

ECONOMIA CIRCULAR E BIORREMEDIAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS COM HIDROCARBONETOS DE PETRÓLEO UTILIZANDO DEJETOS DE AVES POEDEIRAS

Data de aceite: 02/12/2023

Gisele Penido Barbosa

Silvia Cremonez Nascimento

RESUMO: O declínio da atividade industrial em diversos países propiciou a desocupação e a degradação ambiental de áreas urbanas. O passivo ambiental gerado pelas indústrias, aterros de resíduos, postos de combustíveis, traz um risco enorme ao meio ambiente e à saúde pública. A presença de contaminação por Hidrocarbonetos de Petróleo no solo e na água subterrânea, acarreta inúmeros problemas: riscos à saúde humana, risco ao ecossistema, risco econômico, ao abastecimento e saneamento urbano e social. Inúmeras são as tecnologias de remediação ambiental existentes no mercado, tecnologias estas que de alguma forma geram externalidades ambientais negativas como consumo de energia e recursos naturais; desequilíbrio do ciclo da água, modificação nas propriedades naturais do solo e emissão de gases de efeito estufa. Nem sempre os aspectos sociais e econômicos são considerados em uma remediação convencional, que

muitas vezes podem causar mais impactos do que a própria contaminação. Diante de tantos impactos gerados nos processos de remediação de áreas contaminadas, a economia circular é uma alternativa que busca redefinir a noção de crescimento, que visa beneficiar a sociedade. Apoiada por uma transição para fontes de energia renovável, o modelo circular constrói capital econômico, natural e social baseando-se no princípio de eliminar o resíduo e a poluição desde o início.

PALAVRAS-CHAVE: REMEDIAÇÃO; Sustentabilidade; Áreas Contaminadas; ESG; Economia Circular.

ABSTRACT: The decline in industrial activity in several countries led to unemployment and environmental degradation in urban areas. The environmental liability generated by industries, waste landfills, gas stations, brings a huge risk to the environment and public health. The presence of contamination by Petroleum Hydrocarbons in the soil and groundwater causes numerous problems: risks to human health, risk to the ecosystem, economic risk, to urban and social supply and sanitation. There are countless environmental remediation technologies on the market, technologies that somehow

generate negative environmental externalities such as consumption of energy and natural resources; imbalance in the water cycle, changes in the natural properties of the soil and the emission of greenhouse gases. Social and economic aspects are not always considered in conventional remediation, which can often cause more impacts than the contamination itself. Faced with so many impacts generated in the processes of remediation of contaminated areas, the circular economy is an alternative that seeks to redefine the growth spurt, which aims to benefit society. Supported by a transition to renewable energy sources, the circular model builds economic, natural and social capital based on the principle of eliminating waste and pollution from the start.

KEYWORDS: Sustainability; Contaminated Areas; ESG; Circular Economy.

1. INTRODUÇÃO

Os objetivos de desenvolvimento sustentável são um apelo global á ação para acabar com a pobreza e proteger o meio ambiente e o clima, de forma a garantir que as pessoas, possam desfrutar de paz e de prosperidade. A falta de legislação e de guias que incluam a sustentabilidade como critério de seleção para a escolha de uma técnica de remediação hoje ainda é considerada uma barreira, e as empresas que optarem por essas tecnologias estarão nos olhares fuziladores do mercado como empresas diferenciadas, mas após 2030, de acordo com o tratado de Paris, elas estarão obrigadas a pensar na sua estrutura como um todo, e adotar técnicas sustentáveis para todas as suas ações. Com relação ao aspecto econômico, geralmente os custos iniciais da remediação sustentável são menores do que os custos da remediação convencional. Além de beneficiar com ganhos econômicos e benefícios em longo prazo, como no caso da instalação de um sistema de geração de energia solar para operação de um sistema de remediação com elevada intensidade energética, uma vez que haverá redução de custos pela diminuição de fornecimento de energia pela rede elétrica. Tendo em vista o recente site contaminado de uma empresa de rerrefino de óleo lubrificante, o presente trabalho visou elaborar um plano de gestão sustentável para um dos três sites contaminados desta empresa no Município de Presidente Prudente, contribuindo para o programa de políticas Ambientais.

