



AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ATENUAÇÃO NATURAL MONITORADA EM SOLOS CONTAMINADOS POR ÓLEO DIESEL

DOI: 10.19177/rgsa.v9e32020150-172

Jeferson Santos Santana¹
Henrique Torres de Campos²
Exedito Jose de Queiroz Oliveira³
Elisangela Silvana Cardoso⁴

RESUMO

Em vista da eficiência comprovada da biorremediação na degradação de compostos tóxicos como o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) devido à necessidade cada vez maior em busca do petróleo e seus derivados, pela indústria petroquímica e pela função do petróleo como fonte energética atual, em diversas empresas em especial as relacionadas com consultorias e remediação ambiental, têm estimulado grandes interesses pela realização da biorremediação como opção para a recuperação de áreas contaminadas sabendo que o gerenciamento dessas áreas tem como objetivo diminuir os riscos à saúde humana por meio da compreensão das características do local contaminado e dos impactos causados pelos contaminantes. A Biorremediação é uma tecnologia segura e eficiente quando comparada aos processos físicos e químicos convencionais utilizados no tratamento de locais contaminados. O petróleo e seus derivados, quando no ambiente, ocasionam grande impacto ecológico, além de infringirem a legislação ambiental. No entanto, o petróleo é uma fonte com alto teor de carbono e, por isso, seus hidrocarbonetos são atacados por micro-organismos quando entra em contato com o ar e umidade. O objetivo do presente estudo foi avaliar a aplicação da técnica de atenuação natural monitorada (utilizando-se óleo e farelo de soja como bioestimulantes) como biorremediador em solo contaminado com o óleo diesel. O estudo foi realizado a partir do monitoramento da alteração de densidade do contaminante em função do tempo, o qual apresentou-se satisfatório devido a eliminação de bandas de absorção do contaminante acompanhada por espectrofotometria do UV-Vis.

Palavras-chave: Atenuação natural monitorada. Óleo diesel. Contaminação, Biorremediação. Recuperação.

¹ E-mail: jeffquimico@gmail.com

² E-mail: henriquetdcampos@gmail.com

³ E-mail: expeditojose3@gmail.com

EVALUATION OF THE FEASIBILITY OF APPLICATION OF THE NATURAL ATTENUATION MONITORED IN DIESEL OIL CONTAMINATED SOILS

ABSTRACT

In view of the proven efficiency of bioremediation in the degradation of toxic compounds such as benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes (BTEX) due to the increasing need in search of oil and its derivatives, by the petrochemical industry and the role of oil as a current energy source, in several companies, especially those related to consultancy and environmental remediation, have stimulated great interest in the realization of bioremediation as an option for the recovery of contaminated areas, knowing that the management of these areas aims to reduce the risks to human health through the understanding of characteristics of the contaminated site and the impacts caused by the contaminants. Bioremediation is a safe and efficient technology when compared to conventional physical and chemical processes used to treat contaminated sites. Petroleum and its derivatives, when in the environment, cause great ecological impact, in addition to violating environmental legislation. However, oil is a source with a high carbon content and, therefore, its hydrocarbons are attacked by microorganisms when they come into contact with air and moisture. The objective of the present study was to evaluate the application of the monitored natural attenuation technique (using oil and soybean meal as biostimulants) as a bioremediator in soil contaminated with diesel oil. The study was carried out by monitoring the change in the density of the contaminant as a function of time, which was satisfactory due to the elimination of bands of absorption of the contaminant accompanied by spectrophotometry of UV-Vis.

Keywords: monitored natural attenuation; diesel oil; contamination, bioremediation; recovery.

1 INTRODUÇÃO

A aceleração dos processos industriais, principalmente no século XX, geraram os chamados poluentes ambientais. Estes, por sua vez, trouxeram grandes quantidades de resíduos que não eram tratados totalmente ou simplesmente administrados de forma inequívoca sendo aterrados ou descartados de qualquer forma (MACHADO, 2013). Uma das preocupações mais comuns em termos de contaminação industrial são os derrames de hidrocarbonetos, quer sejam acidentais, negligenciados ou propositados (COSTA, 2015).

Embora a biorremediação tenha destaque entre as técnicas de remediação disponíveis utilizadas para a descontaminação de ambientes impactados por hidrocarbonetos, a reduzida solubilidade desses compostos dificulta o acesso dos microrganismos e a consequente biodegradação dos poluentes (RUFINO, 2013). Uma das possíveis soluções para a baixa disponibilidade dos poluentes hidrofóbicos consiste no uso de surfactantes. No cenário brasileiro atual, existe uma preocupação maior relacionada a esse tipo de processo, o Brasil vem desenvolvendo suas próprias tecnologias e também se adaptando às tecnologias existentes e as suas condições ambientais e climáticas. Técnicas físicas, químicas e biológicas vêm sendo desenvolvidas para a remoção de petróleo derramado e para a redução de seus efeitos sobre o ecossistema.

Dentre as técnicas desenvolvidas, a biorremediação que utiliza microrganismos capazes de reduzir ou eliminar os contaminantes, vem se destacando como uma alternativa viável e promissora para o tratamento de solos contaminados por hidrocarbonetos (ANDRADE, 2010).

A partir da constatação dessa capacidade, diferentes estratégias de descontaminação do ambiente, coletivamente denominadas de técnicas de biorremediação, utilizam o potencial microbiano para a degradação de contaminantes e recuperação ambiental (BADZINSKI, 2018). Na atenuação natural, a biorremediação ocorre de forma passiva, sem nenhuma forma de intervenção humana, de maneira que apenas os microrganismos indígenas do local tenham atuação na biodegradação dos compostos. A atenuação natural costuma iniciar lentamente, pois é necessário que os microrganismos nativos do solo se adaptem às novas condições na presença do contaminante. Microrganismos degradadores passam então a utilizar o contaminante orgânico como fonte alternativa de carbono e energia na produção de biomassa, ocasionando a redução da concentração do contaminante ao longo do tempo (SOUZA, 2013; MEYER, 2015). A biodegradação costuma aumentar após a seleção e adaptação dos microrganismos frente aos contaminantes.]



1.1 Contaminação dos Solos por derivados de Petróleo

As atividades de exploração, produção, refino e transporte de petróleo e de seus derivados apresentam riscos ambientais devido à existência de constituintes tóxicos em sua composição, assim como em seus resíduos. Os riscos de derrames acidentais durante a extração do petróleo, seu processamento e obtenção dos derivados, bem como dos possíveis vazamentos dos produtos armazenados, são consideráveis. A adição do biodiesel ao diesel não traria apenas benefícios, pois o biodiesel pode aumentar o potencial corrosivo da mistura, o que aumentaria os riscos de contaminação devido a vazamentos no solo, visto que esses combustíveis costumam ser armazenados em tanques metálicos subterrâneos em postos de revenda. Assim, a crescente demanda de uso dos combustíveis, derivados de petróleo ou mesmo de fontes renováveis, torna-se preocupante, pois com o aumento do consumo aumentam também os casos de derramamento dessas substâncias que contaminam o solo, água e o ar, trazendo riscos eminentes à saúde humana e às 15 mais diversas formas de vida (BADZINSKI, 2018).

No que respeita ao movimento dos contaminantes, o estudo macroscópico do comportamento do meio poroso é extraordinariamente complexo, dada a geometria complicada dos poros e canaliculos pelos quais circula o fluido e o teor em matéria orgânica tem também, neste domínio, um papel muito importante (JORGE, 2017).

A matéria orgânica do solo é constituída por compostos de carbono em diferentes graus de associação com as fases minerais do solo originados a partir da decomposição de resíduos vegetais e animais. Além destes existem os aspectos biológicos que estão relacionados com microrganismos benéficos encontrados na matéria orgânica. Nos ambientes tropicais, a matéria orgânica do solo tem importância elevada. É amplamente reconhecida por seus efeitos benéficos à física e química dos solos devido a melhor agregação e retenção de água (ZANDONADI, 2013).

Quando se analisa uma solução contaminante, deve-se levar em consideração os processos físicos, que garantem o transporte do fluido nos solos, o espalhamento do contaminante no solo e a influência dos processos bio-físicos-químicos, a permeabilidade dos solos é de extrema importância para o estudo dos transportes de contaminantes nos solos, pois representa o movimento do fluido pela massa porosa. A distribuição de poros para cada tipo de solo é diferente, devido ao seu processo de formação (grau de laterização). A maior intemperização dos solos lateríticos gera maior complexidade na

estrutura dos vazios do solo, causando um aumento na dispersividade do transporte de contaminantes no meio, favorecendo o espalhamento de soluto (CONCIANI, 2016).

A contaminação do solo caracteriza-se pela presença de substâncias, organismos ou microrganismos nefastos em quantidades prejudiciais ao ecossistema ou para a saúde humana. Os derrames e as perdas de hidrocarbonetos para o solo constituem uma das mais significativas formas de contaminação das reservas de água. A natureza e a extensão do transporte dos contaminantes no meio são condicionadas pelas suas propriedades físico-químicas (densidade de vapor, solubilidade, viscosidade, etc.), as substâncias existentes nesses locais podem ter vários efeitos nocivos e designam-se por contaminantes e/ou por poluentes, mas a sua repercussão é mais vasta e o custo total da remediação é em geral elevada (JORGE, 2017).

Segundo USEPA (2016), os fatores de desaceleração o transporte dos hidrocarbonetos e solventes em subsuperfície são:

- Adsorção, quando as moléculas são atraídas para a superfície das partículas de solo por forças químicas ou elétricas;
- Absorção, quando o contaminante fica preso nos poros do solo devido às forças capilares;
- Degradação do produto, principalmente por biodegradação, que é o fator de atenuação de poluição por hidrocarbonetos mais expressivo e estudado.

O solo é uma parte vital do meio ambiente. Ela influencia a distribuição de espécies vegetais e fornece um habitat para um grande número de organismos. Também funciona como um sistema de filtragem entre a atmosfera e a terra para águas superficiais e produtos químicos. O solo é relevante para o destino da sociedade por causa dos bens, recursos e serviços que fornece à humanidade. (SOARES, 2018)

O processo de solubilização de uma substância química resulta da interação entre a espécie que se deseja solubilizar (soluto) e a substância que a dissolve (solvente), e pode ser definida como a quantidade de soluto que dissolve em uma determinada quantidade de solvente, em condições de equilíbrio. É uma propriedade física (molecular) importante que desempenha um papel fundamental no comportamento das substâncias químicas, especialmente dos compostos orgânicos. Além disso, o conhecimento da solubilidade é necessário para a previsão do destino ambiental de contaminantes e poluentes e processos de adsorção no sol (KATRITZKY, 2010).

Devido ao grande número de compostos orgânicos constituídos através da presença de ligações C-H (fracamente polares) e à simetria dos arranjos formados em torno dos átomos de carbono, estes formam um grande número de espécies, cujos momentos de dipolo resultantes são iguais a zero ou próximos de zero, sendo caracterizados como apolares. Por outro lado, estudos recentes comprovaram experimentalmente a formação de ligação entre a nuvem π do benzeno (e de outros aromáticos) e o hidrogênio da molécula de água, evidenciando assim a formação de uma ligação de hidrogênio do tipo π . A conversão de uma ligação de hidrogênio água-água em uma ligação de hidrogênio água-benzeno (nuvem π) é favorecida pela entropia ($\Delta S > 0$), mas desfavorecida pela entalpia ($\Delta H > 0$). Apesar de incomum, este tipo de ligação pode ter relevância em processos biológicos. É importante ressaltar que a interação elétrons π - hidrogênio não afeta a solubilidade do benzeno em água (0,07 g/100 g de H₂O a 23 °C), portanto, o seu comportamento é o apresentado, em geral, pelos hidrocarbonetos: pouco solúveis em água e solúveis em solventes apolares (MARTINS, 2013).



A gasolina e o óleo diesel são combustíveis derivados do petróleo, que é uma mistura complexa de hidrocarbonetos gerados durante milhões de anos pela decomposição da matéria orgânica de plantas aquáticas e animais pré-históricos. Nele estão presentes alcanos, alcenos, alcinos, cicloalcanos (também chamados naftenos), aromáticos e outros (FOGAÇA, 2015). Dessa maneira, conferem à gasolina uma maior mobilidade no solo e, conseqüentemente, um maior potencial de impacto ambiental.

A gasolina e o óleo diesel são uns dos derivados do petróleo mais requisitados no mundo, tratando-se de uma mistura complexa de hidrocarbonetos, a qual apresenta ponto de ebulição entre 30 e 250°C e envolve mais de 1.200 compostos de carbono, dentre eles os aromáticos. Os hidrocarbonetos benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno, que possuem o anel benzênico em sua estrutura, são os primeiros constituintes da gasolina que atingem o lençol subterrâneo em casos de vazamentos. Isso ocorre porque eles são os compostos que possuem maior solubilidade em água, com 1.780, 534, 161,2 e 157 mg.L⁻¹, para benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, respectivamente e também estão presentes no óleo diesel (RODRIGUES, 2017).

