

# BIORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADO POR HIDROCARBONETOS UTILIZANDO FUNGOS

Karina Camargo de SOUSA<sup>1</sup>

Andre Kendy Rodrigues TANABE<sup>2</sup>

Débora Zumkeller SABONARO<sup>3</sup>

Welber Senteio SMITH<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Engenheira Ambiental da Universidade de Sorocaba e trabalha na área ambiental da Prefeitura de Tatuí- SP. [ka\\_sousa02@hotmail.com](mailto:ka_sousa02@hotmail.com)

<sup>2</sup>Engenheiro Ambiental da Universidade de Sorocaba. [dzsabonaro@hotmail.com](mailto:dzsabonaro@hotmail.com)

<sup>3</sup>Professora e Pesquisadora da Universidade de Sorocaba. [debora.sabonaro@prof.uniso.br](mailto:debora.sabonaro@prof.uniso.br)

<sup>4</sup>Professor e Pesquisador do Programa de Mestrado em Processos Tecnológicos e Ambientais - Universidade de Sorocaba. [welber\\_smith@uol.com.br](mailto:welber_smith@uol.com.br).

**Recebido em: 01/10/2015 - Aprovado em: 16/07/2016 - Disponibilizado em: 18/12/2016**

## RESUMO

A contaminação do combustível é uma importante fonte de contaminação do solo por hidrocarbonetos. O hidrocarboneto provoca a perda de nutrientes que torna o solo infértil, além de ter caráter mutagênico e carcinogênico. O processo de biorremediação pode ser com a utilização de microorganismos, plantas ou produtos biológicos, tais como enzimas de componentes e de células. A técnica é feita in situ ocorre no local do derramamento, que é feita por bioestimulação, bioaumento, atenuação natural. A técnica ex situ ocorre quando o material é removido a partir do local e levadas para o laboratório para ser tratada; entre as técnicas ex situ pode ser citada a compostagem e reatores naturais. A técnica in situ é mais comumente usado por causa das dificuldades, riscos e custos elevados de transporte do material contaminado.

**Palavras-chave:** Biorremediação, Hidrocarbonetos, Fungos, Microorganismos e Contaminação.

## BIOREMEDIATION OF SOILS CONTAMINATED WITH HYDROCARBONS USING FUNGI

### ABSTRACT

The fuel contamination is a major source of soil contamination by hydrocarbons. The hydrocarbon causes loss of nutrients which makes the soil infertile, besides having mutagenic and carcinogenic character. The bioremediation process may be with the use of microorganisms, plants or biological products, such as enzyme and cell components; There technique is done in situ where the spillage which is made by biostimulation, bioaugmentation, natural attenuation occurred. And ex situ technique where material is removed from the site and taken to the laboratory to be treated; among ex situ techniques may be cited composting and natural reactors The in situ technique is most commonly used because of difficulties, risks and high costs of transporting the contaminated material.

**Keywords:** Bioremediation, Hydrocarbon, Fungi, Microorganisms and Contamination.

## INTRODUÇÃO

Os problemas de poluição e degradação ambiental agravaram-se com o

desenvolvimento dos centros urbanos e, sobretudo, a partir da Revolução Industrial, por conta do aumento da geração de resíduos

sólidos, efluentes líquidos e compostos voláteis (DIAS, 2000).

A crescente demanda e oferta de novos produtos químicos pela sociedade industrializada do século XX acarretaram o incremento, no ambiente, de grandes quantidades de diversos compostos químicos provenientes das descargas industriais e de várias outras atividades antrópicas (MELLO, 2007).

Especificadamente, se tratando do Estado de São Paulo - Brasil, a falta de planejamento estratégico acompanhado com o crescimento acelerado, nas últimas décadas, proporcionou a existência de estabelecimentos industriais inseridos em áreas que passaram a ser altamente urbanizadas e densamente povoadas, paralela a essa situação, houve negligência na política de gerenciamento ambiental, principalmente, nas décadas de 60 à 90, dando origem a áreas contaminadas por substâncias tóxicas, muitas vezes colocando em risco a saúde da comunidade próxima a estes locais (YUKIMITU, 2005).

### Áreas Contaminadas

A existência de uma área contaminada pode gerar problemas, como danos à saúde, comprometimento da qualidade dos recursos hídricos, restrições ao uso do solo e danos ao patrimônio público e privado, com a desvalorização das propriedades, além de outros danos ao meio ambiente (CETESB, 2014).

Desde 2002, a CETESB passou a divulgar a relação de áreas contaminadas no Estado de São Paulo. Os postos de combustíveis, contou em dezembro de 2014, com 3.825 registros (74% do total), seguidos das atividades industriais com 862 (17%), das atividades comerciais com 263 (5%), das instalações para destinação de resíduos com 151 (3%) e dos casos de acidentes, agricultura e fonte de contaminação de origem desconhecida com 47 (1%) (Figura 1).

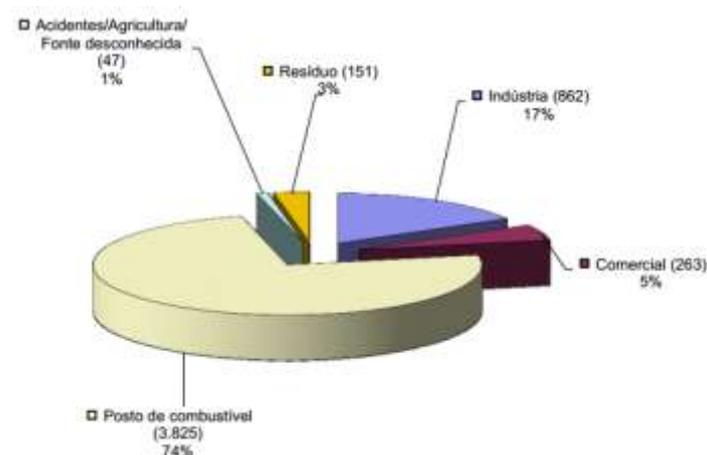


Figura 1. Distribuição de áreas contaminadas por atividade (CETESB, 2014).

### Hidrocarbonetos

A contaminação por hidrocarbonetos tornou-se uma das grandes preocupações ambientais, uma vez que este tipo de substância é bastante utilizada e possui alta toxicidade, estes compostos tem o potencial de afetar os animais e também os seres humanos, pois possui um caráter mutagênico e cancerígeno (PEDROZA, 2009).

Os hidrocarbonetos aromáticos possuem cadeia fechada que apresenta na sua estrutura básica um anel com seis átomos de

carbono (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), com ligações duplas alternadas entre eles, esta unidade básica é chamada de benzeno. No petróleo, são encontrados compostos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) com números de anéis benzênicos condensados que variam de 2 a 4 (BENTO, 2005).

No entanto, devido à possibilidade da fusão de um número variável de anéis e das várias posições em que estes anéis podem se ligar entre si, atualmente mais de 100 hidrocarbonetos aromáticos são reconhecidos pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) (VERSCHUEREN, 2001). Dentre estes, somente 16 são considerados relevantes em função das informações químico-físicas, toxicológicas, industriais e ambientais existentes. São eles: acenaftaleno, acenaftileno, antraceno, benzoantraceno, benzopireno, benzofluoranteno, benzopireleno, criseno, dibenzoantraceno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno, indenopireno, naftaleno e pireno (POTIN et al., 2004).

O benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno são hidrocarbonetos aromáticos mais abundantes nas frações leves do petróleo, como a gasolina e o óleo diesel. Esses compostos podem ser transportados em locais distantes do ponto de origem.

### **Principais Fontes Contaminantes**

Os hidrocarbonetos são introduzidos no ambiente em grandes quantidades devido às atividades relacionadas à extração, refino,

transporte e utilização do petróleo e de seus derivados, tornando-os uma fonte de contaminação do solo e água, devido a sua solubilidade em água (BARBOSA et al., 2009).

Quando o combustível atinge o solo, seus componentes separam-se em três fases: dissolvida, líquida e gasosa. Uma pequena fração dos componentes da mistura se dissolve na água do lençol freático, uma segunda porção é retida nos espaços porosos do solo na sua forma líquida pura como saturação residual e outra parte dos contaminantes passíveis de evaporação dão origem à contaminação atmosférica (NADIM et al., 1999).

