



Fitorremediação como solução para recuperação de solos contaminados pelo petróleo.

Larissa Ferreira de Menezes Lambert¹, Raffaella Patrícia da Silva Soares¹, Samir Cristino²

¹Alunas do Curso Técnico Subsequente em Controle Ambiental – IFRN. Bolsistas do PFRH/Petrobras. e-mail: larissalambert@hotmail.com

²Orientador do Programa PFRH/Petrobras e Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. IFRN.

Resumo: O crescente desenvolvimento econômico e tecnológico na conjuntura global requer cada vez mais a utilização de insumos derivados do petróleo, o que vem causando impactos negativos ao meio ambiente, uma vez que tal recurso não é renovável. O foco principal desse artigo é indicar a fitorremediação como solução para recuperação de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo. A Fitorremediação é o uso de plantas para remover, imobilizar ou tornar inofensivos ao ecossistema, contaminantes orgânicos e inorgânicos presentes no solo, sendo uma técnica inovadora e vantajosa principalmente pelo baixo custo. Naturalmente existem desvantagens na aplicação dessa tecnologia, uma vez que os resultados observados dependem da interação das espécies com o meio em que serão inseridas. Existem ao todo cinco tipos de fitorremediação, que são elas: Fitoextração, Fitotransformação ou Fitodegradação, Fitovolatilização, Fitoestimulação e Fitoestabilização, cada qual com sua atuação específica. Para que a aplicação dessa tecnologia seja eficiente, é necessário fazer a caracterização do local contaminado e identificar fatores que venham interferir negativamente no processo de remediação do mesmo, para que sejam minimizados e controlados. É importante observar também a concentração do contaminante para que não cause prejuízo às plantas. 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: contaminantes, fitorremediação, hidrocarbonetos, petróleo, solo

1. INTRODUÇÃO

O petróleo é um importante recurso natural usado como fonte de energia, no qual a sua maior produção mundial concentra-se no Oriente Médio, que é a região que mais abriga reservas com destaque para a Arábia Saudita, que é o maior produtor. Segundo Mendonça e Miranda, (2009), o uso cada vez maior de energia pela humanidade tem exigido um aumento na produção desse importante insumo, o que entra em conflito com a necessidade de conservação do meio ambiente.

A demanda do recurso aumenta conforme o crescimento econômico no mundo inteiro. Tal fator é responsável pelo aumento na aquisição de veículos, produção industrial, movimentação de cargas, mobilidade de pessoas em transportes coletivos, e outras atividades que requerem o consumo dos derivados de petróleo, sendo os Estados Unidos o maior consumidor. Essa demanda tem sido puxada principalmente pelo desenvolvimento de países como China, Índia e países do próprio Oriente Médio.

A atividade de exploração no Brasil nas últimas décadas tem se tornado cada vez mais intensa. As principais refinarias de petróleo estão concentradas nos estados da Bahia, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Rio Grande do Sul. Foi após a Segunda Guerra Mundial que se iniciou um movimento para a nacionalização da produção petrolífera a partir daí tecnologias vem sendo desenvolvidas para a descoberta de áreas que tenham grande potencial de exploração e produção.

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; MACÊDO, 2009, p. 35). Aliada ao crescimento econômico, às 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.



Uma técnica que apresenta soluções para a contaminação de solos degradados por hidrocarbonetos de petróleo é a fitorremediação, que utiliza espécies vegetais para a remediação de solos contaminados, podendo fazê-la por meio do descarte, absorção e metabolização, imobilização, extração ou volatilização do poluente. “Fitorremediação do solo é um termo geral usado para designar um conjunto de tecnologias e práticas agrônômicas que empregam plantas e microorganismos associados para remediar solos contaminados.” (ANDRADE; TAVARES; MALHER, 2007, p. 37). É uma técnica economicamente viável, aplicada *in situ* e apresenta elevado potencial de utilização.

O presente artigo tem como objetivo apresentar a fitorremediação como solução para a descontaminação de solos degradados por petróleo, evidenciando seus tipos e caracterizando o local contaminado para um melhor aproveitamento da técnica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa de caráter exploratório se estruturou por meio de uma revisão bibliográfica relacionada ao tema. Inicialmente estudou-se o conceito e os mecanismos que ocorrem na fitorremediação para que o solo degradado por hidrocarbonetos de petróleo seja remediado. Num segundo momento, foram enfatizados os fatores relacionados à caracterização do local contaminado e do contaminante. Depois, evidenciaram-se as vantagens e desvantagens da técnica e por fim foram analisadas as naturezas física e química do petróleo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fitorremediação é o uso de espécies vegetais na recuperação de áreas degradadas. Essa tecnologia pode também ser conceituada como o uso de plantas e seus microorganismos associados, para tratamento de solo, água ou ar contaminado. É uma técnica que 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.

A remediação pode ocorrer através de cinco maneiras diferentes. A Fitoextração é utilizada para remediação de metais com o uso de plantas que podem acumular mais metais em seus tecidos do que outras. O processo se inicia com a absorção do poluente contido no meio, ocorre o armazenamento no tecido vegetal, o que facilita o descarte do material, pois as plantas utilizadas podem acumular metais em níveis até cem vezes superiores a uma planta comum. As espécies são plantadas e posteriormente colhidas, deixando o local livre de substâncias tóxicas.

A Fitotransformação ou Fitodegradação é definida pela absorção e metabolização de poluentes por plantas, sendo empregada, principalmente, na remediação de compostos orgânicos. Na fitotransformação ou fitodegradação o poluente sofre bioconversão no interior das plantas ou em sua superfície, passando a formas menos tóxicas (figura 1).

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, o poluente é absorvido e convertido em forma volátil, que é liberada na atmosfera (figura 1). Essa técnica 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 parti da superfície das folhas. A vantagem é que o contaminante é removido do ecossistema, porém esse procedimento deve ser trabalhado com cuidado, porque existe o risco de as plantas liberarem concentrações muito elevadas de contaminantes potencialmente tóxicos na atmosfera. Essa técnica pode também ser usada no controle hidráulico, reduzindo a contaminação.

Na fitoestimulação utilizamos um mecanismo no qual os microorganismos associados e/ou beneficiados pela presença vegetal estão envolvidos, direta ou indiretamente, na degradação de contaminantes. A presença das plantas estimula a biodegradação microbiana e/ou fornecimento de tecidos vegetais. Quando ocorre nas raízes é chamado de *rizodegradação* e acontece por que as raízes das plantas mudam as condições do solo, aumentando sua aeração, ajustando sua umidade e, por consequência, a biodegradação de contaminantes.

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. Além de que a presença de plantas pode, direta ou indiretamente, provocar a imobilização, lignificação ou humificação do contaminante no solo. Já a fitoestabilização química ocorre por meio da mudança química e/ou microbiológica da zona das raízes e, ainda, pela alteração química do contaminante (figura 1). Baseia-se na mudança da solubilidade e da mobilidade do metal e na dissolução de compostos orgânicos. Essa técnica também pode ser empregada para contaminantes inorgânicos.

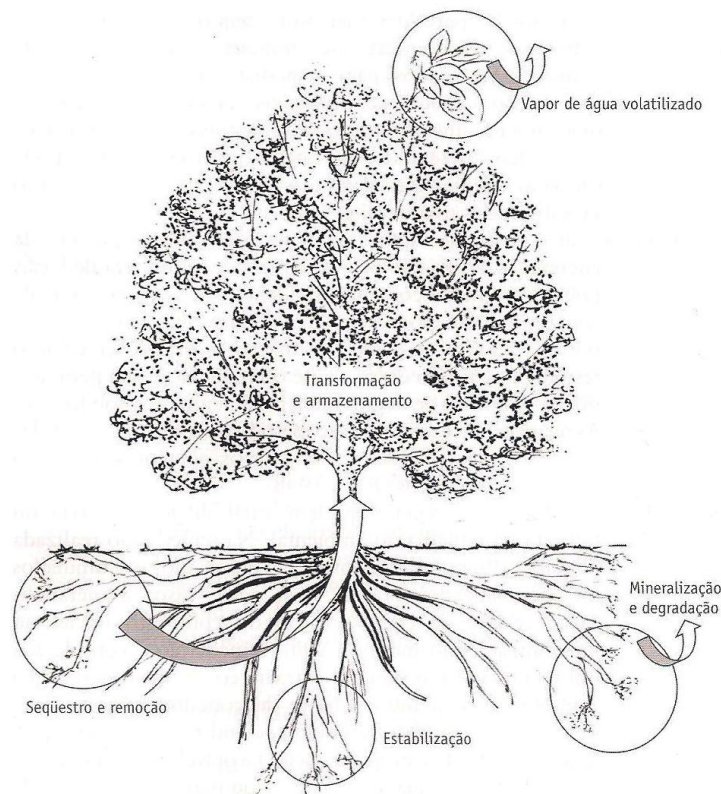


Figura 1: Mecanismos atuantes na Fitorremediação. Andrade, Tavares e Malher. 2007, p. 38.

Para que a tecnologia usada na fitorremediação seja eficiente, é preciso identificar fatores que venham intervir negativamente no processo de remediação, para que sejam minimizados e controlados. É fundamental conhecer a distribuição do contaminante no solo e suas características físico-químicas, assim como a profundidade da contaminação. Em relação ao solo, devem-se considerar quais as suas características que afetam o crescimento vegetal. Geralmente o uso da fitorremediação é limitado a locais com baixas ou médias concentrações de contaminantes e em pequenas profundidades de solos, rios e águas subterrâneas. No entanto, em árvores em que as raízes são profundas, há um limite maior para a descontaminação dos solos.

Devido às vantagens que a fitorremediação apresenta em relação a outras técnicas de remediação do solo, apresenta um elevado potencial de utilização. A principal vantagem a ser considerada é o custo muito reduzido, uma vez que pode ser usada em grandes áreas contaminadas, onde outras técnicas seriam economicamente inviáveis. Além disso, é aplicável *in situ* e o solo pode ser posteriormente utilizado, 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.

A fitorremediação pode remediar vários contaminantes ao mesmo tempo, incluindo sais, metais, pesticidas e hidrocarbonetos de petróleo. A melhoria na qualidade do solo também pode ser citada, ocorrendo pelo aumento da rugosidade e infiltração da água, fornecendo nutrientes e aumentando a quantidade de carbono orgânico. Segundo Anselmo e Jones, 2005, as plantas são mais fáceis de ser controladas do que os microrganismos, as propriedades biológicas e físicas do solo são mantidas, e, não raro, até melhoradas.

Além disso, é possível a incorporação da matéria orgânica ao solo, quando não há necessidade de retirada das plantas fitorremediadoras da área contaminada. No processo não é utilizado nenhum tipo de motor ou bomba, o que evita a emissão de ruídos e monóxido de carbono. Outra vantagem é que os insumos usados ou máquinas podem ser os mesmo utilizados na agricultura e silvicultura, sendo assim, há facilidade no treinamento dos operadores das máquinas. Por fim, outras vantagens podem ser citadas como o fácil monitoramento das plantas, no caso seria mais fácil de monitorar do que microrganismos e em alguns casos a fitorremediação representa uma solução permanente, uma vez que poluentes como os orgânicos podem ser mineralizados.

A fitorremediação apresenta desvantagens em relação a outras técnicas por ser uma tecnologia ainda em desenvolvimento. