

## O USO DA FITORREMEDIAÇÃO PARA RECUPERAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS POR PETRÓLEO

**Larissa Ferreira de Menezes Lambert**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Estudante do curso de controle ambiental subsequente no IFRN, graduanda em administração pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

**Raffaella Patrícia da Silva Soares, Samir Cristino de Souza**

**Email do Autor Principal:** larissalambert@hotmail.com

### RESUMO

O desenvolvimento em todas as esferas da sociedade requer o uso cada vez maior de insumos derivados do petróleo, o que vem causando danos significativos ao meio ambiente, uma vez que o recurso não é renovável. A contaminação do solo é uma preocupação em escala global, podendo ser considerada um entrave no desenvolvimento sustentável. O principal foco desse artigo é indicar a fitorremediação como solução para recuperação de solos degradados por hidrocarbonetos de petróleo. A fitorremediação consiste em uma técnica inovadora que coloca a própria natureza a favor da preservação do meio ambiente. Utiliza apenas espécies vegetais para remover, imobilizar ou tornar inofensivos ao ecossistema os contaminantes orgânicos ou inorgânicos presentes em solos contaminados. Essa técnica pode ser aplicada para solucionar a poluição do solo provocada pela atividade de exploração do petróleo. Ao todo existem cinco tipos de aplicação da técnica que são eles: Fitoextração, Fitotransformação ou Fitodegradação, Fitovolatilização, Fitoestimulação e Fitoestabilização, cada qual com sua atuação específica. Para que a remediação seja feita com sucesso, é preciso identificar os fatores que poderão vir a afetá-la para que sejam controlados e minimizados, fazendo um estudo do local em que ocorreu a contaminação e também um estudo sobre o contaminante. É importante observar também a concentração do contaminante para que não cause prejuízo às plantas. A sua principal vantagem é o baixo custo, porém os resultados observados dependem da interação das espécies com o meio em que serão inseridas. A prática do descarte dos resíduos provenientes da exploração do petróleo requer a utilização de uma técnica que obtenha resultados na recuperação de solos degradados por ele, fazendo com que a sua exploração não aconteça sem que haja uma medida que repare o dano. No Brasil há uma grande dificuldade técnica de se recuperar solos contaminados por petróleo, devido aos diversos tipos de solo. Porém, há espécies aptas a recuperar solos degradados por esses hidrocarbonetos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fitorremediação, petróleo, solo, degradação, remediação

### INTRODUÇÃO

O petróleo tem sido um dos recursos naturais mais importantes na geração de energia em todo o mundo. Sua maior produção encontra-se no Oriente Médio, que é a região que mais abriga reservas, sendo a Arábia Saudita o maior produtor mundial. No Brasil, é uma das commodities minerais mais produzidas e tem as principais refinarias localizadas nos estados da Bahia, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Rio Grande do Sul.

Segundo Pegado e Silva, 2009, a exploração e produção petrolífera vêm sendo um importante vetor da economia mundial, proporcionando reflexos nas mais diversas áreas da sociedade. A demanda pelo recurso aumenta conforme o crescimento econômico no mundo inteiro. Esse avanço da economia é responsável pelo aumento na aquisição de veículos, produção industrial, movimentação de cargas, mobilidade de pessoas em transportes coletivos, e outras atividades que requerem cada vez mais o consumo dos derivados de petróleo, sendo os Estados Unidos o maior consumidor.

Ao longo do século XX, o desenvolvimento tecnológico deu um grau de importância ao petróleo que nenhum outro recurso natural obteve ao longo da história. Pelo fato de ser um recurso esgotável e de grande valor econômico, é visto com símbolo de riqueza para um país. Esse fato faz com que o combustível se torne um elemento causador de grandes mudanças geopolíticas e socioeconômicas em todo o mundo.

Atualmente o petróleo é o recurso natural mais utilizado como fonte de energia do mundo, representando 43%. A sua indústria atua nas atividades de refino, armazenamento, transporte e distribuição de combustíveis, deixando o meio

ambiente vulnerável a acidentes e poluição crônica. Toda e qualquer atividade humana acarreta algum tipo de impacto, seja ele positivo ou negativo. Entretanto, é inegável que algumas atividades são mais impactantes do que outras e, sendo assim, devem ser executadas com maiores cuidados evitando a degradação do meio ambiente. (OLIVEIRA DE MACÊDO, 2009).

Aliada ao crescimento econômico, as questões de caráter ambiental preocupam as comunidades de todo o mundo, sendo necessária a implantação de medidas que reduzam os impactos causados pela exploração do petróleo. Assim, as atividades ligadas à exploração do petróleo, vêm causando a degradação do solo, tornando-o infértil e prejudicando os organismos que nele sobrevivem diretamente ou indiretamente.