### **Biorremediação**

A biorremediação pode ser definida como um conjunto de tecnologias, que utilizam processos biológicos, aplicadas à recuperação ou remediação de áreas contaminadas, que devam ser eliminados antes da descarga no ambiente. Para isto, em geral, utilizam-se microorganismos, plantas ou produtos biológicos, como enzimas e componentes celulares, com a finalidade de realizar uma mineralização, a qual, possivelmente, resulta em gás carbônico e água como produtos finais (DIAS, 2000).

Tal técnica tem se destacado devido a simplicidade da manutenção, aplicação em grandes áreas, baixo custo, além da possibilidade de ocasionar a destruição

completa do contaminante (BENTO et al., 2005).

Seu objetivo principal é induzir ou acelerar os processos biológicos naturais de reciclagem de compostos de interesse, incluindo compostos orgânicos ou inorgânicos. Assim, o desafio principal é utilizar a capacidade intrínseca dos microorganismos de degradar matéria orgânica para degradar compostos orgânicos tóxicos, tanto de origem natural como compostos sintéticos (DIAS, 2000).

### **Técnicas de Biorremediação**

De acordo com o tipo de tratamento, as técnicas de biorremediação são denominadas *in situ* e *ex situ*, adotadas considerando não só os poluentes, mas o custo dos processos e, principalmente, a concentração final do contaminante, no término do tratamento.

Na biorremediação *in situ*, o processo de biodegradação ocorre no local contaminado. As técnicas *in situ*, geralmente envolvem o aumento da atividade microbiana local, por meio da alteração da área degradada, usando-se a adição de nutrientes, ajuste de pH, o controle da umidade e da aeração para propiciar as condições ótimas de degradação biológica dos componentes tóxicos (FERRARI, 1996; BOOPATHY, 2000; MARTINS, 2003).

No caso do uso de técnicas *in situ*, as funções do solo podem sofrer mudanças em

sua estrutura ou modificações no balanço hídrico.

As técnicas *ex situ* podem modificar as características do solo de modo mais intenso. Neste caso, o solo tratado pode ter diminuição das quantidades de matéria orgânica, de nutrientes e da capacidade de troca catiônica, com consequente redução de suas propriedades filtrantes, de tamponamento e de depuração (SEABRA, 2005).

A técnica de bioaumento é utilizada quando baixa taxa de degradação de um contaminante no solo é resultado do número reduzido ou inexistente de microorganismos com habilidade de degradação do composto. (HUESEMANN et al., 2002). Isto é particularmente importante quando o solo recebe um xenobiótico e não há populações microbianas capazes de degradar eficientemente este composto. Nestes casos, a bioaugmentação, que é a inoculação de um local contaminado com microorganismos com alto potencial de degradação dos contaminantes, torna-se uma prática recomendada (EDGEHILL et al., 1999).

Outra técnica *in situ* que pode ser utilizada é a bioestimulação, em que nutrientes orgânicos e inorgânicos podem ser adicionados ao solo visando a estimular a atividade dos microorganismos degradadores.

A atenuação natural é uma técnica *in situ* de biorremediação, na qual o contaminante permanece no local e, através de processos naturais como biodegradação,

volatilização, diluição e sorção, ocorre a descontaminação do ambiente. (MULLIGAN & YONG, 2004).

A fitorremediação utiliza plantas para remediar o solo contaminado por metais pesados, compostos orgânicos e radionuclídeos. A maioria das pesquisas em fitorremediação estuda a utilização de plantas hiperacumuladoras, que têm a capacidade de estocar grandes quantidades de metais pesados sem um uso aparente em seu metabolismo (WEIS & WEIS, 2004). Porém para a degradação de HAP's, deve existir uma atividade microbiótica no solo contaminado, sendo sua população estimulada pela presença das plantas, através da rizosfera, no solo estéril (sem a presença de microrganismos) esta técnica não é recomendada. (JOHNSON et al. 2005).

O landfarming é uma das tecnologias de remediação que consistem na aplicação do resíduo na superfície do solo, de modo a reduzir as concentrações dos constituintes de petróleo por meio da biodegradação microbiana. O espalhamento do material oleoso contaminante sobre o solo e a incorporação na camada arável, também denominada camada reativa (US EPA, 2000), pode afetar diretamente e de modo diferenciado, os microrganismos responsáveis pela biodegradação (FRANCO, 2004). A biodegradação microbiana, que é o mecanismo primário de eliminação dos poluentes orgânicos do ambiente, compõe a

base deste tratamento, sendo de grande importância a manutenção de uma comunidade microbiana heterotrófica ativa, mas são escassos os estudos relacionados à atividade dos microrganismos em área de tratamento de resíduo petroquímico por "landfarming". Esta técnica pode ser realizada in situ e visa a descontaminar o solo no local onde este foi contaminado, ou até mesmo pode ser realizada ex situ, se o solo contaminado foi removido para outro local onde o landfarming será operado.

A compostagem é uma técnica ex situ em que o solo contaminado é removido do local de origem e alocado na forma de pilhas, em um local que permita o controle da lixiviação e do escoamento superficial dos líquidos originados dessas pilhas. Neste solo, será desencadeado um processo em que os micro-organismos aeróbios irão degradar os contaminantes orgânicos, transformando-os em material orgânico estabilizado, CO<sub>2</sub> e água. (AHTIAINEN et al., 2002).

Outro processo de tratamento muito utilizado no processo de remediação ex situ é o emprego de reatores biológicos. Os processos biológicos dividem-se em aeróbios e anaeróbios. Dentre os reatores utilizados, os mais comuns são os filtros biológicos anaeróbios ou aeróbios, o sistema de lodos ativados e suas variações e os digestores anaeróbios de fluxo ascendente (PHILIPPI JÚNIOR; ROMERO; BRUNA, 2004). O solo ou o efluente são acondicionados em tanques

mecanicamente agitados, o que possibilita o aumento da disponibilidade dos contaminantes aos micro-organismos degradadores e a eliminação da heterogeneidade da distribuição dos contaminantes. Além disso, no interior do biorreator, as condições ambientais de pH, os nutrientes, a aeração (ou anaerobiose) e a temperatura são otimizados para o máximo crescimento microbiano, sendo possível também, a inoculação de micro-organismos com capacidade degradativa conhecida, o que torna o processo bastante eficiente (MACLEOD; DAUGULIS, 2005). O fator que normalmente limita a utilização desta técnica é o elevado custo do tratamento, devido principalmente, à alta tecnologia utilizada nos biorreatores (DOELMAN; BREEDVELK, 1999).

### **Utilização de Fungos na biorremediação**

Os fungos estão amplamente distribuídos na natureza, assim, eles são encontrados na água, no ar atmosférico, no solo, sobre os animais e vegetais vivos parasitando-os, na matéria orgânica em decomposição, nos produtos alimentícios e produtos industriais (SILVEIRA, 1995).

Os fungos apresentam uma série de características econômicas e ecológicas que os transformam em organismos indispensáveis para todo e qualquer ecossistema. Estão presentes na vida cotidiana, seja na elaboração de pães, queijos

e bebidas, seja degradando e reciclando nutrientes (PUTZKE, 2002).

Nas últimas décadas, a utilização de fungos filamentosos e seus metabólitos nos processos de biorremediação vem crescendo, em virtude do alto potencial degradativo, bioassortivo (metais e corantes) e dos mecanismos de resistência em condições ambientais adversas (CONCEIÇÃO et al., 2005).

As principais espécies de fungos que assimilam hidrocarbonetos são do gênero *Aspergillus* e *Penicillium*, contudo esta característica é uma propriedade individual da espécie e não necessariamente uma característica particular do gênero (RISER ROBERTS, 1992).

### **Bioestimulação in situ utilizando fungos**

O processo de bioestimulação consiste na correção das condições ambientais e envolve a adição de nutrientes orgânicos e inorgânicos tais, como nitrogênio, fósforo, potássio, oxigênio e umidade para estimular a atividade dos microorganismos degradadores (SPINELLI, 2007).

A suplementação de nutrientes para a degradação de hidrocarbonetos tem sido, tradicionalmente, focada na adição de fontes de N e P, tanto orgânicas quanto inorgânicas. Devido ao fato do carbono ser o principal constituinte dos combustíveis de petróleo, a sua dosagem tem sido considerada como um

índice para a determinação das quantidades de N e P que necessitam ser adicionadas para atingir a ótima relação C:N:P (RISER-ROBERTS, 1998 apud SARKAR et al., 2005). Várias fontes de nutrientes, tais como fertilizantes inorgânicos, uréia, serragem, húmus, estrume e biosólidos têm sido usados no bioestímulo. (CHO et al., 1997; NAMKOONG et al., 2002 apud SARKAR et al., 2005).

