

## **BIORREMEDIAÇÃO, UMA ALTERNATIVA NA UTILIZAÇÃO EM ÁREAS DEGRADADAS PELA INDÚSTRIA PETROLÍFERA**

Manuel Capristanio de Moraes Filho<sup>1</sup>; Ana Catarina Fernandes Coriolano<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Potiguar, Unidade Natal - Escola de Engenharia e Ciências Exatas - manuel.capristanio@hotmail.com

<sup>2</sup> Professora Doutora da Universidade Potiguar, Unidade Natal - Escola de Engenharia e Ciências Exatas -  
caterina.coriolano@unp.br

### **RESUMO**

As áreas contaminadas pela indústria petrolífera têm sido um problema cada vez mais constante, devido à demanda cada vez maior em busca do petróleo e seus derivados, pela indústria petroquímica e pela utilização do petróleo como fonte energética atual. Desta forma, se torna relevante o conhecimento de técnicas que sejam eficientes para a descontaminação de áreas afetadas pela indústria petrolífera. Este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão bibliográfica do tema e com isso expor e analisar os processos relacionados à biorremediação *in situ* ou *ex situ*, a qual é responsável por mitigar os impactos ambientais oriundos da indústria petrolífera. Conclui-se que através da análise dos processos que compõem a biorremediação, não se pode asseverar que um método torna-se mais relevante do que o outro, tendo em vista que para que ocorram níveis ótimos de biorremediação, é impreterível conhecer as características de concentração do contaminante, assim como a densidade populacional dos microrganismos degradarem o petróleo e o seu potencial de biodegradação.

Palavras-Chave: Petróleo, Contaminantes ambientais, Biorremediação.

## 1. INTRODUÇÃO

O petróleo ainda é a mais importante fonte de energia da atualidade, pois é por meio dele que se possibilita a realização de inúmeras atividades. Utilizado principalmente na formação de combustíveis. Além disso, o petróleo é uma importante matéria-prima utilizada na fabricação de produtos provenientes do advento da indústria petroquímica.

No entanto, apesar de tantos benefícios o petróleo traz em suas composições contaminantes como enxofre e metais pesados, o que acarreta grandes riscos para o meio ambiente. Os piores danos acontecem durante o transporte de combustível, com vazamentos em grande escala de oleodutos e navios petroleiros (THOMAS, 2004).

Diante disso, diversas técnicas físicas, químicas e biológicas, vêm sendo desenvolvidas para a atenuação e remoção de ambientes contaminados por petróleo. Dentre as técnicas desenvolvidas, a técnica da biorremediação se utiliza de microrganismos para realizar a remoção de contaminantes tóxicos do meio ambiente, o que a torna, uma alternativa viável economicamente e promissora para o tratamento de solos contaminados por petróleo e seus derivados (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010).

Portanto, a perspectiva do presente trabalho visa expor e analisar, por meio de estudos bibliográficos, o uso dos processos de biorremediação *in situ* e *ex situ* para redução de contaminantes presentes no petróleo produzido, bem como a melhora no âmbito social e ambiental, visto que os contaminantes do petróleo em geral causam degradação da fauna e flora, afetando a vida no planeta.

## 2. METODOLOGIA

Este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão bibliográfica com base em um estudo detalhado sobre o tema, esse visa analisar a atividade petrolífera e seus impactos no meio ambiente, expor e analisar os processos que compõem a biorremediação seja *in situ* ou *ex situ* que se realizou este estudo. A perspectiva do presente trabalho baseia-se na análise dos processos de biorremediação para redução de contaminantes presentes no petróleo produzido, bem como a melhora no âmbito social e ambiental.

## 3. O PETRÓLEO E SEUS CONTAMINANTES

O petróleo é uma mistura complexa que é formada a partir de vários compostos, no entanto, os hidrocarbonetos representam sua

grande maioria. Porém, de acordo com a origem no qual o petróleo foi formado, existirão mudanças de composição e propriedades. Dessa forma, o tratamento de áreas contaminadas por essas substâncias, por sua vez, acaba se tornando complexo, devido a sua composição diversificada (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010). Thomas (2004) demonstra esta composição do petróleo de forma detalhada, conforme o Tabela 1.

