

BIORREMEDIAÇÃO DOS SOLOS

Laércio de Souza Silva

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Renan de Almeida Teodoro

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

Maria Clara Godinho Somer Avelino

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UNESP/FEB
Docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária
Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

RESUMO

Diante da crescente geração de resíduos por indústrias, sistemas agrícolas, acidentes diversos com diferentes poluentes, como por exemplo, óleos e derivados de petróleo, existe uma grande preocupação com o meio ambiente, levando à busca de maiores conhecimentos sobre a degradação de tais compostos. Neste contexto, para tentar minimizar esses problemas utilizando-se biotecnologias como processos biológicos são possíveis alternativas. Estas consistem em técnicas de Biorremediação no qual são empregados organismos vivos e suas enzimas na degradação de compostos tóxicos visando à sua erradicação, redução ou transformação em substâncias menos tóxicas. Assim, o objetivo deste trabalho foi, por meio de uma revisão de bibliografia, abordar a importância da degradação de compostos xenobióticos em solo, a recuperação de ambientes contaminados por técnicas de Biorremediação, a importância dos microrganismos neste processo e, por último, avaliar nas bases de dados pesquisadas o panorama atual das pesquisas em Biorremediação do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Biorremediação; Compostos xenobióticos; Ambientes contaminados; Microrganismos.

INTRODUÇÃO

A revolução industrial trouxe um enorme aumento da poluição e da produção de resíduos. Na realidade, muitos dos problemas ambientais atuais são os resultados de mais de 200 anos de má gestão do lixo industrial, sendo os locais contaminados uma consequência frequente do manuseamento e eliminação inadequados de materiais perigosos.

Atualmente, inúmeras pesquisas relacionadas à Biorremediação de áreas atingidas por acidentes envolvendo produtos petroquímicos são realizadas com a finalidade de restaurar a qualidade dos solos. Diante desse cenário, a contaminação

do solo e água por hidrocarbonetos derivados de petróleo, mesmo em pequenas concentrações podem constituir um grande perigo à saúde humana e ao meio ambiente (COSTA, 2011)

O petróleo é um composto orgânico, formado por processos biogeoquímicos, constituído em sua maior parte por uma mistura complexa de hidrocarbonetos (USBERCO E SALVADOR, 2002). Melo *et al.* (2008) definiram que o petróleo é constituído por centenas de compostos orgânicos que podem ser divididos em hidrocarbonetos alifáticos (alcanos, alcenos e cíclicos), hidrocarbonetos aromáticos (mono e poli aromáticos), asfaltenos (fenóis, ácidos graxos, cetanos e esterres) e compostos polares que incluem as resinas (piridina, quinolinas, carbazóleo, amidas, tiofeno, entre outros). Usberco e Salvador (2002) acrescentaram que o petróleo (bruto ou derivado) também pode conter quantidades pequenas de nitrogênio, oxigênio, compostos de enxofre e íons metálicos, principalmente níquel e vanádio. A indústria de petróleo, em suas diversas atividades – produção, refino, transporte e comercialização, apresentam risco ambiental inerente que precisa ser constantemente gerenciado. Os vazamentos acidentais de petróleo e derivados em dutos, embarcações e unidades industriais, são exemplos desses impactos ao ambiente (COSTA, 2011).

A legislação brasileira exige que áreas contaminadas devam ser remediadas, para minimizar a interferência ambiental e restaurar os ecossistemas. Para isto, são necessários o diagnóstico, a análise e o monitoramento do impacto e medidas remediadoras (CETESB, 2010).

A Resolução do CONAMA 273/2000, define que toda instalação e sistemas de armazenamento de derivados de petróleo configuram-se como empreendimentos potencialmente ou parcialmente poluidores e geradores de acidentes ambientais, considerando que os vazamentos de derivados de petróleo e outros combustíveis podem causar contaminação de corpos d'água subterrâneos e superficiais, do solo e do ar.