Os BTEX e o etanol têm a capacidade de serem adsorvidos na superfície dos minerais e na matéria orgânica do solo. Os primeiros são altamente voláteis. Em contato

com o solo, estes compostos têm comportamentos distintos, que ditam o transporte no meio poroso, e que são definidos pelas suas propriedades físico-químicas (PAULA MARTINS, 2015). A presença de etanol na gasolina aumenta a solubilidade do BTEX, dificulta a biodegradação natural e aumenta a persistência do BTEX na água do subsolo. O conhecimento das propriedades físico-químicas dos BTEX e do etanol é de grande importância, já que auxiliam na interpretação dos resultados obtidos na fase de avaliação do grau de contaminação de uma área e na seleção das tecnologias de tratamento de solos adequadas à situação (DA SILVA MATTOS JR; QUADROS MAIA, 2017).

O óleo diesel é um combustível derivado do petróleo, constituído basicamente por hidrocarbonetos, que variam de 8 a 38 átomos de carbono em sua cadeia (C_8 a C_{38}), sendo que aproximadamente 40% são de n-alcanos; 39%, de iso e cicloalcanos; 20%, de hidrocarbonetos aromáticos; e o restante é formado por isoprenóides com o enxofre, oxigênio e nitrogênio. É um produto inflamável, medianamente tóxico, volátil, isento de material em suspensão e com odor forte e característico. Contudo, a composição de um óleo diesel específico dependerá da fonte do petróleo, do método de produção e dos processos de destilação. O óleo diesel pode também conter vários aditivos na sua composição final, tais como: inibidores de corrosão, surfactantes e aditivos para melhorar a estabilidade e a ignição (JUNIOR, 2012).

Nas últimas décadas a poluição causada por derivados de petróleo tem sido bastante frequente, principalmente em decorrência de vazamentos, derrames e acidentes durante a exploração, refinamento, transporte e operações de armazenamento e distribuição, o que representa uma fonte contínua de contaminação dos solos e dos sistemas hídricos, com reflexos negativos nos ecossistemas envolvidos e na saúde humana (ANDRADE, 2010).

Segundo Oliveira (1998), Uma vez no solo, os combustíveis podem se dispersar de diversos modos, dependendo de vários fatores, entre os quais: a quantidade de líquido despejada; as características físico-químicas dos materiais do solo; as propriedades físico-químicas do contaminante; a profundidade do lençol freático; e a presença de estruturas subterrâneas de origem antropogênica. Ao serem liberados no solo, os combustíveis derivados de petróleo são condicionados a uma série de processos de transporte através do sistema subsuperficial, destacando-se os seguintes:

- Penetração pelo solo até atingir o lençol freático, formando uma camada de produto sobrenadante;
- Mobilização horizontal do combustível no solo, em sua fase livre, podendo vir a atingir fundações, garagens, galerias e outras estruturas subterrâneas;
- Retenção nos poros dos solos, formando uma fonte perene de contaminação de longo prazo;
- Dissolução parcial de componentes solúveis dentro da fase aquosa do solo, contaminando aquíferos e comprometendo a qualidade de cursos d'água e de poços de extração de água de abastecimento;
- Volatilização dos componentes mais leves com acúmulo de vapores explosivos em algumas estruturas e provocando poluição atmosférica (que pode ser apenas temporária);
- Biodegradação dos hidrocarbonetos resultante de processos físico-químicos e biológicos.

1.2 Atenuação Natural Monitorada (ANM)



Em vista da eficiência comprovada da biorremediação na degradação de compostos tóxicos ao ser humano, como o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), diversas empresas, principalmente as relacionadas com consultorias e remediação ambiental, têm despertado grandes interesses pela implantação da biorremediação como opção para a reabilitação de áreas contaminadas. Diversas pesquisas revelam que os fatores ambientais (como teores de umidade e oxigênio) e a disponibilidade de nutrientes nos solos, além das condições climáticas do Brasil, são bastante adequadas para o emprego dessa técnica. Isso pode trazer como vantagens, ótima relação custo-benefício e maior eficiência na degradação de compostos tóxicos e recalcitrantes frente à maioria das técnicas convencionais de remediação (AUGUSTO, 2010).

Para o tratamento de áreas contaminadas existem técnicas de remediação que trabalham de acordo com os parâmetros químicos e físicos do meio, diferentemente da biorremediação que se baseia principalmente nos critérios para a eficiência da atividade biológica. As técnicas de remediação podem ser: Pump and Treat, dessorção térmica,

barreiras reativas permeáveis, incineração, solidificação/estabilização, lavagem do solo entre outras. A remediação também apresenta especificidades em cada técnica (TAVARES, 2013)

Os processos relacionados à biorremediação podem ser classificados de acordo com o tratamento e a fase empregada. De acordo com o local de tratamento, os processos de biorremediação são denominados *in situ* onde esta técnica consiste no tratamento do solo no local da contaminação, utilizando-se de processos que vão da inserção de oxigênio e nutrientes até a adição de organismos específicos para cada tipo de contaminante. Desta forma não se faz o uso da remoção do material contaminado, evitando custos e distúrbios ambientais do solo. Os produtos finais de uma biorremediação eficaz são a água (H₂O) e o dióxido carbônico (CO₂), que não apresentam toxicidade ao meio ambiente ou *ex situ* (quando há remoção do contaminante para tratamento em outro ambiente) onde esses processos fazem uso de unidades móveis e estações fixas de tratamento para promoverem a descontaminação do ambiente. Para cada processo deve se levar em conta qual tipo e quantidade de poluente, os custos para implementá-lo, sobretudo, a concentração final ao término do tratamento, pois é partir desses fatores, que se possibilitará o uso futuro dessa área (MORAIS FILHO; CORIOLANO, 2016).



A biorremediação envolve a utilização de microrganismos nativos ou cultivados, para degradar ou imobilizar contaminantes em águas subterrâneas e em solos. Geralmente, são utilizados bactérias, fungos filamentosos e leveduras. As bactérias são as mais empregadas e, por este motivo, são o elemento principal nos trabalhos que envolvem a biodegradação de contaminantes (ANDRADE, 2010).

