidrogênio (SILVA, 2007).

Apesar de o processo se mostrar eficiente para a remoção de contaminantes orgânicos, a utilização de pH reacional baixo é considerado uma desvantagem do método, pois afeta negativamente as propriedades e qualidade do solo. O reagente fenton, também pode gerar gases em grande quantidade, podendo aumentar o risco de explosões e com isso, ocorrer acidentes durante o processo (CORREA, 2017).

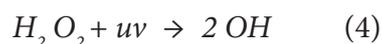
H_2O_2/UV

Em comparação a outros processos oxidativos avançados, como fenton, ozônio, UV/O_3 , UV/TiO_2 , o método que utiliza o peróxido de hidrogênio combinado com a radiação ultravioleta apresenta algumas vantagens como a completa miscibilidade com a água, estabilidade e o fácil acesso comercial (NAGEL-HASSEMER et al., 2012).

O peróxido de hidrogênio e a radiação UV separadamente não são eficientes na remoção de contaminantes porém, quando combinados, são muito eficientes, e isso deve-se a grande facilidade de produção dos radicais hidroxila, uma vez que são altamente oxidantes (TEIXEIRA; JARDIM, 2004) (SILVA, 2007). Tanto a radiação ultravioleta artificial, como a solar, são eficientes em quebrar as moléculas de peróxido de hidrogênio presentes no meio (MORIMOTO; ALMEIDA; RIZK, 2013).

O mecanismo mais aceito para a decomposição química do peróxido de hidrogênio combinado com a radiação ultravioleta é a quebra da molécula em radicais hidroxila, com rendimento de dois radicais hidroxila para cada molécula de peróxido de hidrogênio, conforme está expresso na Equação 4. Esses radicais

podem também ser recombinados, possuindo como produto o peróxido de hidrogênio, de acordo com a Equação 5 (HUANG; DONG; TANG, 1993) (LEGRINI; OLIVEROS; BRAUN, 1993).



Este processo é realizado utilizando como radiação ultravioleta lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa e média pressão, obtendo emissão máxima em 254 nm. O mais adequado seria o uso de lâmpadas Xe/Hg, uma vez que a absorção do peróxido de hidrogênio é máxima em 220 nm, e elas possuem um intervalo de emissão de 210-240 nm, porém aumentariam o custo do processo, pois possuem um valor mais elevado (POLEZI, 2003).

Conforme Fioreze et al (2014), as principais vantagens da utilização do peróxido de hidrogênio combinado com a radiação ultravioleta é o fato de o H_2O_2 ser solúvel em água, gerar dois radicais hidroxila por molécula fotolisada, estabilidade térmica e é um procedimento considerado simples. Em relação as desvantagens estão o custo elevado do processo, o fato de o peróxido de hidrogênio capturar os radicais hidroxila e a taxa de oxidação química do poluente acaba por ser limitada pela taxa de formação dos radicais hidroxila.

Com base nos resultados apresentados, é possível inferir que existem inúmeras técnicas de remediação para águas e solos subterrâneos. Cabe salientar que, independente da técnica escolhida, é necessário realizar testes em laboratório para avaliar como cada componente irá se comportar ao reagir com os contaminantes BTEX, encontrados nos postos de combustíveis, e assim avaliar a eficiência de cada processo na remediação.

A partir dos artigos consultados foi possível evidenciar que os processos oxidativos avançados possuem uma alta gama de aplicações, obtendo resultados ótimos para determinados contaminantes e não tão bons para outros, considerando todas as variáveis de cada método. Em relação a aplicação desses processos em postos de combustíveis há uma lacuna na literatura, onde não foi evidenciado estudo comprovando a eficiência dessas tecnologias aplicadas nesses empreendimentos, bem como não foi observado a realização de mapeamentos sobre as técnicas utilizadas nos postos de combustíveis no Rio Grande do Sul.

CONCLUSÃO

Conforme apresentado no presente trabalho, é de suma importância que os responsáveis por comércios revendedores de combustíveis atendam, de maneira integral, as condicionantes da licença de operação do empreendimento, a fim de evitar gerar maiores impactos ambientais, visto que a atividade possui alto potencial poluidor. Por meio das análises dos poços de monitoramento e avaliação do sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis é possível identificar possíveis contaminações e vazamentos em fase inicial, facilitando o processo de remediação.

Conforme o diagnóstico realizado, evidenciou-se que no estado do Rio Grande do Sul, estão cadastrados no sistema da FEPAM, 4022 postos de combustíveis, sendo 380 na cidade de Porto Alegre, capital. Também se observou que há poucos postos em processo de remediação ativos, 12,89% na cidade, sendo eles em sua maioria de porte médio e postos que possuem atividades como troca de óleo e lavagem.