Diversas técnicas que envolvem métodos físicos e químicos podem ser empregadas para remover os contaminantes do solo ou reduzir a concentração destes poluentes como: diluição, dispersão, sorção, bombeamento, incineração e Biorremediação (COSTA, 2011). Porém, as técnicas relacionadas à Biorremediação

são consideradas de baixo custo em comparação com o de processos convencionais.

As técnicas de Biorremediação utilizam microrganismos vivos, apresentam baixo consumo de energia e causam poucas mudanças nas características físicas, químicas e biológicas do ambiente (TONINI *et al.*, 2010).

A Biorremediação é uma opção que oferece a possibilidade de eliminar ou transformar diversos contaminantes em compostos menos prejudiciais usando a atividade biológica dos micro-organismos que possuem capacidade de decompor poluentes, como os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos do petróleo, conhecidos como HAP's (VIDALLI, 2002; MARIANO, 2007).

1 REFERENCIAL TEÓRICO

A Biorremediação é o processo de tratamento que utiliza a ocorrência natural de microrganismos para degradar substâncias toxicamente perigosas transformando-as em substâncias menos ou não tóxicas. É um mecanismo de estimulação de situações naturais de biodegradação para a limpeza de derramamentos de óleos e tratamento de ambientes terrestres e aquáticos contaminados com compostos xenobióticos (substância sintética que polui o meio ambiente). Maior segurança e menos perturbação do meio ambiente são os principais benefícios da Biorremediação.

A Biorremediação envolve a utilização de microorganismos, de ocorrência natural (nativos) ou cultivada, para degradar ou imobilizar contaminantes em águas subterrâneas e em solos. Neste caso, geralmente, os microrganismos utilizados são bactérias, fungos filamentosos e leveduras. Destes, as bactérias são as mais empregadas e, por conseguinte, são consideradas como o elemento principal em trabalhos que envolvem a biodegradação de contaminantes. São definidas como qualquer classe de microorganismos unicelulares, geralmente agregados em colônias, que vivem em compartimentos ambientais diversos. São importantes, em função de seus efeitos bioquímicos e por destruírem ou transformarem os contaminantes potencialmente perigosos em compostos menos danosos ao ser humano e ao meio ambiente (CONSELHO NACIONAL DE PESQUISA NRC 1993).

Para CETESB (2009), no momento em que um contaminante ou poluente atinge a superfície do solo, vários mecanismos estão envolvidos, dentre eles a adsorção, a fixação química, a precipitação, a oxidação, a troca iônica, a neutralização, ou o poluente pode ser arrastado pelas águas através do escoamento

superficial, ou lixiviado pelas águas de infiltração, passando para as camadas inferiores e atingindo as águas subterrâneas. Uma vez atingindo as águas subterrâneas, esse poluente será então carregado para outras regiões, através do fluxo dessas águas.

A persistência de um contaminante no solo depende de suas propriedades físico-químicas, das propriedades do solo, da interação com o solo e mudanças estruturais as quais determinam sua degradação (LAVORENTI, 1996). Sabaté *et al.* (2004) observaram que os solos possuem diferenças nas atividades metabólicas dos microrganismos naturais, afetadas pela sua estrutura, composição e características.

Dessa forma, inúmeras pesquisas relacionadas à remediação biológica de áreas atingidas por derivados de petróleo são realizadas com a finalidade de restaurar a qualidade dos solos (LOVLEY, 2003). Percebe-se que a técnica de Biorremediação revela-se como uma técnica eficiente, promissora e interessante devido, principalmente, aos baixos custos e por ser uma alternativa com mínima intervenção, na maioria das vezes, na recuperação dos ambientes contaminados.

Não obstante, em poucos casos as condições naturais do local contaminado fornecem todas as substâncias essenciais, em quantidades suficientes, para que a Biorremediação possa ocorrer sem a intervenção humana. Esse processo natural também é conhecido como "Biorremediação intrínseca" e é utilizada, com sucesso, em alguns trabalhos (BOROLE *et al.* 1997; CHEN *et al.*, 2006; TROQUEST *et al.*, 2003).

Todavia, mesmo quando o meio é totalmente acondicionado ao cultivo dos microrganismos, a biodegradação pode ser afetada, principalmente, devido à capacidade intrínseca de cada microorganismo de metabolizar uma substância qualquer. Por exemplo, de acordo com Embar *et al.* (2006), alguns microrganismos sobrevivem em condições ambientais extremamente adversas. Adicionalmente, pesquisas comprovam que diferentes microrganismos podem degradar diferentes substâncias, dentre estas, substâncias recalcitrantes, como os hidrocarbonetos de petróleo. Contudo, pesquisas sugerem que devido à elevada diversidade de compostos em solos contaminados por petróleo e derivados, estudos preliminares à biorremediação são de suma importância para o tratamento dessas matrizes ambientais (EMBAR *et al.*, 2006). Salienta-se que, a princípio, o fator crítico para

definir se a biorremediação é a técnica mais apropriada para o tratamento do local contaminado é a biodegradabilidade do contaminante.

1.1 Fatores que influenciam a biodegradabilidade dos contaminantes e a problemática da contaminação de solos por petróleo

Embora vários contaminantes possam ser metabolizados por microorganismos, alguns são mais facilmente biodegradados do que outros. No caso dos hidrocarbonetos de petróleo, por exemplo, muitas áreas contaminadas possuem uma mistura complexa de compostos orgânicos, sendo que a maioria destas substâncias, certamente, não é metabolizada na mesma velocidade. Em suma, as medidas corretivas a serem adotadas em quaisquer projetos que envolvam a biorremediação dependem de vários fatores, dentre eles, pode-se citar: os tipos e as quantidades dos microorganismos e as condições físicas e químicas da área contaminado (como pH, umidade, temperatura, salinidade, teor de oxigênio e quantidade de nutrientes). Os nutrientes, que geralmente são representados por nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), durante a Biorremediação, normalmente são utilizados na forma de nitrato de amônio (NH_4NO_3), di-hidrogeno fosfato de potássio (KH_2PO_4) e nitrato de potássio (KNO_3), respectivamente (BETANCUR-GALVIS *et al.*, 2006). Além das condições citadas, é de extrema importância o conhecimento prévio do teor de matéria orgânica, o qual pode ser expresso pela quantidade de carbono orgânico total no meio.

Adicionalmente, Hutchinson *et al.* (2003) constataram que o fator principal que influencia na biorremediação de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo é a atividade microbiológica. Neste caso, Alexander (1977) discutiu, em detalhes, os efeitos desses fatores sobre os microorganismos. Para estes pesquisadores, a atividade e a população microbiana estão fortemente associadas com os conteúdos de água e de nutriente nos solos, com as espécies de plantas e com os tipos de contaminantes. Além disso, a atividade microbiológica é afetada, sobretudo, pelo valor do pH e pela temperatura dos solos (TATE, 1995).

No tocante ao valor do pH, observa-se que a faixa ideal de pH para que os microorganismos tenham atividade máxima é entre 6,5 e 8,5. De modo similar, Vidali (2001) também sugere que o valor do pH do meio reacional deva ser mantido

próximo da neutralidade, no qual há o predomínio de bactérias e de fungos no local contaminado. Por outro lado, quando há diminuição do valor do pH, por exemplo, em função dos subprodutos ácidos gerados durante a biorremediação, sugere-se que se faça imediatamente a correção do pH do solo, caso contrário, a eficiência do processo poderá ser diminuída consideravelmente. Normalmente, essa correção é feita por meio de "calagem", processo através do qual se aplica calcário ao solo, objetivando neutralizar a acidez e, então, propiciar condições para o desenvolvimento de plantas e de microorganismos. Salienta-se, porém, que nos solos ácidos o desenvolvimento dos microorganismos é bastante reduzido, principalmente das bactérias fixadoras do nitrogênio atmosférico, além de tornar o fósforo de difícil aproveitamento pelos vegetais. Nesta situação, embora a biodegradação de hidrocarbonetos de petróleo seja, na maioria das vezes, realizada por bactérias, pesquisas mostram que a utilização de fungos é uma opção considerada bastante viável. Esses microorganismos têm sido mais eficientes que as bactérias para agirem em condições ambientais adversas, como em valores extremos de pH (menor que 5 e maior que 10), em concentrações limitadas de nutrientes e em solos com teores reduzidos de umidade (VIDALI, 2001).

