

# CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICAÇÃO DE BIORREMEDIAÇÃO EM AMBIENTE CONTAMINADO POR HIDROCARBONETOS

Heráclito Maria Soares Neto<sup>1</sup>

Antônio Alderi Nogueira da Silva Segundo<sup>2</sup>

Franklin Silva Mendes<sup>3</sup>

1 – Discente do Curso de Engenharia de Petróleo e Gás

2 – Discente do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Petróleo e Gás / Mestrado Profissional em Engenharia de Petróleo e Gás / Universidade Potiguar.

3 – Orientador, Professor Dr. do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Petróleo e Gás / Mestrado Profissional em Engenharia de Petróleo e Gás / Universidade Potiguar.

## RESUMO

Em todo o mundo existe um grande número de áreas que se apresentam com o solo e águas subterrâneas comprometidas com petróleo e seus derivados. A aplicação de técnicas de biorremediação vem sendo adotada com sucesso por ser uma alternativa menos onerosa e mais efetiva que as técnicas convencionais para reduzir a poluição subterrânea. Diante da eficiência comprovada e do baixo custo da biorremediação na degradação de compostos tóxicos, como o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), várias empresas têm demonstrado interesse por sua implantação como opção para a reabilitação de áreas contaminadas. Países desenvolvidos, como os Estados Unidos, Canadá e vários países da Europa vem utilizando largamente a técnica bioquímica de remediação em trabalhos que se baseiam no tratamento de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo. Apesar de já amplamente utilizado em diversos países no mundo a biorremediação no Brasil ainda encontra-se em campo meramente teórico com poucos casos práticos. O Objetivo deste trabalho foi o levantamento teórico e prático de trabalhos de pesquisa relativos a recuperação do solo de áreas impactadas por atividades petrolíferas através de técnicas de biorremediação, proporcionando desta forma a evidenciação de ações efetivas na proteção das águas subterrâneas e o retorno gradual do equilíbrio do sistema ambiental. Como resultados das referidas ações, pode-se citar a recuperação do solo de áreas impactadas através de técnicas de biorremediação, como por exemplo, por biopilhas; a implantação de metodologias testadas de biorremediação às condições biogeoquímicas da área submetida aos processos de recuperação propostos e a identificação de espécies de microorganismos, através de informações genéticas e fisiológicas, cuja eficiência na degradação dos hidrocarbonetos de petróleo seja superior aos demais.

**Palavras-chave:** Contaminação, Solos. Hidrocarbonetos, Biorremediação.

## 1 INTRODUÇÃO

A contaminação de solos ocasionada por vazamentos de combustíveis é um tema presente em pesquisas da área de geotecnia ambiental. Os solos contaminados com hidrocarbonetos derivados do petróleo promovem impactos negativos ao meio ambiente, contaminam o solo e posteriormente os aquíferos. (MENEGETTI 2007; COLLA et al., 2008)

Jacques et al. (2007) também relatam os riscos de contaminação do ecossistema por hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs). Esses pesquisadores reforçam que a grande maioria dos microrganismos do solo não possui a capacidade de degradá-los, o que resulta na sua acumulação no ambiente e na consequente contaminação dos ecossistemas. Eles também se reportam a estratégias para a eliminação dos HAPs do solo e relatam que a biorremediação é uma boa estratégia, pois irá se utilizar de microrganismos que apresentam capacidade de metabolizar estes compostos transformando-os em substâncias inertes.

Em todo o mundo, existe um grande número de áreas que se apresentam com o solo e suas águas subterrâneas comprometidas com petróleo e/ou seus derivados (ex. BTEX, gasolina, etc), como resultado do rompimento de tubulações e tanques de armazenamento. A aplicação de técnicas de biorremediação vem sendo adotada com grande sucesso por ser uma alternativa menos onerosa e mais efetiva que as técnicas convencionais para reduzir a poluição subterrânea gerada por contaminantes orgânicos. Os processos de biorremediação são estratégias que buscam descontaminar o solo ou outros ambientes fazendo uso de microorganismos (fungos, bactérias, etc) e de enzimas. Baseia-se no processo de degradação microbiana e reações químicas combinadas com processos de engenharia, a fim de que os contaminantes sejam transformados em substâncias inócuas, não oferecendo riscos ao ambiente e aos grupos humanos que nele habitam.