Tabela 1: Composição do petróleo cru típico (% em peso).

Hidrogênio	11-14%
Carbono	83-87%
Enxofre	0,006-8%
Nitrogênio	0,11-1,7%
Oxigênio	0,1-2%
Metais	Até 0,3%

Fonte: Adaptado de Thomas (2004, p.5).

Em solos contaminados por petróleo e seus derivados, o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos conhecidos como BTEX se destacam como grande problema no Brasil e no mundo por serem tóxicos tanto para o meio ambiente como ao ser humano (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010).

Para remediar os impactos provenientes da indústria petrolífera, se faz o uso da técnica de biorremediação, que consiste no processo de descontaminação de áreas impactadas por poluentes. Essa remediação se dá por meio de

microrganismo ou plantas, sendo possível ser realizado *in situ* ou *ex situ*, ou as duas formas em conjunto.

#### 4. PARTICIPAÇÃO DOS MICRORGANISMOS NA FORMAÇÃO DO PETRÓLEO

A participação dos microrganismos é de fundamental importância para formação dos hidrocarbonetos. O petróleo é gerado a partir de restos de matéria orgânica de origem animal ou vegetal que se depositam em fundo de lagos e rios e, pela ação de bactérias, aliadas a alta pressão e temperaturas elevadas transforma-se em hidrocarboneto.

A Figura 1 representa os estágios de transformação da matéria orgânica que ocorre de acordo com os níveis de temperatura e profundidade, sendo a catagênese a principal janela para sua formação.

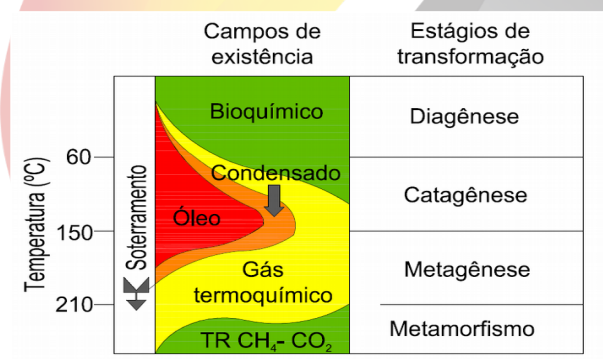


Figura 1: Transformação termoquímica da matéria orgânica e a geração do petróleo.

Fonte: Adaptado de Thomas (2004, p.16).

## 5. IMPACTOS AMBIENTAIS ORIUNDOS DA INDÚSTRIA PETROLÍFERA

O petróleo, por ser uma substância tóxica, põe em risco todo o ecossistema ao seu redor. Dois dos principais causadores dos impactos ambientais são a exploração e exploração de petróleo. De acordo com Santos (2012), o processo de exploração e produção estão relacionados diretamente na causa de impactos ambientais. Este efeito nocivo ao meio ambiente pode se apresentar de várias maneiras: poluição ambiental, degradação ambiental da fauna e da flora ocasionado por vazamento. Poluição do solo e ar, podendo alterar e, até, comprometer a extinção de espécies.

## 6. BIORREMEDIAÇÃO

A biorremediação é uma técnica que se utiliza microrganismo (bactérias e fungos), com a finalidade de atenuação ou recuperação de determinados contaminantes presentes no meio ambiente. Todavia, para que haja eficiência nesse processo, alguns fatores tornam-se condicionantes como, temperatura, presença de oxigênio, nutrientes, e pH (BERGER, 2005; MUTECA, 2012).

De acordo com Rosato (1997 *apud* COSTA FILHO, 2011), a biorremediação surge como uma técnica de baixo custo, menor agressividade ao meio e uma maior

adaptação para manutenção do equilíbrio ambiental.

Muteca (2012), afirma que a degradação pode ocorrer por intermédio do metabolismo de respiração aeróbia ou anaeróbia. A Figura 2 representa de forma simplificada a ação do microrganismo no processo de biorremediação.