A análise mostra que a faixa de temperatura ideal para os microorganismos metabolizarem os contaminantes com eficiência ótima está entre 25 e 30 °C, na qual se encontra a temperatura média da maior parte dos solos do Brasil contendo áreas degradadas por contaminação de hidrocarbonetos do petróleo (TATE, 1995). Analogamente, estudos realizados pela Agencia de Proteção Experimental EPA (1995) constatam que a atividade microbiana é bastante comprometida em temperaturas abaixo de 10 °C e acima de 45 °C. Esta é uma excelente característica para a utilização de Biorremediação em solos tipicamente brasileiros e, portanto, reforça a probabilidade da implantação dessa técnica em números maiores de locais contaminados. Além disso, verifica-se que a temperatura do solo varia diariamente nas proximidades da superfície, em solos com baixa densidade de cobertura vegetal. Abaixo de 50 cm, a variação da temperatura dos solos é pouco significativa.

Por outro lado, a presença da vegetação sobre a área contaminada também afeta muitos atributos físicos dos solos, incluindo estrutura, porosidade, condutividade hidráulica e taxa de infiltração. Esses atributos, em geral, influenciam positivamente a atividade microbiológica por regular o transporte requerido de água

e de nutrientes através do perfil dos solos e por controlar a aeração da zona vadosa. Além do mais, a Biorremediação de hidrocarbonetos de petróleo é assistida por microorganismos, que, em geral, dependem fortemente das quantidades de umidade e de oxigênio adequadas. As propriedades físicas dos solos influenciam o transporte de ambas as espécies, oxigênio e água. Nesse caso, para a Biorremediação de solos, os conteúdos de água entre 50 e 80 % da capacidade e o teor de O_2 dissolvido maior que 1 mg L^{-1} , geralmente, são ótimos para a atividade microbiológica (MORGAN; WATKINSON, 1989).

Portanto, conforme aventado na presente revisão observa-se que os solos possuem, naturalmente, diversos microorganismos com atividades metabólicas variadas e que são capazes de degradar eficientemente diferentes contaminantes, como o petróleo e seus derivados. Contudo, em alguns casos, a contaminação de solos por estas substâncias tem se tornado uma problemática mundial, principalmente, devido à dificuldade de reabilitar a área contaminada. Estes problemas têm ocorrido, pois uma das principais dificuldades envolvendo a descontaminação dessas matrizes está relacionada, entre outros fatores, à presença de materiais argilominerais. Estes argilominerais, quando presentes em quantidades elevadas no solo contaminado, podem reduzir consideravelmente a eficiência do processo de Biorremediação. 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. 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, apresenta comumente estrutura granular e, desta forma, elevada permeabilidade.

Além da presença de argilominerais, muitos compostos orgânicos apresentam como características físico-químicas, baixa solubilidade em água, elevada afinidade pela matéria orgânica do solo, como os ácidos húmico e fúlvico e, conseqüentemente, baixa taxa de transferência de poluentes da fase sólida para a aquosa. Sendo assim, devido principalmente às características hidrofóbicas, esses contaminantes tendem a se adsorverem nos colóides do solo dificultando a ação de

microorganismos e, por conseguinte, inviabilizando a técnica de Biorremediação. Portanto, outra limitação da Biorremediação surge devido à baixa disponibilidade de contaminantes orgânicos, como os HPA e outros hidrocarbonetos de petróleos. Schwarzenbach *et al.* (1993) presenciaram e relataram sobre estas e outras propriedades para os HPA estudados.

Nesse contexto, a utilização de um agente tensoativo pode minimizar essas dificuldades e aumentar a eficiência da Biorremediação, haja vista que os problemas relativos à baixa solubilidade em água, elevada adsorção e baixa transferência dos hidrocarbonetos para a fase aquosa, são minimizados.

Contudo, conclui-se que a degradação biológica de compostos orgânicos é alcançada com eficiência somente em condições naturais favoráveis, que proporcionem interações otimizadas entre o microorganismo e o solo, entre o microorganismo e o contaminante, assim como a relação mútua dos microrganismos entre si.

1.2 Técnicas de utilização da Biorremediação

Desde os meados dos anos 80 do século XX, as estratégias de Biorremediação têm sido adotadas como uma maneira eficaz e de custo baixo para o tratamento de solos contaminados com petróleo (DELFINO; MILES, 1985; TSAO *et al.*, 1998; VAN DER HOEK *et al.*, 1989). As diferentes estratégias de Biorremediação, em geral, visam aumentar a população microbiana criando condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento (SILVA *et al.*, 2004). A seguir, serão apresentadas duas das técnicas principais de Biorremediação *in-situ*, a primeira é a "atenuação natural acelerada", também conhecida por "bioestimulação" e, a segunda, trata-se da "bioaugmentação". Em seguida, será descrita uma das técnicas mais utilizadas para o tratamento *ex-situ* de solos contaminados, que é a Biorremediação por "biopilhas".

Portanto, o processo de Biorremediação pode ser aeróbico ou anaeróbico, requerendo oxigênio ou hidrogênio, respectivamente. Na maioria dos locais, a subsuperfície é carente dessas espécies (oxigênio ou hidrogênio), o que impede os microorganismos de se reproduzirem e degradarem completamente o contaminante alvo. Além desses dois processos, a Biorremediação também pode ocorrer de forma co-metabólica Vidali (2001).

Na "Biorremediação aeróbica", que requer um meio oxidante, o oxigênio atua como receptor de elétrons e os contaminantes são utilizados pelos microorganismos como fontes de carbono (doador de elétrons), necessárias para manter as suas funções metabólicas, incluindo o crescimento e a reprodução. Por exemplo, os compostos BTEX cumprem essa função como doadores de elétrons, caso haja receptores suficientes (oxigênio dissolvido) para que a reação ocorra. Quando o oxigênio é totalmente consumido, os microorganismos passam a utilizar outros receptores naturais de elétrons disponíveis no solo, sendo que esse consumo ocorre na seguinte ordem de preferência: nitrato (reação de desnitrificação), manganês, ferro, sulfato e dióxido de carbono, sendo este, convertido em ácidos orgânicos para gerar o metano Aelion e Bradley (1991).

A "Biorremediação anaeróbica", que requer um meio redutor, ocorre pela ação de espécies doadoras de elétrons, responsáveis pela degradação, principalmente, dos poluentes halogênicos. Trata-se do fenômeno pelo qual os microorganismos, ao metabolizarem fontes alternativas de carbono (que não sejam os contaminantes de interesse), liberam compostos inorgânicos hidrogenados. O sucesso desta técnica está relacionado diretamente a uma ampla compreensão das condições físicas, químicas, biológicas e de uma minuciosa avaliação da aplicabilidade das técnicas *in situ* e *ex situ* (SANTOS *et al.*, 2007). As técnicas de Biorremediação *in situ* são aquelas em que não há necessidade de remoção do material, sendo a biorremediação realizada no próprio local contaminado. Isso evita custos e distúrbios ambientais associados ao movimento do material contaminado para o local de tratamento (JACQUES *et al.*, 2005; MARIANO, 2006).