Diante da eficiência comprovada da biorremediação na degradação de compostos tóxicos ao ser humano, como o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), várias empresas relacionadas com consultorias e remediação ambiental, têm demonstrado grande interesse pela implantação da biorremediação como opção para a reabilitação de áreas contaminadas. Países como os Estados Unidos, Canadá, dentre outros da Europa vem utilizando largamente a técnica bioquímica de remediação em trabalhos que se baseiam no tratamento de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo. Apesar de já amplamente utilizado pelo mundo a biorremediação no Brasil ainda encontra-se em campo meramente teórico com poucos casos práticos. (ANDRADE, AUGUSTO & JARDIM, 2010)

## **2 METODOLOGIA**

O presente estudo foi obtido através de um levantamento teórico e metodológico e tem a finalidade de expor técnicas de recuperação do solo de áreas impactadas por atividades petrolíferas através da biorremediação, as quais têm por objetivo a proteção das águas subterrâneas e o retorno gradual do equilíbrio de sistemas ambientais impactados. Desta forma, cabe ressaltar a importância de estudos de implantação de metodologias de biorremediação, que devem estar concernentes às condições biogeoquímicas da área submetida aos processos de recuperação propostos, de forma que este método seja eficiente e possa ser utilizado em outros sistemas ambientais análogos. Tais técnicas devem ser validadas com a utilização de resultados analíticos realizados em amostras particulares, observando-se a independência dos resultados (NIREL & MOREL, 1990), de padrões e sucessivos tratamentos estatísticos dos dados obtidos.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Diversos estudos, tais como os de Mesquita (2004); Mariano (2006); Rizzo et al. (2006); Paria (2008); Costa, Nunes & Corseuil (2009) tratam de técnicas aplicadas a biorremediação de compartimentos ambientais diversos (água, solo e atmosfera). Neste contexto, a aplicação de técnicas de biorremediação aborda premissas a serem consideradas:

☐A existência de microorganismos com capacidade catabólica para degradar o contaminante.

☐O contaminante tem que estar disponível ou acessível ao ataque microbiano ou enzimático.

☐Condições ambientais adequadas para o crescimento e atividade do agente biorremediador.

☐Como todo ser vivo, os microorganismos necessitam de nutrientes para sua sobrevivência (nitrogênio, fosfato, carbono, energia e outros minerais). O carbono garante energia e matéria prima para que o microorganismo cresça e possa processar os hidrocarbonetos.

Como forma metodológica existem dois tipos de biorremediação:

✓Bioestimulação: Que fornece nutrientes às populações de microorganismos, aumentando sua população, promovendo o crescimento e conseqüentemente o aumento da atividade metabólica na degradação de contaminantes.

✓Bioaugmentação: Que introduz misturas específicas de microorganismos em um ambiente contaminado ou em um biorreator para iniciar o processo da biorremediação.

Conforme a quantidade de contaminante (alimento) exposto no meio, ele proporcionará ou não um aumento de microorganismos. Quanto mais "alimento" maior o número de microorganismos presentes. À medida que o contaminante é degradado, a população microbiana vai reduzindo alcançando o nível de estabilidade.

Genericamente, os microorganismos nativos da subsuperfície podem desenvolver a capacidade de degradar contaminantes após longo período de exposição. Normalmente, estes seres microscópicos se adaptam em baixas concentrações de contaminantes e se localizam nas regiões externas à pluma de contaminação e, muito dificilmente, estarão presentes na fase livre (fase orgânica concentrada). Os compostos orgânicos são metabolizados por fermentação, respiração ou co-metabolismo (CETESB, 2004). 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).

No caso da "biorremediação aeróbica", 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 & 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, hidretos (H<sup>-</sup>), que reagem com as moléculas do contaminante e substituem um átomo de cloro (hidrogenólise) ou removem simultaneamente dois átomos de cloro adjacentes originando

uma ligação dupla entre os átomos de carbono. Apesar do tratamento anaeróbico ser menos comum que o aeróbico, existe atualmente uma tendência de se promover a biorremediação anaeróbica, utilizando como fontes de carbono, melação de cana, ácido láctico, proteínas do leite e metanol (ACTON & BARKER, 1992).