Entretanto, não obstante às limitações apresentadas, de modo geral, a aplicação da biorremediação vem sendo muito estudada em diversos países e destaca-se como uma alternativa promissora para o tratamento de sítios contaminados por petróleo e seus derivados, a aplicação envolve o uso de equipamentos de fácil obtenção, instalação e operação, em atividades *in-situ*, a biorremediação gera distúrbios mínimos ao meio ambiente, em condições ótimas de operação, apresenta custos menores em comparação às técnicas alternativas de remediação, pode ser combinada com outras técnicas, como a SVE, para acelerar o processo de descontaminação. Na maioria dos casos, essa técnica não produz compostos tóxicos, que devem ser dispostos e tratados em outro local

e é muito eficiente na biodegradação de petróleo e seus derivados em solos permeáveis (ANDRADE, 2010).

O termo “atenuação natural” tem sido empregado para descrever a remediação passiva de solo que envolve a ocorrência de diversos processos, de origens naturais, como a biodegradação, a volatilização, a dispersão, a diluição e a adsorção, promovidos na subsuperfície. Dentre estes, somente a biodegradação, facilitada por microorganismos, destrói fisicamente os contaminantes de interesse.

A principal vantagem do processo de atenuação natural é que, mesmo sem o acréscimo de nutrientes no solo ou a adequação de qualquer condição ambiental, a redução do contaminante pode acontecer de maneira eficiente e contínua (ANDRADE, 2010). Na atenuação natural, a biorremediação ocorre de forma passiva, sem nenhuma forma de intervenção humana, de maneira que apenas os microrganismos indígenas do local tenham atuação na biodegradação dos compostos. A atenuação natural costuma iniciar lentamente, pois é necessário que os microrganismos nativos do solo se adaptem às novas condições na presença do contaminante. Microrganismos degradadores passam então a utilizar o contaminante orgânico como fonte alternativa de carbono e energia na produção de biomassa, ocasionando a redução da concentração do contaminante ao longo do tempo (SOUZA, 2013; MEYER, 2015).

Sob condições favoráveis, a atenuação natural constitui de uma tecnologia de remediação sem a intervenção humana capaz de reduzir, além das concentrações e da massa, a mobilidade e toxicidade dos contaminantes na água subterrânea. Neste caso, a remediação natural pode ser encontrada sob os termos de remediação ou biorremediação intrínseca, remediação passiva, biodegradação natural, etc (KERN, 2016).

O custo de remediação pode variar muito em função do tipo de contaminação, extensão e método de remediação. Em ordem de grandeza pode variar muito chegando até a mais de R\$ 1 milhão de reais. O maior custo na remediação será quando houver necessidade de retirar o material do solo para ser tratado ou queimado em outro local (Ex situ). Na maioria destes casos, a recuperação se torna inviável para novos empreendimentos imobiliários pois há uma grande movimentação de terra contaminada para incineração ou para aterro específico com custos elevados. A tecnologia de



descontaminação vem avançando e diminuindo estes custos. Em função do valor do terreno, o custo de remediação ainda pode permitir que a transação seja viável. Porém isto ocorre apenas para certos nichos de mercado ou locais de grande concentração urbana onde a escassez de terrenos pode elevar seu valor, e o custo menor de remediação viabiliza o empreendimento imobiliário (MORAIS FILHO; CORIOLANO, 2016).

Em virtude das limitações das técnicas que empregam o princípio de remoção física de hidrocarbonetos do meio poroso, a maior parte desses compostos permanece no meio poroso liberando continuamente substâncias potencialmente nocivas na água subterrânea. Em oposição às técnicas usuais de remediação, a partir da década de 1990 os estudos envolvendo a atenuação natural monitorada começaram a ganhar destaque por representar uma solução metodologicamente simples e custos menores. Numerosos trabalhos comprovam a eficiência da atenuação natural monitorada ao redor do mundo, embora esta técnica seja pouco difundida e aceita em âmbito nacional (TERAMOTO, 2015).

Uma vez confirmado o diagnóstico e o contaminante, a conclusão da análise de risco é que devesse eliminar o máximo que seja possível do contaminante do solo, para evitar mais contaminação do lençol freático com BTEX que é altamente tóxico. Deve-se eliminar também a fonte do vazamento (trocar o tanque do posto). Assim, para melhor resultado, a remediação deve ser iniciada o mais rápido possível, com a maior eficácia e no menor tempo possível. Desta forma estaria sendo evitada a solubilidade da gasolina com a água do subsolo e minimizando a contaminação do lençol freático (DA SILVA MATTOS JR; QUADROS MAIA, 2017).

A utilização desse processo, como opção principal de remediação, requer algumas ressalvas, haja vista que as condições do meio, inclusive o tipo e a concentração dos contaminantes, podem não contribuir para a redução de substâncias tóxicas e recalcitrantes e, conseqüentemente, aumentam os riscos de contaminação de pessoas e animais. Por esses motivos, o emprego da atenuação natural é permitido e até recomendado, desde que sejam respeitados os resultados obtidos em estudos preliminares sobre a avaliação de risco da exposição da população, elaborada dentro de um cenário real para o uso futuro da área. Normalmente, processos de atenuação natural costumam durar de meses a anos. Por isso, o tempo e a porcentagem de degradação

dos contaminantes podem ser muito lentos e até imprevisíveis. É justamente por essa consideração, que, na maioria dos casos, é necessário que esse processo de tratamento seja monitorado rigorosa e periodicamente.

A contaminação de solos por hidrocarbonetos derivados de combustíveis é uma questão ambiental relevante no cenário atual. O contato direto de efluentes líquidos e resíduos sólidos no solo é a principal fonte de contaminação das águas subterrâneas, sendo as principais fontes de contaminação os vazamentos em postos de abastecimento, tubulações, tanques de estocagem e as empresas retalhistas de abastecimento. Quando o contaminante orgânico entra em contato com o solo ocorre uma variedade de efeitos físicos, químicos e biológicos. Por possuir espaços vazios o solo tem a capacidade de filtrar, reter ou liberar as substâncias presentes no óleo. Uma maior ou menor retenção de poluente vai depender do tipo de solo, pois suas matrizes são complexas e apresentam grande afinidade química por diversos compostos, dessa forma se faz necessário o uso de processos mais eficientes e baratos para a remoção desses contaminantes.