A remediação das áreas contaminadas é de responsabilidade do proprietário do posto e mediante análises e mão de obra qualificada é evidenciado o melhor método para a descontaminação do local, uma

vez que existem inúmeras tecnologias disponíveis no mercado. É necessário avaliar qual delas melhor se adequa para cada situação e, atualmente, as técnicas mais utilizadas são: pump and treat, oxidação química, fitorremediação, air stripping e processos oxidativos avançados.

Os processos oxidativos avançados estão se destacando pela capacidade de mineralizar diversos compostos orgânicos, porém conforme pesquisas realizadas, utilizando a base de dados Science Direct, não foi evidenciado artigos que apresentassem aplicação dessas tecnologias nos postos de combustíveis. Então, foi observado que há esta lacuna na literatura, necessitando de testes e aplicações desses processos aplicados em solo e águas subterrâneas dos postos de combustíveis.

REFERÊNCIAS

CARDOSO, J. E. T.; LODI, P. C.; BARROS, A. M. T. C. DE. Técnicas Associadas de Remediação de Contaminação da Água e do Solo por Hidrocarbonetos: Estudo de Caso em Posto de Combustível. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 5, p. 18–28, 2017.

CAVALCANTI, J. V. F. L.; Et al. Utilização dos Processos Oxidativos Avançados Fenton e Percarbonato de Sódio para Tratamento de Solo Contaminado com Óleo Diesel. **2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**, 2010.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **O que são Áreas Contaminadas**, 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/o-que-sao-areas-contaminadas/>>. Acesso em: 09 mai. 2020.

CONAMA. **Resolução Nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. 2009. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 27 abr. 2020.

CORREA, T. P. Avaliação do Gerenciamento de Áreas Contaminadas por Hidrocarbonetos Derivados de Petróleo em Postos Revendedores de Combustíveis no Estado do Rio Grande do Sul. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2017.

CORSEUIL, H. X.; MARINS, M. D. M. Contaminação de Águas Subterrâneas por Derramamentos de Gasolina: O Problema é Grave?. **Revista Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 2, n. 2, p. 50–54, 1997.

DOMÈNECH, X.; JARDIM, W. F.; LITTER, M. I. Procesos Avanzados de Oxidación para la Eliminación de Contaminantes. **Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea**, 2001.

DONAIRES, P. P. R. Tratamento De Água Subterrânea Contaminada Com BTEX Utilizando Fotocatálise Heterogênea. **Universidade Estadual de Campinas – Instituto de Química**. p. 93, 2007.

FEPAM - Fundação de Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luís Roessler. **Portaria nº 22, de 27 de março de 2019**. Dispõe sobre critérios, diretrizes gerais e os procedimentos a serem seguidos no Licenciamento Ambiental de empreendimentos do ramo Comércio Varejista de Combustíveis, no Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. Diário Oficial União - 08 abr. 2019.

FIGLIOLINI, M.; SANTOS, E. P. DOS; SCHMACHTENBERG, N. Processos Oxidativos Avançados: Fundamentos E Aplicação Ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 79–91, 2014.

GANDOLFI, M. V. C.; PONTES, W. Fotocatálise: Tratamento Alternativo para Águas Subterrâneas Contaminadas BTEX. **Revista Engenharia em Ação UniToledo**, v. 3, p. 118–129, 2018.

GODOI, A. F. L.; FAVORETO, R.; SANTIAGO-SILVA, M. Contaminação Ambiental por Compostos Organoestânicos. **Química Nova**, v. 26, n. 5, p. 708–716, 2003.

GOMES, C. C.; COUTINHO, R. C. P. Técnicas para Remediação de Aquíferos Contaminados por Vazamentos de Derivados de Petróleo em Postos de Combustíveis. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2007.