2. OBJETIVO

Estudo de Viabilidade de técnica econômica e Ambiental de processo de biorremediação de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo, por meio da aplicação de esterco de aves (galinha poedeira e frango de corte), com vistas ao desenvolvimento de nova tecnologia de remediação de áreas contaminadas e solução de um gravíssimo passivo ambiental, e à disseminação do conhecimento para a transformação social, econômica, política e ambiental da sociedade. Os riscos à saúde pública e ao meio ambiente associados à contaminação do solo e da água subterrânea demandam procedimentos adequados para viabilizar a reutilização destes locais de forma segura para os usuários dos campos.

3. METODOLOGIA

O projeto está dividido em quatro etapas ou fases de execução, conforme descrito a seguir:

- a. Levantamento do estado da arte da literatura científica sobre o tema e busca de patentes;
- b. Caracterização da matéria prima e do processo produtivo;
- c. Planejamento e execução dos testes de bancada;
- d. Tratamento, análise e consolidação dos dados.

As etapas/fases descritas são constituídas das seguintes atividades:

Levantamento do estado da arte da literatura científica sobre o tema e busca de patentes:

A primeira etapa do projeto consistiu na realização de uma busca bibliográfica nas principais bases de dados nacionais e internacionais (SciELO, Web of Science, Scopus etc.) sobre a utilização de esterco de aves na remediação de solos contaminados, com destaque para os estudos relacionados aos hidrocarbonetos de petróleo. Além disso, foram buscadas patentes existentes sobre o desenvolvimento dessa técnica no Brasil e no mundo. O objetivo foi balizar o projeto proposto com o conhecimento existente, de forma a buscar inovações em seu desenvolvimento, considerando as características climáticas, pedológicas e de biodiversidade brasileiras.

Caracterização da matéria prima e do processo produtivo:

Na segunda etapa, foi realizada a caracterização da matéria prima a ser utilizada no estudo (esterco de aves), bem como do processo produtivo, o qual pode influenciar nas características do material a ser estudado. Para tal, foram realizadas visitas a granjas de produção de ovos, momento no qual ocorreu a coleta do material utilizado nos experimentos e caracterizado em laboratório. Em seguida, foi realizada a caracterização física, química e microbiológica das amostras de esterco coletadas, a fim de verificar sua viabilidade de aplicação de forma pura no processo de remediação ou a necessidade de submeter o material a um processo de estabilização. A partir dos resultados obtidos, foi realizado o tratamento a partir de processo de compostagem do material, bem como coletadas amostras de esterco estabilizado por processo simples de secagem. Por fim, foram realizadas análises de qualidade do composto obtido e esterco estabilizado, para fins de utilização no processo de remediação.

Planejamento e execução dos testes de bancada

A avaliação da viabilidade da utilização do esterco de aves para remediação de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo foi realizada a partir de testes de bancada. Nessa etapa, foi realizada a definição e coleta dos tipos de solo e de contaminantes a ser utilizados, bem como sua caracterização física, química, mineralógica e microbiológica. Além disso, foram definidos os arranjos experimentais para montagem dos experimentos, seguido pela montagem e acompanhamento dos mesmos, com monitoramento da evolução do processo de degradação a partir de análises físicas, químicas e microbiológicas. Ao final do experimento, foram realizados ensaios de ecotoxicidade, para verificar a qualidade do solo para o desenvolvimento da biota após o processo de remediação.

Tratamento, análise e consolidação dos dados

Na quarta etapa, foi realizado o tratamento dos dados obtidos a partir de análises estatísticas, por meio de análises de variância, testes de significância e análises de correlação. Foi realizada uma análise preliminar de viabilidade técnica da aplicação do método e do desempenho do processo em nível de campo, sob o ponto de vista da eficiência na degradação dos compostos de interesse. Os dados serão sistematizados e compilados em um relatório técnico.

Preparação dos experimentos

O primeiro passo na preparação dos experimentos foi a definição da forma em que o esterco seria utilizado no processo de remediação. Devido à presença de agentes patógenos, como coliformes termotolerantes e *E. coli*, acima dos valores permitidos pela legislação, não foi possível considerar a utilização do esterco fresco para adição ao solo como estimulante ao processo de degradação. Dessa forma, foi definida a utilização do esterco tratado por dois processos: compostagem e estabilização simples. Foi realizada a compostagem do esterco fresco, bem como a coleta de esterco estabilizado por processo de secagem simples, realizado na granja de produção de ovos, para posterior comercialização como fertilizante (Figuras 1 e 2)



Figura 1: Esterco estabilizado em granja de produção de ovos.



Figura 2: Composto obtido a partir da compostagem do esterco.

A partir da caracterização físico-química e microbiológica do composto e do esterco estabilizado, observou-se que ambos estavam aptos para utilização no processo de remediação, pois promoveram a redução expressiva da quantidade de coliformes fecais e *E. coli* em relação aos níveis presentes no esterco fresco, podendo ser utilizados como melhorador orgânico no solo sem o risco de contaminações biológicas. Observou-se que alguns parâmetros se encontram acima dos valores permitidos pela legislação para fertilizantes, como alumínio, cobre, cromo, zinco e bário, que podem influenciar posteriormente nos testes de ecotoxicidade, principalmente no que diz respeito à germinação de sementes. Com relação às contagens de bactérias e bolores e leveduras, foram observados valores similares para o composto e esterco estabilizado, indicando que ambos possuem populações de microrganismos com potencial de atuar no processo de degradação dos contaminantes. Com base nas análises realizadas, foi definida a utilização do composto proveniente do processo de compostagem de esterco e do esterco estabilizado para a realização dos testes de degradação de hidrocarbonetos de petróleo no solo, e de borra ácida proveniente do processo produtivo da empresa de rerrefino de óleo lubrificante. A montagem dos experimentos se deu considerando um modelo híbrido entre landfarming e biopilha, com a incorporação dos materiais remediadores ao solo contaminado, realizando o revolvimento para promover o contato do material orgânico com os contaminantes presentes no solo, procedendo-se o revolvimento periódico para aeração. Depois de uma semana, foi realizado o revolvimento dos experimentos, para estimular a volatilização completa das frações mais leves. Após 24h do revolvimento, foi realizada a adição do composto e esterco estabilizado ao solo contaminado.

Ensaio de ecotoxicidade

Para a avaliação da ecotoxicidade dos tratamentos ao final do período de incubação dos experimentos (60 dias), foram coletadas amostras para realização dos seguintes ensaios: testes de germinação e alongamento de raízes com sementes de soja e avaliação de toxicidade crônica em minhocas. As amostras foram enviadas ao laboratório acreditado, para realização dos referidos ensaios. Para o teste de germinação com sementes de soja, foi utilizada a metodologia OPPTS 850.4200 (USEPA, 1996), sendo realizada uma avaliação qualitativa do efeito da amostra sobre a germinação das sementes e sobre o alongamento das raízes.

Avaliação preliminar de eficiência

A análise preliminar de eficiência dos tratamentos se deu pela avaliação da taxa de redução da concentração dos HTPs e HPAs no solo, considerando a concentração inicial e final dos contaminantes, após 60 dias de experimentos. De acordo com essa análise, esse modelo pode ser utilizado para analisar o comportamento da degradação obtida em cada um dos tratamentos, excluindo-se as perdas por volatilização dos contaminantes, que foram estimuladas no início do experimento a partir do período para volatilização inicial das frações mais leves do óleo diesel.

4. RESULTADOS

A partir das triplicatas, foram obtidas as médias das concentrações de cada um dos tratamentos, para avaliação do decaimento da concentração de HTP's apresentado na tabela 2 e nas figuras 3 e 4

Tratamentos	Concentração de HTPs totais (mg/kg)				
	T0	T15	T30	T60	Redução
S0	44795,0	51433,7	34617,0	7133,7	84,1%
CP1	38089,7	40514,3	35502,3	5231,3	86,3%
CP3	27780,0	40731,7	40272,7	6107,7	78,0%
CP5	32299,3	37792,3	33437,3	9051,3	72,0%
EP1	39647,7	33537,7	20743,0	3357,7	91,5%
EP3	29737,7	24648,3	12785,0	3916,7	86,8%
EP5	38239,7	14392,0	12372,0	3810,3	90,0%