Uma técnica que se apresenta como solução para a descontaminação de solos contaminados por petróleo é a fitorremediação, que utiliza somente espécies vegetais para a remediação de solos degradados podendo fazê-la por meio do descarte, absorção e metabolização, imobilização, extração ou volatilização do poluente. É uma técnica economicamente viável, aplicada *in situ* e apresenta elevado potencial de utilização.

O presente artigo tem com objetivo indicar a fitorremediação como uma técnica eficaz de recuperação de solos contaminados por petróleo, evidenciando seus tipos e fazendo um estudo da caracterização do local contaminado para um melhor aproveitamento da técnica, apresentando também suas vantagens e desvantagens.

## APLICAÇÃO DA FITORREMEDIAÇÃO

A fitorremediação é uma tecnologia que se utiliza de espécies vegetais para a recuperação de solos degradados. Também pode ser conceituada como o uso de plantas e seus microorganismos associados, para tratamento de solo, água ou ar contaminado. Surgiu recentemente com potencial para tratamento eficaz de uma larga escala de poluentes orgânicos e inorgânicos. A fitorremediação em solos degradados pode auxiliar na melhoria de características físicas e químicas do local, inclusive em solos poluídos por hidrocarbonetos de petróleo.

A remediação pode ser feita através de cinco maneiras. A primeira delas é a fitoextração, na qual as espécies são plantadas e posteriormente colhidas, com o intuito de deixar o local livre de substâncias tóxicas. De maneira geral, essa técnica é utilizada para remediação de metais com o uso de plantas que podem acumular mais metais em seus tecidos do que outras. Trata-se de plantas hiperacumuladoras, que podem acumular metais em níveis até cem vezes superiores a uma planta comum.

A fitotransformação ou fitodegradação é processo pelo qual o poluente é absorvido e metabolizado, sofrendo bioconversão no interior das plantas. Essa forma de fitorremediação é empregada, principalmente, na remediação de compostos orgânicos. A assimilação e degradação de metanos, propanos, etanos, butanos e pentanos é um atributo de plantas como o feijão (*Phaseolus coccineus L.*) e o milho (*seedlings*).

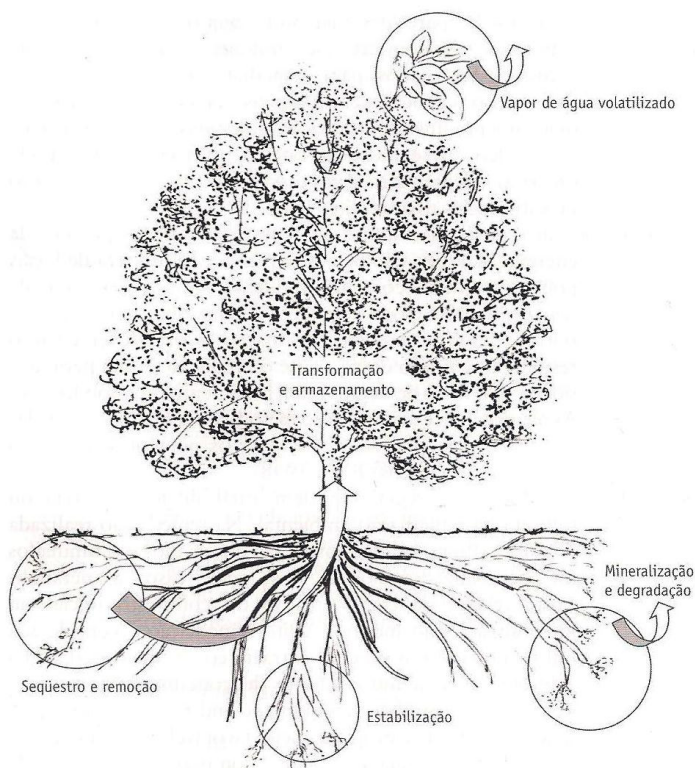
O processo de fitovolatilização é aquele em que as plantas e/ou organismos a elas associados ajudam a remover os poluentes do meio pela volatilização destes. Há o sequestro e remoção do poluente, que passa para a atmosfera através do vapor de água volatilizado (figura 1). A volatilização pode ocorrer pela biodegradação na rizosfera ou após a passagem na própria planta. No caso da absorção do poluente, este pode passar por diversos processos metabólicos internos, sendo liberado a partir da superfície das folhas. Os poluentes podem ser transformados em gases através do processo de respiração das plantas. A vantagem de tal técnica é que remove o contaminante do ecossistema, devendo ser utilizada com cuidado para que as plantas não liberem concentrações altas de poluentes na atmosfera.