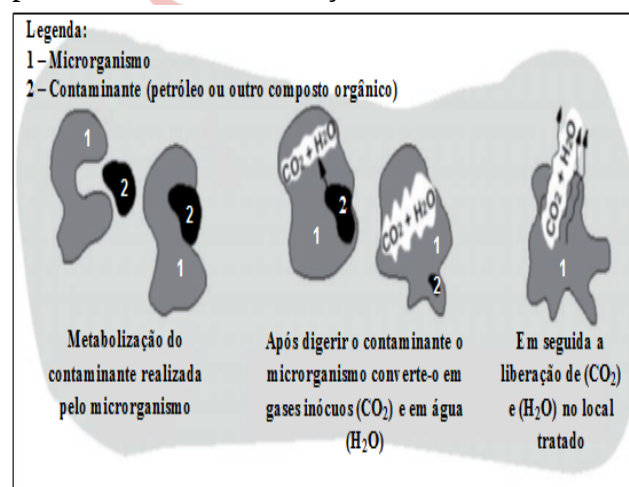


Figura 2: Etapas da ação do microrganismo no processo de biorremediação.

Fonte: Adaptado de Andrade, Augusto e Jardim (2010, p.24).

Segundo Prince (1993 *apud* COSTA FILHO, 2011) existiram casos aos quais a técnica de biorremediação foi aplicada e após um ano se obteve a eficácia de 90% de redução da contaminação existente, enquanto nas regiões em que não se obteve o seu uso, tiveram apenas 15% dessa redução.

### 6.1. Vantagens e desvantagens da biorremediação

A biorremediação oferece algumas vantagens sobre outras técnicas de remediação, como demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2: Vantagens e Desvantagens da Biorremediação.

VANTAGENS	CONTRAPONOTOS
- Elimina o transporte de resíduos perigosos.	- Pode requer monitoramento extensivo.
- Menor agressividade ao meio ambiente.	- Não é utilizada em áreas com extensas contaminações.
- Aplicável a uma grande variedade de contaminantes.	- Eficiência de remediação pode variar de um local para outro.
- Pode ser usada em conjunto com outras tecnologias de tratamento.	- Metais pesados, não são eliminados pelos processos biológicos.
- Baixo custo.	- Contaminantes com altas concentrações inibem a ação dos microrganismos.

Fonte: Adaptado de Decesaro (2013, p.14).

Portanto, para que a técnica de biorremediação seja eficiente, requer o entendimento de fatores específicos do local e de condições ambientais adversas, como: pH elevado, temperatura inadequada, presença de metais pesados. Pois este, em grandes concentrações, inibe as atividades microbianas (DECESARO, 2013).

## 6.2. Etapas para a implementação do uso da biorremediação

Para que haja a implementação da biorremediação, algumas etapas tornam-se importantes como: o estudo do ambiente, o tipo de contaminante, os seus riscos e a legislação vigente.

A etapa inicial de análise consiste em: caracterização do tipo e da quantidade do contaminante; avaliações de ordem biológica; geológica; geofísica; hidrológica. As primeiras avaliações biológicas ocorrem em laboratórios, tendo como principal objetivo a otimização da biodegradação do poluente.

Para essas avaliações empregam-se dois tipos de testes, o bioestímulo que consiste na adição de nutrientes e/ou surfactantes, e o bioaumento pela adição de culturas de microrganismos biodegradadores. A partir dos dados obtidos, têm-se a escolha da técnica de biorremediação mais adequada para cada situação. (GAYLARDE; BELLINASSO; MANFIO, 2005).

## 6.3. Mecanismos aplicados à biorremediação

### 6.3.1. Biorremediação *in situ*

Esta técnica consiste no tratamento do solo no local da contaminação. Não se fazendo o uso da remoção do material contaminado, evitando custos e distúrbios ambientais do solo. A biorremediação *in situ*

pode ser realizada por meio de três técnicas: Biorremediação intrínseca; bioestímulo e o bioaumento (GAYLARDE; BELLINASSO; MANFIO, 2005; MUTECA, 2012).

### 6.3.2. Biorremediação *ex situ*

O processo de biorremediação *ex situ* é composto por vários processos: *landfarming*, bioestímulo, bioaumento e biorreatores. Esses processos fazem uso de unidades móveis e estações fixas de tratamento para promoverem a descontaminação do ambiente.

Estes processos por sua vez, possibilitam resultados mais rápidos por terem um maior controle dos níveis de temperatura, presença de oxigênio, nutrientes, e pH. Contudo, requerem a escavação e a remoção do solo contaminado para outro local, o que com isso eleva o custo do tratamento (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010; MUTECA, 2012).

### 6.3.3. Biorremediação intrínseca

Baseia-se no monitoramento da capacidade de biodegradação dos microrganismos nativos degradarem o contaminante, sem que haja o acréscimo de nutrientes ou qualquer adequação do ambiente (MARIANO, 2006).

### 6.3.4. Bioaumento

De acordo com Yakubu (2007), esta técnica pode ser utilizada tanto *in situ* quanto *ex situ*. Ela consiste na adição de microrganismos específicos em regiões impactadas, sendo adequadas às condições do ambiente em laboratório. Garantindo dessa forma que os microrganismos metabolizem o poluente de forma eficaz.

### 6.3.5. Bioestímulo

O método da bioestimulação pode ser empregado tanto *in situ* quanto *ex situ*. Todavia, este só se faz eficaz quando existem populações microbianas degradadoras no contaminante (YAKUBU, 2007). Esta técnica realiza o estímulo microbiano nativo, otimizando suas condições de crescimento por intermédio da adição de nutrientes orgânicos e inorgânicos, regulação de pH, temperatura e aeração (YAKUBU, 2007).

### 6.3.6. *Landfarming*

É uma tecnologia de remediação utilizada para o tratamento de resíduos oleosos na superfície do solo que visa à redução das concentrações de hidrocarboneto por meio da biodegradação microbiana.

Onde acontece a estimulação microbiana aeróbica por meio da aeração, nutrientes e umidade (MUTECA, 2012).

### 6.3.7. Biorreatores

Os biorreatores têm como diferencial entre as técnicas *ex situ*, o tratamento produzido em um ambiente fechado, o reator. Apresentando uma maior vantagem de degradação biológica devido ao seu fácil controle. Além disso, as concentrações de oxigênio, nutrientes, teor de água, temperatura e pH são monitoradas em tempo real (BERGER, 2005).

No entanto, para Berger (2005) e Muteca (2012), os custos desse tratamento por meio de biorreatores tornam-se bastante elevado, devido necessidade de equipamentos sofisticados.

## **7. RESULTADOS E DICUSSÃO**

A biorremediação vem sendo empregada em grande parte do mundo, visando à redução dos impactos causados pela indústria petrolífera. No Brasil a sua aplicação vem sendo disseminada. Algumas de suas aplicações mais proeminentes são na Antártida, Estados Unidos e China.

No Brasil e em grande parte do mundo, os riscos de derramamento de óleo são

provenientes a partir de várias atividades da indústria do petróleo.

No Brasil os estudos realizados por Trindade *et al.* (2005) compararam a eficiência na degradação obtida a partir da aplicação de técnicas de bioaumento e bioestímulo em solos brasileiros (Estado de São Paulo), sendo um com histórico de contaminação por óleo cru ao longo de quatro anos; e outro sendo uma amostra de um solo recentemente contaminada, ambos sob condições tropicais.

Trindade *et al.* (2005) afirmam que o solo contaminado com óleo por longo período normalmente contém compostos de frações recalcitrantes, o que por sua vez, os microrganismos nativos não terão a capacidade metabólica para degradá-lo. Em contraste, um solo contaminado com óleo recentemente são os mais susceptíveis à degradação microbiana.

A otimização das condições utilizadas estimularam a biodegradação de solos intemperizados e de solos recentemente contaminados de São Paulo, levando ao aumento da mineralização do óleo e à remoção de frações desse em ambos os solos (Trindade *et al.*, 2005).