A "biorremediação co-metabólica" é aquela na qual a degradação ocorre pela ação de enzimas produzidas por microorganismos para outros fins. É uma técnica praticamente idêntica às anteriores, sendo que, do ponto de vista bioquímico, rege o princípio das reações de óxido-redução. No caso específico do co-metabolismo, caso não haja o substrato principal, ou seja, fontes preferenciais de carbono, a degradação mediada pelos microorganismos não ocorre para um dado componente, definido como "contaminante co-metabolizado". Por outro lado, neste caso específico, na presença de uma fonte de carbono, a metabolização do substrato primário poderá gerar enzimas capazes de atuar na degradação do contaminante de interesse (GARNIER et al., 2000).

A seguir, vantagens da biorremediação sobre os métodos de remediação convencional em área degradada por contaminantes de petróleo:

☐ Mais barato, pois, biorremediação custa em torno de \$200,00 e o bombeamento e o tratamento convencionais chegam a custar milhões de dólares.

☐ Não utiliza água natural tratada, não se remove os compostos atóxicos da água, procedimentos necessários no tratamento convencional de superfície.

☐ Não interfere nas operações que já estão sendo realizadas, podendo ser utilizado em locais de difícil acesso

☐ Pode ser usada (*in situ*) em conjunto com o bombeamento (remediação convencional), reduzindo possibilidades de contaminação para os trabalhadores.

☐ Microorganismos agem na redução dos contaminantes de petróleo transformando-os em subprodutos menos nocivos ao meio.

Entretanto, a biorremediação apresenta algumas limitações, como por exemplo:

☐ Não é uma solução imediata.

☐ Os locais a serem tratados devem estar preparados para suportar a ação dos microorganismos.

Por fim, para cada tipo de contaminante, indicam-se espécies diferentes de microorganismos para o processo de biorremediação, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1: Espécies de microorganismos utilizados em processos de biorremediação e os respectivos contaminantes em que eles atuam:

Contaminante	Espécie utilizada
Anéis aromáticos	<i>Pseudomonas, Achromobacter, Bacillus, Arthrobacter, Penicillum, Aspergillus, Fusarium, Phanerocheate</i>
Cádmio	<i>Staphylococcus, Bacillus, Pseudomonas, Citrobacter, Klebsiella, Rhodococcus</i>
Cobre	<i>Escherichia, Pseudomonas</i>
Cromo	<i>Alcaligenes, Pseudomonas</i>
Enxofre	<i>Thiobacillus</i>
Petróleo	<i>Pseudomonas, Proteus, Bacillus, Penicillum, Cunninghamella</i>

Fonte: [http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agropecuaria/artigo\\_agropecuaria / biorremediacao.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agropecuaria/artigo_agropecuaria/biorremediacao.html)

Assinada e publicada em outubro de 2002, a Resolução 314 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), visa disciplinar o registro de produtos com a finalidade de bioremediar solos afetados por vazamentos de petróleo e seus derivados.

Esta Resolução estabelece que os remediadores devem ser registrados no IBAMA, para que possam ser produzidos, importados, comercializados e utilizados, ficando dispensados de registro àqueles que se destinam à pesquisa e experimento necessitando da aprovação do órgão.

Entende-se por produto remediador, àquele constituído ou não por microrganismos destinados à recuperação de ambientes e ecossistemas contaminados além das outras utilizações previstas na Resolução.

Os benefícios dos produtos com a finalidade de bioremediar, desde que utilizados de forma correta, recuperam ecossistemas contaminados, auxiliam no tratamento de resíduos e efluentes, bem como, na desobstrução e limpeza de dutos e equipamentos. Já, se utilizado de forma inadequada ou não sendo observadas suas peculiaridades pode desequilibrar o ecossistema e danificar o meio ambiente.

Moreira (2011) afirma em seu trabalho que foi observado um maior crescimento das plantas expostas a sedimentos contaminados em comparação com as cultivadas em sedimentos de referência nos dois modelos da Fitorremediação utilizado em sua pesquisa, sugerindo uma boa adaptação. Os dados do trabalho mostraram que os dois modelos de Fitorremediação foram mais eficazes do que à Biorremediação Intrínseca na degradação de HTP's, o que faz desse modelo uma opção promissora ecologicamente correta na aplicação da técnica em áreas de manguezal impactadas por atividades petrolíferas.

A tecnologia de biopilhas envolve a construção de células ou pilhas de solo contaminado de forma a estimular a atividade microbiana aeróbica dentro da pilha através de uma aeração muito eficiente. A atividade microbiana pode ser aumentada pela adição de umidade e nutrientes como nitrogênio e fósforo. As bactérias degradam os hidrocarbonetos adsorvidos nas partículas de solo, reduzindo assim suas concentrações.