A fitoestimulação é um mecanismo no qual os microorganismos associados e/ou beneficiados pela presença vegetal estão envolvidos, direta ou indiretamente, na degradação de contaminantes. A rizodegradação é quando essa estimulação ocorre nas raízes das plantas mudando as condições do solo e aumentando sua aeração, ajustando sua umidade e produzindo exsudatos que favorecem o crescimento de microorganismos e, por consequência, a biodegradação de contaminantes.

Por fim, a fitoestabilização pode ser entendida como um conjunto de mecanismos físicos, químicos ou físico-químicos. No processo físico os vegetais protegem o solo da incidência direta dos ventos e da chuva, reduzindo o efeito da desagregação do solo e o seu transporte contaminado. Já o processo químico ocorre por meio da mudança química e/ou microbiológica da zona das raízes e, ainda, pela alteração química do contaminante. Baseia-se na mudança da solubilidade e da mobilidade do metal e na dissolução de compostos orgânicos, por intermédio do pH de solo pela

exsudação de substâncias pelas raízes ou mediante produção de gás carbônico. Nesse processo, o poluente é imobilizado, sofrendo a estabilização (Figura 1) por meio de sua lignificação ou humificação.

Essas são as formas que a fitorremediação pode atuar para remover os hidrocarbonetos de petróleo do solo. Em alguns casos, pode ocorrer a mineralização do poluente (figura 1). É importante ressaltar que a fitorremediação do solo acontece em consonância com os nutrientes presentes neles, além da influência dos fatores presentes no local da contaminação, como o solo, ar, água e nível de fertilidade do solo. E para que a tecnologia seja aplicada com sucesso é preciso identificar e eliminar os fatores que venham a interferir negativamente no processo de remediação.



**Figura 1: Mecanismos atuantes na Fitorremediação. Andrade, Tavares e Malher. 2007, p. 38.**

Para o sucesso da técnica, é preciso estudar a caracterização do local contaminado e do contaminante. Em relação ao local, deve-se investiga-lo bastante, procurando saber quais atividades foram desenvolvidas lá há alguns anos. Além de conhecer também as suas características físicas e químicas, que devem ser favoráveis ao crescimento das plantas, e haver uma investigação do terreno, o que envolve coleta de amostra do solo e água, para que possa ser feita uma análise, a fim de identificar fatores como o tipo de contaminação, a concentração dos poluentes e onde se encontram.

A investigação é feita por meio de estudo de documentos como licenças ambientais, fotografias aéreas, conversas com pessoas que já trabalharam ou trabalham no local com o objetivo de identificar o que causou a contaminação do solo. Após esse processo inicial, devem ser estabelecidos os objetivos da recuperação que envolverá a pretensão da utilização da área, a disponibilidade de tecnologias e os custos. Em relação ao contaminante, a sua concentração não pode ser fitotóxica ou causar prejuízos à saúde das plantas. Altas concentrações de contaminantes podem inibir o crescimento vegetal e, desse modo, limitar sua aplicação.

A fitorremediação apresenta um elevado potencial de utilização devido às vantagens que apresenta em relação às outras técnicas de remediação de solo. A principal vantagem é o baixo custo, uma vez que o principal material para que ocorra a descontaminação da área são os próprios vegetais. Além disso, é aplicável *in situ* e o solo pode ser reutilizado, dependendo da situação, para a produção de madeira e de outros produtos vegetais. Com a colonização vegetal, pode-se observar a melhoria visual da paisagem e a criação de nichos ecológicos, o que é muito importante para as áreas urbanas.

Outro fator que gera vantagem é que vários contaminantes podem ser remediados ao mesmo tempo, incluindo sais, metais, pesticidas e hidrocarbonetos de petróleo. E, insumos usados ou máquinas podem ser os mesmo utilizados na agricultura e silvicultura, sendo assim, há facilidade no treinamento dos operadores das máquinas. É possível que haja a incorporação dos nutrientes das plantas no solo, deixando-o fértil.

Por ser uma tecnologia ainda em desenvolvimento a técnica apresenta também desvantagens. Os resultados observados podem ser lentos, quando se considera que o crescimento das espécies depende da estação, clima e solo, além do fornecimento de água. Deve-se observar concentração do poluente e a presença de outras toxinas devem estar dentro dos limites de tolerância da planta, pois tais substâncias em excesso impedem o estabelecimento e desenvolvimento dos vegetais. Um fator que é considerado muito importante para se levar em conta é a questão de que as plantas que fazem a remediação podem entrar na cadeia alimentar de outros seres vivos, passando a contaminação para eles.