O extrato de levedura estimula o crescimento de diversos microorganismos, em virtude deste nutriente ser uma fonte de aminoácidos e vitaminas, especialmente do complexo B. Porém, apesar da importância do extrato de levedura como fonte de nitrogênio e de outros nutrientes, seu custo elevado afetaria a viabilidade do processo (ANTUNES, 1997).

Araujo e Lemos (2002), realizaram o isolamento e identificação de fungos filamentosos com capacidade de degradação do petróleo. A partir de um solo contaminado com 5% m/m de petróleo, foram obtidas oitenta linhagens, das quais sessenta apresentaram capacidade para degradar hidrocarbonetos de petróleo. Os fungos encontrados com maior frequência no solo foram aqueles que produziram pequenos conídios, tais como *Penicillium* e *Verticillium* ssp.

RAVELET et al. (2000) identificou várias espécies de fungos com capacidade para degradar pireno, um hidrocarboneto

policíclico aromático que possui quatro anéis aromáticos. Os microorganismos isolados foram: *Mucor racemosus*, *Mucor racemosus* var. *sphaerosporus*, *Gliocadium virens*, *Penicillium simplicissimum*, *Penicillium janthinellion*, *Phialophora alba*, *Phialophora hoffmannii*, *Trichoderma hazianum*, *Scopulariopsis brumptii* e *Coniothyrium fuckelii*. MOLLEA et al. (2005) também utilizou linhagens fúngicas puras na otimização da biodegradação de HPA. Os resultados apresentados nesse artigo mostraram que *T. harzianum* não foi capaz de biodegradar naftaleno, diretamente no microcosmo contendo solo, enquanto *P. Chrysosporium*, nas mesmas condições de teste, degradou o poluente até atingir uma concentração residual de 150 mg/kg de solo, após 80 dias, em condições corrigidas com nitrogênio. Porém, no trabalho de Baheri & Meysami (2002), o bioaumento, com linhagens de fungo da podridão branca, não teve um efeito significativo na biorremediação do solo. Isso foi devido, segundo o próprio artigo, à presença de linhagens naturais de fungos da podridão branca no solo e no material estruturante que continha a madeira. Porém, é conhecido que os microorganismos podem não degradar o contaminante numa exposição inicial, mas fazê-lo após uma exposição duradoura. Essas adaptações metabólicas têm sido objeto de estudo quanto aos mecanismos que as causam, dentre elas a de adaptação de

enzimas de crescimento das populações biodegradantes e mutações genéticas. (BRITO, 2004).

Atagana et al. (2006) avaliou a capacidade de linhagens fúngicas (*Cladosporium*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus* e *Pleurotus*), isoladas do solo contaminado com creosoto, na degradação de HPAs. O estudo foi realizado com bioestímulo, sob a forma de adição de nutrientes. Os pesquisadores apontaram *Pleurotus*, um fungo da podridão branca, como o microrganismo com maior potencial degradador. Embora todas as culturas puras tenham degradado ativamente o creosoto (máximo de remoção de 80%), a mistura de culturas fúngicas foi mais efetiva, com remoção igual a 94,1% no tratamento do solo com adição de nutrientes.

Oliveira e Lemos (2005) também analisaram o benefício do tratamento ex situ de amostras contaminadas por petróleo, empregando, conjuntamente, o bioestímulo, com fontes de nitrogênio, e o bioaumento, com *Aspergillus versicolor*. O tratamento proporcionou um aumento de 57,4% na atenuação de hidrocarbonetos do petróleo em relação à amostra controle. BARROS et al. (2007) avaliou o desempenho da associação de inóculo fúngico e pó de coco como material estruturante. Os autores relataram que, nas amostras sem inóculo fúngico, a evolução de CO<sub>2</sub> foi inferior, demonstrando a importância dos fungos no processo.

O uso de microorganismos, especialmente fungos filamentosos, em processos de produção em grande escala é altamente conveniente, principalmente em função da dispensa de reagentes químicos adicionais, da freqüente auto-sustentabilidade do processo e da natureza pouco poluente dos processos biológicos (BRITO et al., 2004).