Dessa forma, o presente estudo procurou avaliar a viabilidade do uso atenuação natural monitorada em solo de perfil argiloso para remediação de contaminação do mesmo por óleo diesel sob auxílio de farelo e óleo de soja como estimulantes. Tal estudo foi delineado sob contaminação controlada do solo e acompanhamento do perfil degradativo do contaminação, sob forma indireta através de sua densidade ao longo de 28 dias.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Amostras de solo

As amostras de solo utilizadas foram coletadas em Fevereiro de 2019 em praça situada no bairro do Sumaré, situado na zona oeste da cidade de São Paulo. As amostras recém-coletadas foram armazenadas em sacos plásticos transparentes, identificadas e levadas até o Laboratório do Departamento de Engenharia do Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas para serem analisadas.

Toda vidraria utilizada no experimento foi previamente lavada com água, detergente neutro, água deionizada, álcool comercial e acetona. A vidraria também foi deixada em mufla a 400 °C por 4 horas, exceto os balões volumétricos que foram deixados em solução de ácido nítrico 10% (v/v) por 24 horas.

2.2 Umidade e densidade do solo

A umidade do solo foi obtida pelo método de umidade gravimétrica o qual as amostras foram pesadas e colocadas em uma estufa de ventilação forçada, a 105° C por 24h; em seguida foram pesadas (amostras secas), sendo a diferença entre estas massas a massa de água.

Para a obtenção da densidade do solo utilizou-se o método da proveta adotado pela EMBRAPA (1997), o qual caracteriza-se pela obtenção da densidade aparente através do perfil de compactação do solo utilizado.

2.3 Farelo de Soja e óleo de soja

Os grãos utilizados no experimento foram adquiridos em mercado local na cidade de São Paulo e, para a preparação do farelo efetuou-se a moagem e pulverização dos grãos utilizando-se almofariz. Posteriormente secou-se o farelo a fim de eliminar a carga de umidade do mesmo em temperatura de 105 °C por 2 horas. O óleo de soja utilizado foi adquirido no mesmo local que os grãos possuindo marca reconhecida no mercado e grau de pureza alimentício.

2.4 Óleo diesel e Hexano

O óleo diesel utilizado no experimento foi do tipo S10 comercial adquirido em posto de gasolina situado no bairro da Bela Vista, cidade de São Paulo, e após a aquisição do mesmo mediu-se sua densidade relativa e solubilidade em água.

O hexano utilizado no teste é de grau P.A., marca Synth com teor de 99,0%, com valor de densidade equivalente à 0,657 g.cm⁻³.

2.5 Preparo das amostras

O processo consistiu-se na homogeneização do solo e sua repartição em recipientes hermeticamente fechados e transparentes (todos os testes foram efetuados

em triplicatas). Em cada sistema adotou-se uma base mássica final de 500 g, considerando que em todas elas 10% da massa fosse composta do contaminante (óleo diesel) e 15% por composições variadas envolvendo o óleo de soja, o farelo de soja, e solo. Sendo nomeadas como S (solo não contaminado), SC (solo contaminado), SFS (solo com a presença de farelo de soja, mas sem contaminante), SFSC (solo contaminado e com a presença de farelo de soja e óleo de soja)

Medição das amostras

Após preparadas as amostras foram medidas individualmente e, semanalmente, de 1 a 28 dias através de remoção de parte do solo, extração do material orgânico por hexano e posterior evaporação do solvente em banho-maria a 90 °C. Após evaporação, mediu-se o volume e massa final a 23 ± 2 °C. Todas as medições foram efetuadas em triplicata e aplicação de amostra em branco para controle do tempo de permanência das amostras sob o sistema aquecido.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES



Na caracterização do solo utilizado para realização do trabalho obteve-se a umidade equivalente a 8,57% em massa com uma densidade equivalente à $1,125 \text{ g.cm}^{-3}$ caracterizando como um solo de perfil argiloso. Na caracterização do óleo além da comprovação de sua insolubilidade em água obteve-se uma densidade equivalente a $0,8486 \text{ g.cm}^{-3}$ atendendo os requisitos prévios da ANP.

As amostras após preparação seguiram distribuição mássica conforme a Tabela 01 aplicada a cada sistema testado.

Tabela 01 – Distribuição mássica aplicada ao experimento.

Amostra	Massas (g)			
	Solo	Farelo	Óleo de soja	Óleo diesel
S	500	0	0	0
SFS	425	50	25	0
SFSC	375	50	25	50
SC	450	0	0	50

A Tabela 02 apresenta os resultados médios de massa, volume e densidade das amostras em função dos dias de medição, obtidos.

Tabela 02 - Resultados médios de massa, volume e densidade das amostras em função dos dias de medição

Dias	Massa obtida do extrato / g de solo				Volume extraído (mL) / g de solo				Densidade/ g.cm ⁻³	
	S	SC	SFS	SFSC	S	SC	SFS	SFSC	SC	SFSC
0	0,000 ±0,001	0,129 ±0,002	0,002 ±0,001	0,216 ±0,005	0,000 ±0,001	0,196 ±0,003	0,000 ±0,001	0,322 ±0,005	0,658 ±0,02	0,671 ±0,02
7	0,013 ±0,001	0,297 ±0,027	0,003 ±0,001	0,273 ±0,040	0,000 ±0,001	0,486 ±0,080	0,000 ±0,001	0,414 ±0,050	0,618 ±0,030	0,661 ±0,010
14	0,001 ±0,001	0,272 ±0,045	0,000 ±0,001	0,299 ±0,011	0,000 ±0,001	0,436 ±0,030	0,000 ±0,001	0,456 ±0,002	0,624 ±0,030	0,656 ±0,020
21	0,006 ±0,001	0,113 ±0,008	0,001 ±0,001	0,143 ±0,032	0,000 ±0,001	0,170 ±0,050	0,000 ±0,001	0,227 ±0,070	0,665 ±0,020	0,628 ±0,020
28	0,000 ±0,001	0,081 ±0,033	0,000 ±0,001	0,074 ±0,013	0,000 ±0,001	0,128 ±0,011	0,000 ±0,001	0,113 ±0,004	0,630 ±0,040	0,650 ±0,060

A partir dos resultados não-significativos de massa e volume extraídos das amostras S e SFS obtidos ao longo dos 28 dias constatou-se que, as amostras não apresentavam a presença de compostos orgânicos não-voláteis prévios, tanto no solo como nas amostras derivadas de soja, que pudessem influenciar os resultados ou efetuar interações com o solvente utilizado no processo extrativo, confirmando que as variações obtidas eram devido a presença do contaminante e suas interações.