Na Antártida o processo de biorremediação são mais difíceis de serem alcançados devido às condições climáticas extremas. Os únicos microrganismos capazes

de realizar a biorremediação nesse tipo de ambiente são os psicrófilos e psicrotolerantes, estes provenientes do bioaumento (RUBERTO; VAZQUEZ; CORMACK, 2003).

No estudo realizado por Ruberto, Vazquez e Cormack (2003), utilizou-se o combustível mais comumente das estações da Antártica o diesel. A partir das amostras coletas, foi observado o processo de degradação pelos métodos de bioaumento e bioestímulo.

Após a inserção do bioestímulo constatou-se que a microbiota bacteriana nativa tornou-se capaz de degradar uma fração relevante do contaminante.

Contudo, a cepa isolada contendo as bactérias psicrófilos e psicrotolerantes advindas do processo de bioaumento, mostrou-se demasiadamente importante na eliminação do diesel e outros combustíveis.

No estudo pertinente aos Estados Unidos e China houve a comparação entre os métodos de biorremediação no processo de descontaminação de solos contaminados por óleo diesel, foram eles, a atenuação monitorada, bioestímulo e bioaumento. Os solos contaminados por óleo diesel foram coletados a partir de Long Beach, Califórnia (EUA) e Hong Kong (China). (BENTO *et al.*, 2005).

Entre os tratamentos promovidos pela biorremediação foi notado que ao utilizar o bioaumento, as taxas de degradação para frações leves de hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) oriundas do solo Long Beach estavam maiores, cerca de, 63 a 84%. Já o processo de bioestímulo, para esse solo, obteve-se uma degradação significativa de 72% das frações leves.

No solo Hong Kong, o processo de atenuação monitorada resultou em uma maior degradação da fração leve de TPH em 47%. Para que houvesse a degradação da fração pesada de TPH no solo de Hong Kong, empregaram-se, também, os processos de bioaumento e bioestímulo, o que resultou após 12 semanas em cerca de 30,1% (bioaumento) e 28 a 31% (bioestímulo) de sua degradação.

Após 12 semanas de incubação que foi período final da experiência, o solo recolhido de Long Beach na Califórnia mostrou a maior degradação de TPH, atingindo valores de 70%. Por outro lado, o solo de Hong Kong não atingiu resultados tão satisfatórios na biodegradação dos componentes de TPH com a utilização do bioaumento e bioestímulo.

Dessa forma, o estudo realizado por Bento *et al.* (2005), afirma que por meio do bioaumento o solo Long Beach obteve o melhor desempenho para a degradação do óleo diesel. No entanto, os autores afirmam



também, que para que exista um melhor desempenho do bioaumento, este, deve ser utilizado com microrganismos já existentes no ambiente.

## 8. CONCLUSÕES

Embora o petróleo ainda seja a maior fonte energética do planeta, seus principais processos de exploração e exploração têm degradado intensamente o meio ambiente. Os seus danos mais significativos ocorrem durante o seu transporte, seja ele em forma de petróleo bruto ou em suas frações derivadas.

Dessa forma, a biorremediação surgiu com a finalidade de promover a descontaminação dessas áreas, e para isso, utiliza-se de microrganismos na degradação do petróleo e seus derivados, reduzindo de forma significativa, os impactos oriundos da indústria do petróleo.

Portanto, este trabalho expôs e analisou informações sobre essa tecnologia, comparando estudos realizados em diferentes locais, inclusive em solos brasileiros, evidenciando o seu potencial nos processos de descontaminação de áreas contaminadas por petróleo e derivados.

Contudo, não se pode asseverar que um método torna-se mais relevante do que o outro, tendo em vista que para que ocorram níveis ótimos de biorremediação é

impreterível conhecer vários fatores já supracitados neste trabalho.

Dessa forma, é de suma importância um estudo continuado sobre essa temática, o que com isso, possibilitará novas linhas de pesquisa, as quais podem ser relacionadas à viabilidade econômica da técnica, otimização dos processos que a compõem, seja, *in situ* ou *ex situ* e análise dos percentuais de degradabilidade dos microrganismos nativos.