## CONCLUSÃO

Dentre as técnicas testadas, a *ex situ* se mostrou mais eficiente quando comparadas com as técnicas *in situ*, nos quesitos tempo e qualidade; devido à disponibilidade de monitoramento em laboratório.

A *in situ*, por sua vez, é de grande importância pela capacidade de tratamento dos contaminantes no local do derramamento, tornando esta técnica mais acessível financeiramente. Sua dificuldade é sofrer alterações causadas pelas modificações naturais dos ambientes.

## REFERÊNCIAS

- AHTIAINEN, J. et al. Microbial toxicity tests and chemical analysis as monitoring parameters at composting of creosotecontaminated soil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, San Diego, v. 53, n. 3, p. 323-329, 2002.
- ANTUNES, J. G. Bioconversão de D-xilose a etanol por *Pichia stipitis*.
- ARAÚJO, F. S. M. E LEMOS, J. L. S. Isolamento e identificação de fungos degradadores de petróleo. In: X Jornada de Iniciação Científica, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT, 2002.

- BAHERI, H.; MEYSAMI, P. Feasibility of fungi bioaugmentation in composting a flare pit soil. **Journal of hazardous materials**, n.89, p.279-286, 2002.
- BARBOSA, B. C. A; SIQUEIRA, J. P; MOREIRA, I. C. Q; MARINHO. G. RODRIGUES, KA. **Remoção niger AN400 de compostos BTX em água residuária sintética por Aspergillus**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, 2009.
- BARROS, C. A. **Um Estudo sobre Biorremediação: uma ciência levada à sala de aula**. Monografia apresentada no final do curso de Licenciatura em Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 60 p, 2007.
- BENTO, F.M. et al. Comparative biorremediation of soils contaminated with diesel oil by natural attenuation, biostimulation and bioaugmentation. **Bioresource Technology**, **Oxon**, v.96, p. 1049-1055, 2005.
- BRITO, N. N. et al. Utilização de fungos na remediação de efluentes industriais. In: FÓRUM DE ESTUDOS CONTÁBEIS, 4., 2004, Rio Claro. **Anais...** Rio Claro: Faculdades Integradas Claretianas, 2004.
- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo Acidentes ambientais. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso: dezembro de 2014.
- CHANDER, M.; ARORA, D. S.; BATH, H. K. Biodecolourisation of some industrial dyes by white rot fungi. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, Hampshire, v. 31, n. 2, p. 94- 7, 2004.
- CHO, B. H.; CHINO, H.; TSUJI, H.; KUNITO, T.; MAKISHIMA, H.; UCHIDA, H.; MATSUMOTO, S.; OYAIZU, H. Analysis of oil components and hydrocarbonsutilizing microorganisms during laboratory-scale bioremediation of oil contaminated soil of Kuwait. **Chemosphere**, v.35, n. 7, p. 1613-1621, 1997.
- DAVIS, J. S.; WESTLAKE, D. W. S. Crude oil utilization by fungi. **Can. J. Microbiol.** v.25, p.146-156 apud ATAGANA, H. I.; HAYNES, R. J. & WALLIS, F. M. (2006) Fungal Bioremediation of creosote contaminated soil: a laboratory scale bioremediation study using indigenous soil fungi. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 172, p.201-219, 1978.
- DIAS, A. E. X. O. Biorremediação de áreas afetadas por resíduos sólidos tóxicos. In: SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA, R. M. (Org.) Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde: uma visão multidisciplinar. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 142 p, 2000.
- DOELMAN, P.; BREEDVELK, G. In situ versus on site practices. In: ADRIANO, D. C. et al. (Ed.). Bioremediation of contaminated soils. Madison: ASA. p. 539-558, 1999.
- EDGEHILL, R.U. et al. Bioremediation by inoculation with microorganisms. In: Adriano, D.C. et al. (Ed). Bioremediation of contaminated soils. Madison: ASA/CSSA/SSSA, p.290-314, 1999
- FRANCO, I. Microbiological resilience of soils contaminated with crude oil. **Geoderma**, Amsterdam, v.121, n.1/2, p.17-30, 2004.
- HAMDI, H.; BENZARTI, S.; MANUSADZIANAS, L.; AOYAMA, I. & JEDIDI, N. Bioaugmentation and biostimulation effects on PAH dissipation and soil ecotoxicity under controlled conditions. **Soil Biology & Biochemistry**, v.39, p.1926-1935, 2007.
- HUESEMANN, M.H. et al. Microbial factors rather than bioavailability limit the rate and extent of PAH biodegradation in aged crude oil contaminated model soils. **Bioremediation Journal**, Philadelphia, v.6, n.4, p.321-336, 2002.
- JOHNSON, D.L. et al. Soil microbial response during the phytoremediation of PAH contaminated soil. **Soil, Biology and Biochemistry**, Oxford, v.37, n.12, p.2334-2336, 2005.