Na tecnologia *ex situ* o material contaminado é retirado do local de origem e encaminhado para outro adequado, esta técnica é necessária para evitar o alastramento do contaminante e é muito utilizada em contaminações de cursos de água e lençóis freáticos (SANTOS *et al.*, 2007). Esta técnica produz um resultado mais rápido, pois são mais fáceis de serem controladas e apresenta uma maior versatilidade para o tratamento de vários tipos de contaminantes (ABBAS, 2003). Entre as técnicas mais utilizadas nos processos *ex situ* encontram-se o *Landfarming*, a compostagem e os biorreatores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Qualquer prática de Biorremediação que se baseia em processos de degradação de contaminantes orgânicos, deve ser iniciada com um extenso e cauteloso levantamento hidrogeológico, geoquímico e microbiológico da área contaminada. Dependendo das condições da região, a cinética de biodegradação dos compostos será mais rápida ou mais lenta. As condicionantes do meio, devidamente estudadas, vão nortear não apenas a melhor técnica de extração ou eliminação de contaminantes, como também a possibilidade de biodegradação dos poluentes, o que normalmente pode ocorrer como um polimento ou um incremento da remediação, com ou sem estímulo da microbiota local.

Além da importância de se definir a técnica a ser empregada, uma etapa preliminar de diagnóstico da área contaminada também se faz necessária, pois permite que os profissionais responsáveis pela remediação decidam, por exemplo, pelo uso de processos adicionais para acelerar a Biorremediação ou, em alguns casos, para promover a atenuação natural monitorada. Neste último método, a ANM pode ser utilizada, principalmente, nos casos em que uma análise exploratória permite definir que a contaminação não representa riscos à sociedade, em curto, médio ou longo prazo. Dessa maneira, é de grande importância realizar uma análise de risco do local e, em seguida, determinar a taxa de degradação como forma de prever até onde a pluma de contaminação irá se deslocar. Quando a taxa de biodegradação for igual ou maior que a taxa de deslocamento dos contaminantes, a pluma deixará de se deslocar e diminuirá de tamanho. Neste caso, se a fonte receptora não for atingida, não existe a necessidade de implantação de métodos mais drásticos e, então, a ANM seria uma opção economicamente viável de recuperação da área contaminada. No entanto, se o processo de ANM não evitar o deslocamento da pluma até as regiões de risco, são necessários métodos que acelerem a degradação dos contaminantes.

Portanto, trabalhos de diagnóstico correto e a implantação de um programa de ANM podem reduzir consideravelmente o custo da Biorremediação e evitar uma nova intervenção humana no local contaminado.

REFERÊNCIAS

AELION, C. M.; BRADLEY, P. M. Potencial de biodegradação aeróbica de microorganismos abaixo da superfície de um aquífero contaminado com combustível de jato. *Appl. Environ. Microbiol.* 57: 57-63, 1991.

ALEXANDER, M. *Introduction to Soil Microbiology*. 2nd ed. New York, John Wiley, 1977. p.423-437.

BETANCUR-GALVIS, L. A.; BERNAL, D. A.; RAMOS-VALDIVIA, A. C.; DENDOOVEN, L. **Biorremediação de aromáticos policíclicos contaminados com hidrocarbonetos solos salinealkaline do antigo lago Texcoco**. *Chemosphere*, 62: 1749-1760, 2006.

BOROLE, A.P.; SUBLETTE, K. L.; RATERMAN, K. T.; JAVANMARDIAN, M.; FISHER, J. B. *The potential for intrinsic bioremediation of BTEX hydrocarbons in soil/ground water contaminated with gas condensate*. *Appl. Biochem. Biotech.*, 63-65:719-730, 1997.

CETESB. Companhia de tecnologia de saneamento ambiental **Relação de áreas contaminadas**. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em: 06 set. 2015.

_____. **Gerenciamento de áreas contaminadas: investigação para remediação no Estado de São Paulo**. Dezembro de 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas>>. Acesso em: 05 set. 2015.

CHEN, K. F.; KAO, C. M.; CHEN, T. Y.; WENG, C. H.; TSAI, C. T. *Intrinsic bioremediation of MTBE-contaminated groundwater at a petroleum-hydrocarbon spill site*. *Environ. Geol.*, 50:439-445, 2006.