Cada um dos cinco tipos de fitorremediação também apresentam suas desvantagens. Na fitoextração deve ser observado que as plantas que acumulam uma quantidade grande poluente têm o crescimento lento. Em relação à fitotransformação ou fitodegradação, alguns produtos tóxicos intermediários podem ser formados, uma vez que o vegetal metaboliza o poluente. Na fitovolatilização, pode ser que os contaminantes a nível alto, sejam liberados na atmosfera, comprometendo a qualidade do ar. Para a fitoestimulação, e fitoestabilização a desvantagem é mesmo após a aplicação da técnica o contaminante permanece no local.

Apesar de apresentar desvantagens, a fitorremediação é uma técnica bastante eficiente no caso da remediação de solos contaminados por petróleo, levando em conta o aumento considerável da utilização dessa fonte de energia pela população mundial. A natureza física desse recurso e sua composição química podem variar significativamente. O petróleo pode ser encontrado naturalmente em determinadas formações geológicas, como um combustível fóssil, resultante da transformação e decomposição da matéria orgânica de plantas aquáticas e animais pré-históricos.

O petróleo é uma mistura complexa de hidrocarbonetos e de pequenas quantidades de compostos orgânicos contendo enxofre, nitrogênio e oxigênio, assim como baixas concentrações de compostos orgânicos metálicos. No Brasil há uma grande dificuldade técnica de se recuperar solos impactados por petróleo, pois nos solos brasileiros, com características argilosas, fortes interações se estabelecem entre a matriz do solo e os contaminantes devido à baixa permeabilidade inerente a este tipo de solo.

Segundo Ray e Engelhardt, 1992, a água produzida pela atividade de exploração e produção de petróleo contém alta salinidade, produtos químicos adicionados nos diversos processos de produção, metais pesados, e radioatividade. Assim, com tamanha fonte de poluição, também prejudica o solo quando descartada inadequadamente. A prática do descarte dos resíduos dessa atividade tão poluidora requer que medidas de remediação sejam usadas. Assim a fitorremediação dos solos contaminados por esse recurso é uma solução para evitar tamanho prejuízo ao meio ambiente.

Os produtos do petróleo liberados no solo migram através dele por dois mecanismos gerais: (1) como uma massa de óleo que se infiltra por ação da força da gravidade versus força de capilaridade (compostos hidrofóbicos migram através da massa de óleo), e (2) como compostos individuais que se separam da mistura de componentes, sendo que os hidrossolúveis dissolvem-se na água ou no ar. A seleção e a interação de espécies vegetais é um fator importante para o processo da fitorremediação. Para que essa tecnologia seja bem sucedida é necessário que as espécies selecionadas sejam capazes de germinar, se estabelecer e florescer nas condições do ambiente.

Para que a técnica seja aplicada com sucesso, as plantas devem apresentar potencial para o processo de capacidade de absorção, tolerância ao contaminante, retenção ao contaminante nas raízes, sistema radicular denso e profundo, capacidade para desenvolver-se em ambientes diversos, resistência a pragas e doenças, fácil controle ou erradicação e fácil colheita. Espécies remediadoras de hidrocarbonetos de petróleo são: *Ricinus communis*, *Helianthus annuus*, *Glicine max*, *Acacia holosericea*, *Brachiariabrizantha*, *Tibouchina granulosa* e *Leucaena leucocephala*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Andrade, J., Tavares, S., Malher, C., Fitorremediação: o uso na melhoria de qualidade ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
2. Anselmo, A., Jones, C., Fitorremediação de Solos Contaminados – O Estado da Arte. Disponível em: [http://www.antoniofonseca.com/Unidades%20Curriculares/1Ano/Biologia%20Geral%20I/6%20Apontamentos/ENEGEP2005\\_Enegep1005\\_0558%5B1%5D.pdf](http://www.antoniofonseca.com/Unidades%20Curriculares/1Ano/Biologia%20Geral%20I/6%20Apontamentos/ENEGEP2005_Enegep1005_0558%5B1%5D.pdf). Data: 08 de setembro de 2012.

3. Francisco, Wagner de Cerqueira e. Principais países produtores de petróleo. Disponível em: <http://www.mundoeducacao.com.br/geografia/principais-paises-produtores-petroleo.htm>. Data: 09 de setembro de 2012.
4. Fundação Getúlio Vargas Projetos. O mercado do petróleo: oferta, refino e preço. Disponível em: [http://fgvprojetos.fgv.br/sites/fgvprojetos.fgv.br/files/miolo\\_mielnik\\_final\\_view\\_19abr12.pdf](http://fgvprojetos.fgv.br/sites/fgvprojetos.fgv.br/files/miolo_mielnik_final_view_19abr12.pdf). Data: 09 de setembro de 2012.
5. Petróleo. Disponível em: <http://www.brasilecola.com/geografia/petroleo.htm.%20acessado>. Data: 09 de setembro de 2012.
6. Pegado, E., Silva, V., Licenciamento ambiental onshore. Natal: IFRN, 2009.