Tabela 2 - Concentrações médias de HTPs totais para os tratamentos

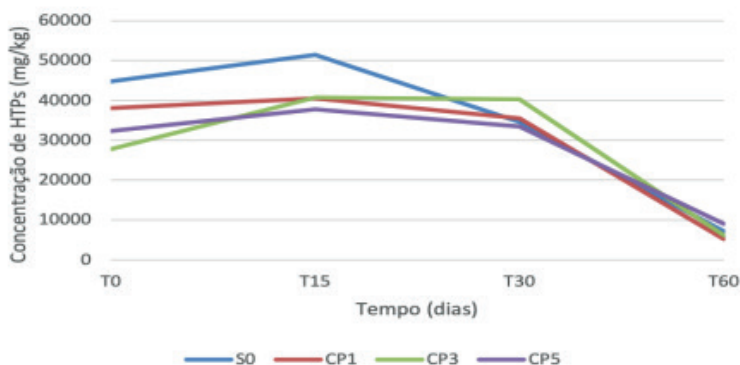


Figura 3 - Variações na concentração de HTPs totais ao longo do experimento, para o controle e tratamentos com composto

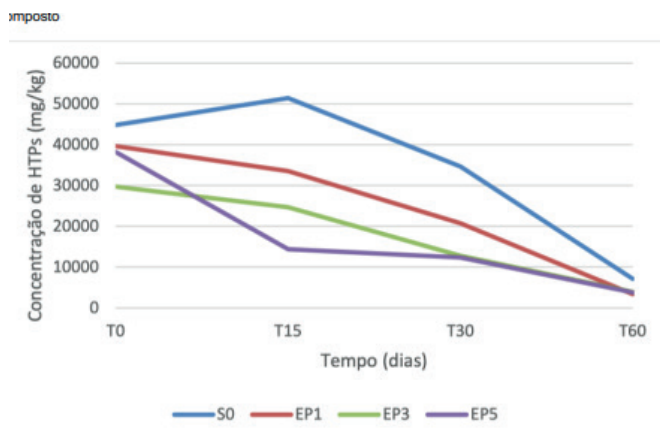


Figura 3 - Variações na concentração de HTPs totais ao longo do experimento, para o controle e tratamentos com esterco estabilizado

A partir das Figuras 3 e 4, observa-se que, para os tratamentos realizados com composto, bem como os tratamentos-controle, as maiores quedas na concentração de HTPs ocorrem a partir de 30 dias do início do experimento, devido ao maior tempo de aclimação dos microrganismos que atuam na degradação, devido à menor quantidade de nutrientes disponíveis no meio, no caso dos controles, e à característica do composto que liberação mais lenta dos nutrientes, por se tratar de um material mais estabilizado. No caso dos tratamentos realizados com esterco, as maiores quedas na concentração de HPTs iniciam-se a partir dos primeiros 15 dias, sendo que, no caso do tratamento com maior proporção de esterco (EP5), foram observadas quedas abruptas entre 0 e 15 dias. Isso se dá pela característica do esterco de alta disponibilidade de nutrientes liberados rapidamente no meio, facilitando seu uso pelas populações de microrganismos em seu desenvolvimento, permitindo uma redução da fase de aclimação.

5. CONCLUSOES

O estudo demonstrou que é possível a inserção da sustentabilidade no processo de gestão de áreas contaminadas por meio do planejamento de práticas sustentáveis associadas às necessidades e diretrizes da empresa contratante, de tal forma que proteja a saúde humana e minimize os impactos ambientais adversos. Outrossim, a gestão sustentável da área contaminada selecionada fornecerá subsídios para o planejamento e desenvolvimento de outros projetos sustentáveis de outras áreas contaminadas. Para que estes projetos sejam efetivos, a gestão da contaminação e o reuso do site devem ser considerados um processo único e interligado, não com atividades independentes. Também se devem considerar soluções que atendam as necessidades da comunidade, da economia local e/ou global e do meio ambiente. Para as ações futuras em outras áreas contaminadas, todas as partes interessadas devem estar envolvidas desde o início do processo de gestão a fim de compartilhar conhecimento e recursos e determinar como as ações adotadas para o melhor reuso prático do site podem agregar valor. Nas questões práticas relacionadas aos resultados de todo o processo de Bioestimulação do solo, observou-se que os tratamentos com menores proporções de composto e esterco foram os mais eficazes na redução das concentrações de HTPs e HPAs no solo, apresentando também as maiores taxas diárias de biodegradação. Os controles também apresentaram bons resultados de degradação, equiparados aos resultados dos tratamentos com uso de composto e esterco, demonstrando que o solo utilizado apresentava características que favoreceram o processo de atenuação natural, principalmente no que diz respeito ao conteúdo de matéria orgânica e populações de microrganismos. Assim, o uso de composto e esterco para a remediação de solos contaminados por hidrocarbonetos se mostra especialmente interessante no caso de solos pobres em matéria orgânica e populações de microrganismos, potencializando o efeito bioaumentador e bioestimulador desses melhoradores orgânicos. Para os tratamentos com