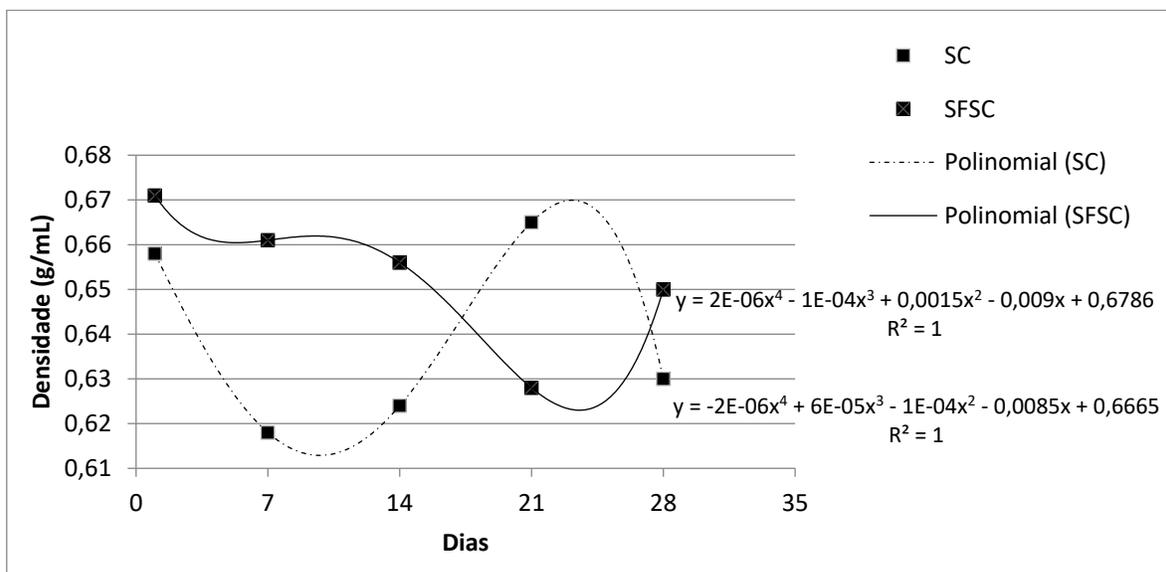
Comparando-se a massa das amostras SC e SFSC por período percebe-se a uniformidade na taxa de extração que foi calculada através da razão entre as diferenças das massas e o período analisado, conforme pode ser visualizado na Tabela 03.

Tabela 03 – Taxa de extração mássica das amostras SC e SFSC

Período considerado (dias)	Taxa de extração (%)	
	SC	SFSC
7	2,4	0,8
7	-0,4	0,4
7	-2,3	-2,2
7	-0,5	-1,0

A partir dos resultados da taxa de extração consegue-se validar o processo aplicado devido à similaridade dos resultados atribuindo-lhes o mesmo perfil de comportamento extrativo em módulo. Pelo fato do processo envolver mistura de substâncias, a mudança da densidade pode ser utilizada como métrica para verificação deste envolvimento. A figura 1 apresenta os resultados de densidade obtidos ao longo do tempo.

Figura 1 – Variação da densidade das amostras em função do tempo.



A amostra de SC apresenta 3 perfis de comportamento, nos primeiros 10 dias há uma redução do valor de densidade neste momento o óleo diesel tende a ficar fortemente retido na matriz do solo, pois o mesmo é considerado como um hidrocarboneto de fase livre não aquoso. Neste primeiro momento, também, há uma diminuição na carga de óleo diesel presente no extrato devido seu processo de adsorção aos colóides orgânicos e minerais presentes do solo estudado, pois a própria interação com o solvente consegue remover somente o óleo retido em perfil de capilaridade nos poros da amostra dificultando a ação de microorganismos em possíveis processos de biodegradação além do processo de sorção que os remove do estado dissolvido, tornando-os indisponíveis à biota.

Os hidrocarbonetos lançados ao meio ambiente estão sujeitos a reações bióticas e abióticas no solo. Estes processos atuam juntos, com uma taxa de transformação relacionada com a composição química do combustível e fatores ambientais locais, incluindo temperatura, umidade do solo, conteúdo de nutrientes, oxigênio e

granulometria. A degradação biótica de hidrocarbonetos consiste em dois mecanismos independentes: absorção microbiana e regime metabólico. Estas transformações são prováveis de acontecerem em etapas, produzindo álcoois, fenóis, aldeídos e ácidos carboxílicos, em sequência. A biodegradação é o principal processo de degradação de destilados médios, como o óleo diesel (JUNIOR, 2012). Neste primeiro momento, infere-se que houve uma biodegradação prévia do contaminante pelos microorganismos presentes quebrando o contaminante em cadeias menores, reduzindo assim o resultado na densidade.

Entretanto, no segundo momento, período aproximadamente de 10 a 23 dias, há um aumento na densidade da solução. Isso indica que há a incorporação de material orgânico no extrato dissolvido. A maioria das reações abióticas inclui a hidrólise, a desidrogenação, a oxidação e a polimerização (JUNIOR, 2012). Como o sistema estava hermeticamente fechado infere-se que houve uma saturação no meio e devido processo de difusão dos constituintes e limitação da carga de oxigênio implicou numa situação limítrofe para a população de microorganismos aeróbios presentes, impossibilitando a degradação do material contaminante e aumentando a sua concentração em função do tempo.



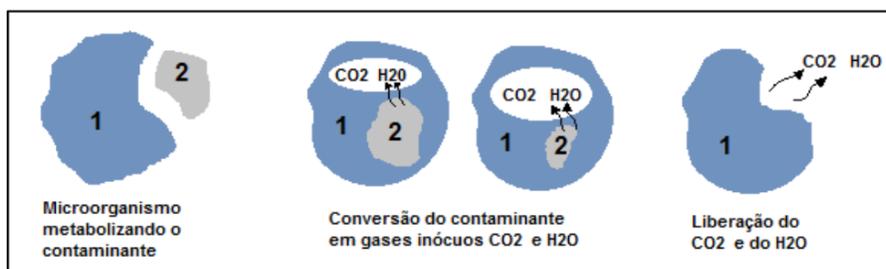
No terceiro momento, período de 23 a 28 dias, infere-se que há um processo decomposição anaeróbia dos hidrocarbonetos, pois ela ocorre muito lentamente. Segundo FILHO (2011), a decomposição anaeróbia de hidrocarbonetos do petróleo ocorre muito lentamente. Alguns compostos, como benzoato, hidrocarbonetos clorados, benzeno, tolueno, xileno, naftaleno e acenafteno são degradados na ausência de oxigênio. De acordo com a *Agency for Toxic Substances & Disease Registry* – ASTR em condições anaeróbias alguns microorganismos são capazes de reduzir os nitratos usando combustíveis como fonte de carbono, entretanto, na menor presença de oxigênio ao meio (0,2% em volume) pode-se acelerar o processo de degradação, o qual justifica o processo recorrente ao primeiro momento.