- MACLEOD, C.T.; DAUGULIS A.J. Interfacial effects in a two-phase partitioning bioreactor: degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by a hydrophobic Mycobacteriu. **Process Biochemistry**, Oxon, v.40, n.5, p.1799–1805, 2005.
- MELLO, J.M.M. **Biodegradação dos compostos BTEX em um reator com biofilme**. 2007.152f.
- MULLIGAN, C.N.; YONG, R.N. Natural attenuation of contaminated soil. **Environmental International**, Oxford, v.30, n.4, p.587-601, 2004.
- NADIM, F.; HOAG, G. E.; LIU, S.; CARLEY, R. J.; ZACK, P. Detection and remediation of soil and aquifer systems contaminated with petroleum products: an overview. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v.26, p. 169-178, 1999.
- OLIVEIRA, S. D. E LEMOS, J. L. S. Biodegradação de petróleo de solo areno-argiloso por fungo filamentosos. In: XIII Jornada de Iniciação Científica, Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCT, 2005.
- PEDROZA, S.; FLORENCIO, L.; KATO.; M. T; PAIM.; A. P.S. GAVAZZA,S. Remoção Anaeróbia dos Componentes BTEX de Água Contaminada por Gasolina. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**.v.14 p.61-67, 2009.
- PEDROZO, J.M.F.M.; BARBOSA, E.M.; CORSEUIL,H.X;SCHNEIDER. M.R.; LINHARES , M.M. Ecotoxicologia e Avaliação de Risco do petróleo. Salvador : Centro de Recursos Ambientais, Governo da Bahia, Secretaria do Planejamento, **Ciência e tecnologia**. Salvador. p. 229, 2002.
- PHILIPPI JÚNIOR, A.; ROMERO, M. A.; BRUNA, G. C. (Ed.). **Curso de gestão ambiental**. Brueri: Manole, 2004.
- POTIN, O. et al. Bioremediation of an aged polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHS) – contaminated soil by filamentous fungi isolated from the soil. **International**
- Biodeterioration and Biodegradation**. Oxford. v.54, p.2004.
- RAVELET , C.; KRIVOBOK, S.; SAGE, L. E STEIMAN, R. Biodegradation of Pyrene by Sediment Fungi. **Chemosphere**, v.40, p. 557 - 563, 2000.
- RISER-ROBERTS, E. **Bioremediation of Petroleum Contaminated Sites**. CRC Press, Inc. 496p, 1992.
- RISER-ROBERTS, E. **Remediation of Petroleum Contaminated Soil: Biological, Physical, and Chemical Processes**. CRC Press LLC, Boca Raton, FL, 1998.
- SEABRA, P. **Principais Técnicas De Biorremediação In Situ Utilizadas Na Recuperação de Áreas Contaminadas Por Derivados De Petróleo**. Disponível em <http://www.cpgls.ucg.br>. Acesso: junho de 2014.
- SILVEIRA, V. D. Micologia. 5 ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural. 336 p, 1995.
- SKIPPER, H. D. **Bioremediation of contaminated soils**. In: Sylvia, D. M. (Ed.), Principles and Applications of Soil Microbiology. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ,p. 469 -481, 1999.
- VERSCHUEREN, K. **Handbook of environmental data of organic hemicals**. 4th ed. Chichester, England: Wiley, 2416p, 2001.
- VIDALLI, M. Bioremediation: an overview. **Pure Applied Chemistry**. v. 73, p. 1163-1172, 2001.
- VOGEL, T. M. Bioaugmentation as a soil bioremediation approach. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 7, p. 311 -316, 1996.
- WEIS, J.S.; WEIS, P. Metal uptake, transport and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. **Environment International**, Oxford, v.30, n.5, p.685-700, 2004.