esterco estabilizado, foram observadas altas taxas de redução de HTPs e HPAs, além de um aumento significativo nas populações de microrganismos no solo (bactérias e bolores e leveduras). Foi também observado aumento no conteúdo de matéria orgânica e no pH do meio, atingindo níveis de alcalinidade, provendo ainda uma fonte de liberação rápida de nutrientes secundários no meio. Porém, devido à disponibilização rápida de nutrientes no meio, os tratamentos com esterco não conseguiram sustentar o crescimento das populações de microrganismos após a degradação inicial dos contaminantes e utilização dos nutrientes, sendo observada tendência de diminuição das populações ao final do experimento. A adição do composto ao solo contaminado contribuiu com a melhoria da sua estrutura, facilitando o processo de aeração e ajuste da umidade, promovendo também maiores retenções de água ao longo do tempo. Esses tratamentos também resultaram em um ambiente não tóxico para a germinação de sementes e alongamento das raízes de soja, demonstrando a capacidade do composto de prover um ambiente adequado para o desenvolvimento de plantas, ao final do processo de remediação. Por fim, os tratamentos-controle apresentaram bons resultados de degradação de HTPs e HPAs, devido ao conteúdo de matéria orgânica e populações de microrganismos naturalmente presentes no solo. Esses tratamentos apresentaram pH praticamente constante durante o experimento, com característica levemente ácida, com menor aumento das populações de microrganismos ao longo do tempo. Para as populações de bactérias, o crescimento das populações foi sustentado até o final do experimento, enquanto para os bolores e leveduras, as populações declinaram a partir dos 30 dias, pelo consumo das fontes de nutrientes preferenciais presentes no meio, representadas pelo óleo e pelos nutrientes naturalmente presentes no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457 – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, RJ, 2016. 9 p.

HAWASH, L.; A.B., DRAGH, M.A., LI, S., ALHUJAILY, A., ABOOD, H.A., ZHANG, X., MA, F. Principles of microbial degradation of petroleum hydrocarbons in the environment. Egypt. J. Aquat. Res. 44, 2018, p. 71 a 76.

AMARAL, G.; GUIMARÃES, D.; NASCIMENTO, J. C.; CUSTODIO, S. Avicultura de postura: estrutura da cadeia produtiva, panorama do setor no Brasil e no mundo e apoio do BNDES. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 43, p. 167-207, 2016.

ANDRADE, J. A. et al. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. Eclética Química, São Paulo, v.35, n.3, p.17-43, 2010.

ASTM – American Society for Testing and Materials. D5373-A - Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke. ASTM, 2016.

ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Total Petroleum Hydrocarbons (TPH). Atlanta: ATSDR, 1999. Disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tfacts123.pdf>. Acesso em 19 jan. 2021.

AUGUSTO, K. V. Z.; KUNZ, A. Tratamento de dejetos de aves poedeiras comerciais. In: PALHARES, J. C. P.; KUNZ, A. (Ed.). Manejo ambiental na avicultura, 2011. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. p. 153-174.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Áreas Contaminadas e Reabilitadas no Estado de São Paulo – Atividades. CETESB, 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areascontaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2020/02/Mapa>

CL:AIRE - Contaminated Land: Applications in Real Environments. Sustainable Management Practices for Management of Land Contamination. 2014 - Londres. Disponível em: . Acesso em: 4 de setembro de 2015.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 dez. 2009, p. 81-84.

DTSC – DEPARTMENT OF TOXIC SUBSTANCES CONTROL OF CALIFORNIA. Intern advisory for green remediation. 2009. Disponível em: . Acesso em 15 de março de 2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 ed. Brasília, DF, 2009.

HEYMAN, H.; BASSUK, N.; BONHOTAL, J.; WALTER, T. Compost Quality Recommendations for Remediating Urban Soils. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 16, p. 1- 23, 2019.

HERNANDES, T. Z. LEED-NC como sistema de avaliação da sustentabilidade: uma perspectiva nacional? 2006. 134 p. Dissertação (Mestrado – Área de Concentração: Tecnologia de Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006. IMRON, M. F. et al. Future challenges in diesel biodegradation by bacteria isolates: a review. Journal of Cleaner Production, [S.L.], v. 251, p. 2-11, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119716>.