A amostra SFSC apresentou 2 perfis discretos de comportamento. O primeiro deles com uma queda até o 24º dia indicando uma degradação do material orgânico presente, com a formação de material orgânico menor e uma diminuição do valor de densidade. Em suma, os micro-organismos metabolizam as substâncias orgânicas, das quais se obtêm nutrientes e energia. Sendo que, para que isso ocorra, os micro-

organismos devem estar ativos para desempenharem a sua tarefa de biodegradação (ANDRADE, 2010).

No caso dos hidrocarbonetos, as parcelas de carbono fornecem energia para as funções vitais dos microrganismos. O processo consiste na degradação de contaminantes através da atividade metabólica dos microrganismos presentes na matéria orgânica do solo. Os microrganismos degradam moléculas de contaminantes que necessitam para suas atividades metabólicas, reduzindo-as a partículas menores, e gerando CO_2 e H_2O que são liberados para o meio, conforme ilustra a Figura 2. É um processo de atenuação que pode ocorrer naturalmente e ser acelerado com a inserção de nutrientes como nitrogênio, fósforo e oxigênio que aumentam a reprodução e aceleram as atividades metabólicas dos microrganismos (SOUZA, 2016).

Figura 2 - Processo biológico de quebra de contaminantes (Fonte: SOUZA, 2016)



O processo de bioestimulação consiste em introduzir nutrientes adicionais na forma de fertilizantes orgânicos e/ou inorgânicos na área contaminada, incentivando o crescimento de micro-organismos capazes de degradar os poluentes existentes no meio e, com isso, promovendo o aumento da população microbiana e conseqüentemente, uma degradação mais rápida do contaminante (DEON, 2012).

Com a adição do farelo e óleo de soja, como meio estimulante, possibilitou um aumento do perfil de degradação do material contaminante ao longo do tempo inferindo que a atenuação natural monitorada pode auxiliar como técnica de biorremediação aos compostos propostos.

O segundo momento caracteriza-se por uma perda do perfil degradativo em período equivalente à amostra sem a presença do estimulante. Sabe-se que os solos argilosos, de modo geral, apresentam baixa permeabilidade, o que pode comprometer significativamente tanto a difusão de oxigênio, que é o elemento fundamental ao processo

aeróbico de degradação, bem como a incorporação de nutrientes, sugerindo um período de anaerobiose.

É evidente que a estrutura dos solos também exerce influências significativas sobre as características físico-químicas. Dependendo da estrutura, mesmo que os solos sejam argilosos, eles podem ter permeabilidades elevadas. Os latossolos argilosos, por exemplo, que ocupam extensas áreas no Brasil, apresentam comumente estrutura granular e, desta forma, elevada permeabilidade (ANDRADE, 2010).

Com a adição do farelo e óleo de soja, como meio bioestimulante, possibilitou um aumento do perfil de degradação do material contaminante ao longo do tempo inferindo que a atenuação natural monitorada pode auxiliar como técnica de biorremediação aos compostos propostos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na atenuação natural monitorada, a degradação do poluente orgânico presente no solo ocorre sem adequação de qualquer condição ambiental, onde a desestruturação do poluente é realizada pelos micro-organismos nativos do local. Consequentemente, as interações no solo são influenciadas pela quantidade e natureza da matéria orgânica, pelos constituintes inorgânicos, com particular referência ao tamanho do poro e estrutura, pela população de microorganismos e pela concentração do poluente. A adsorção aos constituintes do solo favorece a persistência do componente nesta matriz. Em processos biológicos as interações entre os compostos orgânicos ocasionam em um aumento da entropia o qual, possivelmente, pode interagir com a água natural presente às partículas e inferir à formação de novas ligações químicas entre os compostos implicando nas mudanças de solubilidade, necessitando de maiores estudos.

Cabe salientar que o estudo foi satisfatório, pois constatou que a ANM pode ser utilizada do ponto de vista técnico para a utilização em contaminações envolvendo óleo diesel em solo, necessitando-se de maiores estudos, no futuro, em relação à quantidade de bioestimulante, tempo maior de acompanhamento anaeróbio e aplicação de sistemas conjugados de aereação e anaerobiose para fins de remediação.

Conhecendo-se os impactos dos hidrocarbonetos nos solos e as técnicas de remediação destes, nota-se que a melhor alternativa ainda continua sendo a prevenção.



REFERENCIAS

ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F.. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. *Ecletica Química*, v.35, n.3, 2010.

BADZINSKI, Caroline. POTENCIAL DE ATENUAÇÃO NATURAL DE DIESEL (B8) E BIODIESEL (B100) EM LATOSSOLO VERMELHO SEM HISTÓRICO DE CONTAMINAÇÃO. 2018. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2018. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/2124/1/BADZINSKI.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2020.

CONCIANI, Renata. ESTUDO COMPARATIVO DA MOBILIDADE DE CONTAMINANTES INORGÂNICOS EM SOLOS LATERÍTICO E NÃO LATERÍTICO. 2016. 102 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2016. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/22430/1/2016_RenataConciani.pdf. Acesso em: 04 ago. 2020.

COSTA, C. N.; BRITO, M. G.; VENDAS, D. F.. Solos contaminados - o problema e as soluções de remediação. Technical Report, 2015.

DA SILVA MATTOS JR, AMARILIO; QUADROS MAIA, TACITO. CONTAMINAÇÃO DE SOLO: SOLO CONTAMINADO POR COMBUSTÍVEIS. In: DA SILVA MATTOS JR, AMARILIO; QUADROS MAIA, TACITO. SOLO CONTAMINADO POR COMBUSTÍVEIS. 2017. Perícia Ambiental (Perícia Ambiental) - COBREAP XIX, [S. I.], 2017. f. 35. Disponível em: <https://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2017/08/038.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2020.

DEON, M. C.; ROSSI, A. D.; MAGRO, C. D.; REINEHR, C. O.; COLLA, L. M.. Biorremediação de solos contaminados com resíduos oleosos através de bioaugmentação e atenuação natural. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, v.33, n.1, 2012.