- HUANG, C. P.; DONG, C.; TANG, Z. Advanced Chemical Oxidation: Its Present Role and Potential Future in Hazardous Waste Treatment. **Waste Management**, v. 13, n. 5-7, p. 361-377, 1993.
- LEGRINI, O.; OLIVEROS, E.; BRAUN, A. M. Photochemical Processes for Water Treatment. **Chemical Reviews**, v. 93, p. 671-698, 1993.
- LIMA, R. M. D. S. Avaliação de Risco à Saúde Humana Decorrentes da Contaminação da Água Subterrânea por BTEX Provenientes de Postos de Revenda de Combustíveis em Manaus. **Universidade Federal do Amazonas**, p. 94, 2010.
- LIMA, S. D. DE et al. Gerenciamento de Áreas Contaminadas por Postos de Combustíveis em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 12, p. 299-315, 2017.
- LOURENÇO, E. S. D. O. Avaliação Físico-Química da Remediação de Solos Contaminados por BTEX. **Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas**, p. 116, 2006.
- LU, M. C. Oxidation of chlorophenols with hydrogen peroxide in the presence of goethite. **Chemosphere**, p. 125-130, 2000.
- MANSILLA, H. D. et al. Homogeneous and Heterogeneous Advanced Oxidation of a Bleaching Effluent from the Pulp and Paper Industry. **Wat.Sci.Tech.**, v. 35, p. 273-278, 1997.
- MARQUES, E. DE M.; GUERRA, A. J. T. Solos Contaminados por Hidrocarbonetos de Petróleo. **Universidade Federal do Rio de Janeiro**, [s.d.].
- MELO, S. A. S. et al. Degradação de Fármacos Residuais por Processos Oxidativos Avançados. **Química Nova**, v. 32, p. 188-197, 2009.
- Ministério do Meio Ambiente. Áreas Contaminadas. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/areas-contaminadas.html>>. Acesso em: 09 mai. 2020.
- MOMENTI, T. J. Processo Anaeróbio Conjugado com Processos Oxidativos Avançados (POA) no Tratamento dos Efluentes do Processo Industrial de Branqueamento da Polpa Celulósica. **Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo**, 2006.
- MORIMOTO, L. H.; ALMEIDA, P. M. A.; RIZK, M. C. Aplicação De Luz Uv Solar Associada Com Peróxido De Hidrogênio No Tratamento Da Vinhaça. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, p. 321-330, 2013.
- NAGEL-HASSEMER, M. E. et al. Processo UV/H₂O₂ Como Pós-Tratamento para Remoção de Cor e Polimento Final em Efluentes Têxteis. **Química Nova**, v. 35, p. 900-904, 2012.
- POLEZI, M. Aplicação De Processo Oxidativo Avançado (H₂O₂/Uv) No Efluente De Uma Ete. **Universidade Estadual de Campinas**, 2003.
- SANTOS, E.; UNGARI, H. C. N.; SANTOS, M. B. DOS. Principais Técnicas de Remediação e Gerenciamento de Áreas Contaminadas por Hidrocarbonetos no Estado de São Paulo. **Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP**, 2008.
- SILVA, P. T. DE S. E. Estudo dos Processos Oxidativos Avançados para o Tratamento dos Solos Contaminados por Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos. **Universidade Federal de Pernambuco**, 2007.
- SOUZA, B. M. DE. Avaliação de Processos Oxidativos Avançados Acoplados com Carvão Ativado Granulado com Biofilme para Reúso de Efluentes de Refinaria de Petróleo. **Universidade Federal do Rio de Janeiro**, 2010.
- TEIXEIRA, C. P. D. A. B.; JARDIM, W. D. F. Processos Oxidativos Avançados: Conceitos Teóricos. Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), **Caderno Temático**, v. 03, p. 83, 2004.
- TÔRRES, V. B. V. E. A. R.; AZEVEDO, E. B. Degradação de Corantes Ácidos por Processos Oxidativos Avançados usando um Reator com Disco Rotatório de Baixa Velocidade. **Química Nova**, v. 31, p. 1353-1358, 2008.

USEPA [a] - United States Environmental Protection Agency. **A Citizen's Guide to Pump and Treat EPA/542/F-12-017**. September, 2012. Disponível em: <https://clu-in.org/download/Citizens/a_citizens_guide_to_pump_and_treat.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2020.

USEPA [b] - United States Environmental Protection Agency. **A Citizen's Guide to In Situ Chemical Oxidation EPA/542/F-12-011**. September, 2012. Disponível em: <https://clu-in.org/download/Citizens/a_citizens_guide_to_in_situ_chemical_oxidation.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2020.

USEPA [c] - United States Environmental Protection Agency. **A Citizen's Guide to Phytoremediation EPA/542/F-12/016**. September, 2012. Acesso em: 08 mai. 2020. Disponível em: <https://clu-in.org/download/Citizens/a_citizens_guide_to_phytoremediation.pdf>.

USEPA [d] - United States Environmental Protection Agency. **A Citizen's Guide to Air Stripping EPA/542/F-12/002**. September, 2012. Disponível em: <<http://www.clu-in.org/download/citizens/airstripping.pdf>>. Acesso em: 08 mai. 2020.

VIEIRA, S. M. M.; COSTA, T. B.; NAVES, F. L. Commercial Use of Advanced Oxidative Process (Photo-Fenton) in the Treatment of Effluent To the Basis of Commercial Gasoline. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 04, n. 1, p. 14–18, 2018.