CLU-IN: RESÍDUOS PERIGOSOS INFORMAÇÕES CLEAN-UP. **Manual de Práticas de Tecnologia de surfactantes e co-solventes**. CH2MHill, 2006.

COSTA, M. D. Notas de aula: **Biorremediação de solos contaminados**. MBI 650 Microbiologia do solo. Universidade Federal de Viçosa. 2011.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 273, de 29 de novembro de 2000. Disponível em <www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=271>. Acesso em: 05 set. 2015.

EMBAR, K.; FORGACS, C.; SIVAN, A. **O papel das populações indígenas de bactérias e fungos do solo na biodegradação de petróleo em solo deserto**. *Biodegradação*, 17: 369-377, 2006.

EPA. AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL, ESTADOS UNIDOS. **Um Guia do Cidadão para Oxidação Química**. EPA 542-F-01-013, 2001.

HUTCHINSON, S. L.; SCHWAB, A. P.; BANKS, M. K. *Biodegradation of petroleum hydrocarbons in the rhizosphere*. In: McCUTCHEON, S. C.; SCHNOOR, J. L. (editors). **Phytoremediation - Transformation and control of contaminants**. Hoboken, New Jersey, John Wiley, 2003. p.355-386.

JACQUES, R. J.; BENTO, F. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; CAMARGO, F. A. O. Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. **Ciência Rural**. 2007, vol.37, n.4, p. 1192-1201.

LAVORENTI, A. Comportamento dos herbicidas no meio ambiente. In: Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental. **Anais do Workshop sobre Degradação**. Jaguariúna, SP: Embrapa-CNPMA, 1996. v. 1. p. 81-115.

LOVLEY, D. R. *Cleaning up with Genomics: applying molecular biology to bioremediation*. **Nature Reviews – Microbiology**. Vol. 1. October 2003.

MARIANO, A. P. **Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel**. 147 f. 2006. Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente).

MELO, I. S.; *et al.* **Microbiologia Ambiental**. 2ª ed. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2008. 647 p.

MORGAN, R.; WATKINSON, R.J. Degradação de hidrocarbonetos em solos e métodos para o tratamento do solo. CRC Crit. **Rev. Biotechnol.**, 8: 305-333, 1989.

NRC: CONSELHO NACIONAL DE PESQUISA. **In Situ Biorremediação: Quando isso funciona?** Washington, DC, National Academy Press, 1993.

SABATÉ, J.; VIÑAS, M.; SOLANAS, A. M. *Laboratory-scale bioremediation experiments on hydrocarbon contaminated soils*. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 54, n. 1, p. 19-25, 2004.

SANTOS, R. M; RIZZO, A. C. L; SOBRAL, L. G.S. **Remediação de solo contaminado por petróleo em biopilhas – escala piloto**. Campinas: Centro de tecnologia mineral CETEM, 2007.

SCHWARZENBACH, R. P.; GSCHWEND, P. M.; IMBODEN, D. M. **Química Orgânica Ambiental**. Nova Iorque, John Wiley, 1993. p.682.

TATE, R. L. **Microbiologia do Solo**. Nova Iorque, John Wiley, 1995. p.107.

TONINI, R. M. C. W.; REZENDE, C. E.; GRAVITOL, A. D. **Degradação e biorremediação de compostos do petróleo por bactérias: revisão**. *Oecologia Australis*. 14(4): 1027-1035, 2010.

TROQUEST, J.; LARROCHE, C.; DUSSAP, C. G. **Evidence for the occurrence of an oxygen limitation during soil bioremediation by solid-state fermentation**. *Biochem. Eng. J.*, 13:103-112, 2003.

USBERCO, J.; SALVADOR, E. **Química**. volume único. 5ª ed. São Paulo: Saraiva, 2002.

VIDALLI, M. **Biorremediação**: Uma visão geral. Química Pura e Aplicada. v.73, p. 1163-1172. 2001.