FILHO, G. F. C.. Biodegradação de óleos derivados do petróleo e de origem vegetal estimulada por biossurfactantes em meio aquoso e monitoramento de sua toxicidade. Trabalho de Conclusão de Curso (Biociências). Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita - Filho", Rio Claro, 2011.

FOGAÇA, Paulo Henrique de C.. Contaminação do lençol freático por hidrocarbonetos na região de Avaré – SP. 2015. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista —Júlio Mesquita Filholl., Bauru, 2015. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/wp-content/uploads/sites/30/2016/06/Paulo-Henrique-Fogaca.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2020.

JORGE, Celeste R. Ramalho. Principais características e comportamento(s) dos diferentes contaminantes no solo. In: associação portuguesa de empresas de tecnologias

ambientais, 1., 2017, Brasil. **Seminário**. Porto: Researchgate, 2017. p. 1-54. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Celeste_Jorge/publication/320556238_principais_caracteristicas_e_comportamentos_dos_diferentes_contaminantes_no_solo/links/59ecc92f4585151983ccd385/principais-caracteristicas-e-comportamentos-dos-diferentes-contaminantes-no-solo.pdf. Acesso em: 06 ago. 2020.

JUNIOR, I. A.. Avaliação de atributos químicos em solo contaminado por compostos oriundos do petróleo (gasolina e óleo diesel). Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Manejo do solo, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2012.

KATRITZKY AR, KUANAR M, SLAVOV S, HALL CD, KARELSON M, KAHN I, DOBCHEV D A. Correlação quantitativa de propriedades físicas e químicas com estrutura química: Utilidade para previsão [J]. Chem Rev, 2010, 110: 5714-5789.

KERN, Priscilla. APLICAÇÃO DO MODELO SCBR NO GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS: ANÁLISE DA FUNCIONALIDADE “ÁREAS REATIVAS” PARA SIMULAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE BIOESTIMULAÇÃO. 2016. 120 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: https://rema.ufsc.br/pdfs/2016_tcc_kern.pdf. Acesso em: 06 ago. 2020.

MACHADO, Carlos José Saldanha et al. Legislação ambiental e degradação ambiental do solo pela atividade petrolífera no Brasil. UFPR, 2013. 55 p.(Desenvolvimento e Meio Ambiente).

MARTINS, C. R.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B.. Solubilidade das substâncias orgânicas. Química Nova, v.36, n.8, 2013.

MEYER, D. D.; HECK, K.; ANDRIGHETTI, M.; BENTO, F. M. Microbial activity in two soils with different clay content contaminated by different diesel/biodiesel mixtures. African Journal of Microbiology Research, v. 9, n. 17, p. 1175-1183, 2015.

MORAIS FILHO , M. C.; CORIOLANO, A. C. F. BIORREMEDIAÇÃO, UMA ALTERNATIVA NA UTILIZAÇÃO EM ÁREAS DEGRADADAS PELA INDÚSTRIA PETROLÍFERA. BIORREMEDIAÇÃO, UMA ALTERNATIVA NA UTILIZAÇÃO EM ÁREAS DEGRADADAS PELA INDÚSTRIA PETROLÍFERA, [s. l.], Setembro 2016. DOI 10.15628/holos.2016.4278. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/download/4278/1594>. Acesso em: 5 ago. 2020.

OLIVEIRA, Leonardo Inácio de; LOUREIRO, Celso de Oliveira. CONTAMINAÇÃO AVALIAÇÃO PRELIMINAR. 1998. 10 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Ufmg, Belo Horizonte, 1998.

PAULA MARTINS, CÁTIA DE. AVALIAÇÃO DA BIODEGRADAÇÃO DE COMPOSTOS BT DA GASOLINA, COM E SEM A ADIÇÃO DE ETANOL, EM SOLOS RESIDUAIS DE GNAISSE POR MEIO DE ENSAIOS EM COLUNAS. 2015. 140 p. TESE (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viscosa Minas Gerais, 2015. Disponível em:

<https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/6793/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 5 ago. 2020.

RODRIGUES, K.; et. al.. Remoção de BTEX por fungos em reator aeróbio de escoamento contínuo. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.22, n.4, 2017.

RUFINO, R.D; LUNA, J.M; MARINHO, P.H.C; FARIAS, C.B.B; FERREIRA, S.R.M; SARUBBO, L.A. Removal of petroleum derivative adsorbed to soil by biosurfactant Rufisan produced by *Candida lipolytica*. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 109, p. 177-122, 2013.

SOARES, W. de A. Impacto do cultivo de cactos (*O. ficus-indica*) nas características térmicas do solo. *Revista Ambiente & Água*, v. 13, n. 1, p. 1-13. 2018. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2148>

SOUZA, R. B. G.. Avaliação da contaminação por hidrocarbonetos do solo e da água da região de avaré. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual Paulista "Julio Mesquita Filho", Bauru, 2016.

SOUZA, R. B.; MAZIMIRO, T. G.; CHRISTOFLETTI, C. A.; PINHEIRO, T. G.; FONTANETTI, C. S. Soil contamination with heavy metals and petroleum derivatives: impact on edaphic fauna and remediation strategies. In: SORIANO, M. C. H. (Ed). *Soil processes and current trends in quality assessment*. 1. ed. InTech Publisher, 2013, cap. 6, pp. 175–203.

TAVARES, S. R. L. Técnicas de remediação. In: TAVARES, S. R. L. (Org.). *Remediação de solos e águas contaminadas: conceitos básicos e fundamentos*. São Paulo: Clube de Autores, 2013. p.59-90.

TERAMOTO, Elias Hideo. ESTUDO DA EFETIVIDADE DA ATENUAÇÃO NATURAL DE COMPOSTOS BTEX EM ÁREA CONTAMINADA POR QUEROSENE DE AVIAÇÃO. 2015. 238 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geociências e Meio Ambiente, Nstituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/138449/000864233.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 06 ago. 2020.

USEPA (2016) "Soil screening guidelines: Technical background document", Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, DC)

VAZ, Eduardo Augusto de Campos; GONÇALVES, Eduardo Luiz Tavares; GAUER, Fabio Rafael. *Biorremediação de Solos*. 2008. 24 f. TCC (Graduação) - Curso de

Engenharia Bioquímica, Departamento de Eng. Química e Eng. de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

ZANDONADI, Daniel B; SANTOS, Mirella P; MEDICI, Leonardo O; SILVA, Juscimar. Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. Rio de Janeiro: Horticultura Brasileira, 2013. 7 p. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/hb/v32n1/0102-0536-hb-32-01-00014.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2020