Tipicamente, as biopilhas são construídas sobre uma base impermeável para reduzir o potencial de migração dos lixiviados para o ambiente subsuperficial. Uma malha de dutos perfurados instalados na base da pilha e conectados a um compressor garante a perfeita aeração do conjunto. Em alguns casos, constrói-se um sistema de coleta para o lixiviado, principalmente quando do uso de sistema de adição de umidade. As pilhas são, geralmente, recobertas por plástico para evitar a liberação de contaminantes para a atmosfera, bem como para protegê-la das intempéries (MUTECA, 2012).

Realização de monitoramentos relacionados a evolução da degradação dos hidrocarbonetos, através de amostragens (material da pilha, gases, microrganismos) e análises laboratoriais (CG, IV, microrganismos/DNA, etc) a fim de se avaliar a taxa de degradação, observar qualitativa e quantitativamente os produtos originados (lixiviados, gasosos, sólidos) e quais organismos se adequam de forma mais eficiente na degradação dos contaminantes em condições derivadas do sistema ambiental onde está locada a biopilha.

A textura do solo afeta diretamente a permeabilidade, a quantidade de água presente e a densidade do solo. Solos constituídos por partículas muito pequenas, como os solos argilosos, são menos permeáveis que aqueles constituídos por grãos maiores, como os solos arenosos. Quanto menor a permeabilidade, mais difícil à aeração e maior a retenção de água. A baixa permeabilidade está normalmente associada a solos que tendem a formar estruturas mais compactas, que dificultam a perfeita distribuição de umidade, ar e nutrientes (DA SILVA ET AL., 2014).

Nessa situação, é necessário que se revolva muito bem a terra através do processo de aragem, e a presença no solo de uma grande quantidade de microrganismos – bactérias, fungos, algas, protozoários etc. As bactérias representam o grupo mais numeroso e bioquimicamente ativo. Elas precisam de uma fonte de carbono para o crescimento celular, uma fonte de energia, além de nitrogênio e fósforo, para a manutenção das funções metabólicas necessárias ao crescimento.

Embora a quantidade de microorganismos presentes no solo seja suficiente para a biorremediação, recentes aplicações incluem a adição de esterco animal (BITTAR, 2000).

As biopilhas operam muito bem em temperaturas acima de 10°C. Todavia, a atividade microbiana dobra a cada 10°C de incremento até o limite de 45°C. Para o clima brasileiro esta é uma grande vantagem. Na Europa e EUA, no inverno, é necessária a injeção de ar quente para a manutenção da atividade da pilha. À 0°C cessa-se a atividade bacteriana, cessando também a biorremediação. Concentrações muito altas de petróleo, seus derivados e de metais pesados apresentam efeitos tóxicos aos microorganismos, inibindo o crescimento e a reprodução das bactérias (BITTAR, 2000).

A altura típica de uma biopilha varia entre 1m e 3 m. Uma área ao redor da pilha é necessária para acesso, transporte e manutenção. O comprimento e a largura das pilhas não são restritivos. biopilhas são construídas em camadas. Os dutos de aeração são montados e em seguida o solo contaminado, já devidamente homogeneizado e acrescido de agentes corretivos, é depositado sobre a malha de tubos. Uma malha adicional pode ser necessária em função da altura da pilha e do tipo de solo. Durante a homogeneização do solo, é comum a adição de substâncias que melhoram suas características, como, por exemplo, areia e serragem para aumentar a permeabilidade e facilitar a chegada de água e nutrientes às bactérias; fertilizantes para fornecimento de N, P, K; agentes corretivos de pH (6 – 8); esterco para aumentar a concentração de microorganismos e induzir a um processo fermentativo que eleva a temperatura e acelera a biorremediação (BITTAR, 2000). Quando os contaminantes são hidrocarbonetos leves, é necessário um sistema para coleta e tratamento dos vapores, pois a injeção de ar força a saída dos constituintes leves para a atmosfera. Com uma relação custo/benefício bastante vantajosa, essa tecnologia deverá despontar como uma ótima alternativa para remediação de solos também aqui no Brasil. Na Tabela 2 estão descritas algumas vantagens e desvantagens do método de biorremediação por biopilhas.

Tabela 2: Tabela comparativa entre as vantagens e desvantagens da utilização da biorremediação por biopilhas:

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Construção e manutenção simples	Pode não ser efetiva para altas concentrações de contaminantes(> 50.000 ppm Hidrocarbonetos Totais de Petróleo TPH)
Tempo de tratamento relativamente baixo: 3 semanas a 6 meses para HC leves	Metais pesados em concentrações superiores a 2.500 ppm inibem o crescimento microbiano
Custo extremamente baixo quando comparado às técnicas convencionais.	Constituintes muito voláteis tendem a evaporar ao invés de serem biodegradados
Efetiva para contaminantes com baixa taxa de biodegradação	Geração de vapor durante aeração pode requerer tratamento antes do descarte para a atmosfera.
Não requer grande área para tratamento	
Pode ser projetada para ser um sistema fechado para coleta e tratamento de vapores	
Podem ser otimizadas para serem efetivas para um grande número de combinações área/contaminante	
Contaminantes são destruídos, o que é preferido pelos órgãos ambientais.	
Solo pode tornar-se agriculturável.	

Fonte: [http://www.crq4.org.br/informativomat\\_726](http://www.crq4.org.br/informativomat_726)

Neste contexto, a recuperação do solo de áreas impactadas por atividades petrolíferas através da técnica de biorremediação por biopilhas, converge para a proteção das águas subterrâneas e o retorno gradual do equilíbrio de sistemas ambientais impactados.

A implantação de metodologias de biorremediação deve ser concernente às condições biogeoquímicas das possíveis áreas a serem submetidas aos processos de recuperação, de forma que tais métodos possam ser replicados em outros sistemas ambientais análogos.

A aplicação de estudos relativos aos processos de identificação e seleção de espécies de microorganismos, através de informações genéticas e fisiológicas, cuja eficiência na degradação dos hidrocarbonetos de petróleo seja superior se comparado aos demais é de suma importância, reduzindo custos econômicos e aumentando a eficiência da recuperação de solos/aquíferos de áreas degradadas por derramamento de óleo.

#### 4 CONCLUSÃO

O cenário mundial aponta para a implantação de programas ambientalmente sustentáveis, e o uso da biotecnologia vem ganhando aceitação popular. Dessa forma, a aplicação da biorremediação está bem inserida nesse contexto, já que decorre de um processo biológico, que pode ser auxiliado por técnicas como bioaumento e o bioestímulo.

Os baixos custos envolvidos nas transformações bioquímicas *in-situ*, além da possibilidade de redução ou até mesmo de eliminação total dos contaminantes, são elementos que favorecem a atratividade das técnicas de biorremediação. Esses fatores atualmente têm sido considerados como os principais responsáveis pelas amplas aplicações e inovações surgidas na área de remediação de solos mediada por microorganismos. Não obstante à existência de alguns interferentes, como as condições ambientais (principalmente os teores de umidade e de aeração dos solos) e a disponibilidade de nutrientes, as vantagens como a relação custo-benefício e a eficiência de degradação de compostos tóxicos e recalcitrantes, têm feito com que essa técnica de remediação seja utilizada com frequência em vários países desenvolvidos. No caso do Brasil, a biorremediação *in-situ* é favorecida pelas condições necessárias para a implementação de técnica, sobretudo, pelas condições climáticas típicas da maioria das regiões geográficas nacionais.

Para que a biorremediação traga resultados satisfatórios, é de fundamental importância o conhecimento dos princípios e das técnicas. Isso possibilita uma utilização e seleção correta do microorganismo de acordo com as condições específicas de cada local e de cada contaminante presente. Finalmente, o conhecimento da biodiversidade e da pesquisa de novos microrganismos tornam-se um dos focos principais da era biotecnológica e vem auxiliando positivamente nos programas relacionados à gestão de áreas contaminadas. As pesquisas nacionais e internacionais já possibilitaram o isolamento e a identificação destes microorganismos, assim como o conhecimento das vias bioquímicas, que confirmam a capacidade de metabolização destes compostos.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACTON, D.W. & BARKER, J.F. In situ biodegradation potential of aromatic hydrocarbons in anaerobic groundwaters. J. Contam. Hydrol., 9:325-352, 1992.

AELION, C.M. & BRADLEY, P.M. Aerobic biodegradation potential of subsurface microorganisms from a jet fuel-contaminated aquifer. Appl. Environ. Microbiol., 57:57-63, 1991.

ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. Ecl. Quím. São Paulo, 35 - 3: 17 - 43. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 32, n. 3, p. 809-813., 2010.

BITTAR, Paulo Roberto. Paulo Roberto Bittar. 2000. Conselho Regional de Química. Disponível em: <[http://www.crq4.org.br/informativomat\\_726](http://www.crq4.org.br/informativomat_726)>. Acesso em: 12 nov. 2015.

CETESB: COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Manual de gerenciamento de áreas contaminadas. Capítulo X - Investigação para Biorremediação, 2004. 77p.

COLLA, L. M.; PRIMAZ, A.L.; LIMA, M.; BERTOLIN, T.E.; COSTA, A.V.C. Isolamento e Seleção de Fungos para Biorremediação a Partir de Solo Contaminado com Herbicidas Triazínicos., 2008.

COSTA, A. H. R.; NUNES, C. C.; CORSEUIL, H. X.. Biorremediação de Águas Subterrâneas Impactadas por Gasolina e Etanol com o Uso de Nitrato. *Eng Sanit Ambient*, v.14, n.2, 265-274., 2008

GARNIER, P.M.; AURIA, R.; AUGUR, C. & REVAH, S. Metabolic degradation of methyl tert-butyl ether by a soil consortium: effect of components present in gasoline. *J. Gen. Appl. Microbiol.*, 46:79-84, 2000.

DA SILVA, J.S.; SANTOS, S.S.; GOMES, F.G.G. A biotecnologia como estratégias de reversão de áreas contaminadas por resíduos sólidos. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria*, V. 18, nº 4 , p.1361-1370. 2014

JACQUES, R. J. S.; BENTO, F.M.; ANTONIOLLI, Z.I.; CAMARGO, F.A.O. Biorremediação de Solos Contaminados com Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.37, n.4, p. 1192-1201., 2007

MARIANO, A. P. Avaliação do Potencial de Biorremediação de Solos e de Águas Subterrâneas Contaminados com Óleo Diesel. Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, 164p., 2006.

MENEGHETTI, L. R. R. Bioremediação na Descontaminação de Solo Residual de Basalto Contaminado com Óleo Diesel e Biodiesel. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade de Passo Fundo na Área de concentração Infra-estrutura e Meio Ambiente, 114 p., 2007.

MESQUITA, A. C. Uso das Técnicas de Oxidação Química e Biodegradação na Remoção de alguns Compostos Orgânicos Recalcitrantes. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro., 2004.

MOREIRA, Í. T. A. Avaliação da Eficiência de Modelos de Remediação Aplicados em Sedimentos de Manguezal Impactados por Atividades Petrolíferas. Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio ambiente na Universidade Federal da Bahia., 2011.

MUTECA, Felisberto Lucas Luis. Biorremediação de solo contaminado com óleo cru proveniente de Angola. 2012. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Ufrj, Rio de Janeiro, 2012.

NIREL, P.M.V.; MOREL, F.M.M. Pitfalls of Sequential Extractions. *Technical Note, Water Research*, Vol 24, nº 08, p.1055-1056., 1990.

PARIA, S. Surfactant-Enhanced Remediation of Organic Contaminated Soil and Water. *Advances in Colloid and Interface Science*, Amsterdam, v. 138, n. 1, p. 24-58., 2008.

RIZZO, A. C. L.; LEITE, S. G. F.; SORIANO, A. U.; SANTOS, R. L. C.; SOBRAL, L. G. S. Biorremediação de Solos Contaminados por Petróleo: Ênfase no Uso de Biorreatores. Rio de Janeiro: CETEM, 2006. (Série Tecnologia Ambiental, n. 37).

VERAS, A.A.D.; MENDES, F.S. Biorremediação de Solos Contaminados por Hidrocarbonetos de Petróleo. Uiversidade Potiguar, III Workshop da Escola de Engenharias e Ciências Exatas da UnP e I Simpósio do Mestrado Profissional em Engenharia de Petróleo e Gás. Banner, Natal-RN, 2014.

VIDALI, M. Bioremediation. An overview. *Pure Appl. Chem.*, 73:1163-1172, 2001.

[http://www.crq4.org.br/informativomat\\_726](http://www.crq4.org.br/informativomat_726). Acessado em 24/11/2014

[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agropecuário/artigo\\_agropecuário/biorremediacao.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agropecuário/artigo_agropecuário/biorremediacao.html) acessado em 24/11/2014