## 9. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. *Eclética Química*, Campinas, p.17-43, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-46702010000300002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-46702010000300002&script=sci_arttext)>. Acesso em: 12 jul. 2015.
- BENTO, F. M. *et al.* Comparative bioremediation of soils contaminated with diesel oil by natural attenuation, biostimulation and bioaugmentation. *Bioresource Technology*, [S.l.], v. 96, n. 9, p.1049-1055, jun. 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852404003220>>. Acesso em: 19 set. 2015.

BERGER, T. M. *Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos totais de petróleo: enfoque na aplicação do processo Terraferm*. Tese (Doutorado em Ecologia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 86p. 2005. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10900/000590396.pdf?s>>. Acesso em: 22 jul. 2015.

COSTA FILHO, G. F. *Biodegradação de Óleos Derivados do Petróleo e de Origem Vegetal Estimulada por Biosurfactantes em Meio Aquoso e Monitoramento de sua Toxicidade*. 2011. 68 f. TCC (Graduação em Curso de Ecologia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2011. Disponível em: <[http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/118752/costafilho\\_gf\\_tcc\\_rcla.pdf?sequence=1](http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/118752/costafilho_gf_tcc_rcla.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 10 ago. 2015.

DECESARO, A. *Bioestimulação de solo contaminado por compostos oleosos com biomassa microbial inativa*. 2013. 60 f. TCC (Graduação em Curso de Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2013. Disponível em: <<http://usuarios.upf.br/~engeamb/TCCs/2013-1/Andressa%20Decesaro.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2015.

GAYLARDE, C. C.; BELLINASSO, M. L.; MANFIO, G. P. Biorremediação. *Biociência & Desenvolvimento*, n. 34, p. 36-43, 2005. Disponível em: <<http://www.cocminas.com.br/arquivos/file/Biorremediacao.pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2015.

MARIANO, A. P. *Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel*. 2006. 162 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2006. Disponível em: <[http://www.researchgate.net/profile/Adriano\\_Mariano2/publication/36362353\\_Avaliao\\_do\\_potencial\\_de\\_biorremedio\\_de\\_solos\\_e\\_deguas\\_subterrneas\\_contaminados\\_com\\_leo\\_diesel/links/00b49531b5b5368f03000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Adriano_Mariano2/publication/36362353_Avaliao_do_potencial_de_biorremedio_de_solos_e_deguas_subterrneas_contaminados_com_leo_diesel/links/00b49531b5b5368f03000000.pdf)>. Acesso em: 23 jun. 2015.

MUTECA, F. L. L.; *Biorremediação de solo contaminado com óleo cru proveniente de Angola*. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Programa em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://tpqb.eq.ufrj.br/download/biorremediacao-de-solo-contaminado-com-oleo-cru.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2015.

RUBERTO, L.; VAZQUEZ, S. C.; CORMACK, W. P. M. Effectiveness of the natural bacterial flora, biostimulation and bioaugmentation on the bioremediation of a hydrocarbon contaminated Antarctic soil. *International Biodeterioration & Biodegradation*, [S.l.], v. 52, n. 2, p.115-125, set. 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830503000489>>. Acesso em: 19 set. 2015.

SANTOS, P. V. Impactos ambientais causados pela perfuração em busca do petróleo. *Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT*, v. 1, n. 1, p. 153-163, 2012. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoexatas/article/view/297>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

THOMAS, J. E. (Org.) *Fundamentos de engenharia de petróleo*. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

TRINDADE, P.V.O. *et al.* Bioremediation of a weathered and a recently oil-contaminated soils from Brazil: a comparison study. *Chemosphere*, [s.l.], v. 58, n. 4, p.515-522, jan. 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article>

/pii/S0045653504007908>. Acesso em: 20 set. 2015.

YAKUBU, M. Bello. Biological approach to oil spills remediation in the soil. *African Journal of Biotechnology*, v. 6, n. 24, 2007.

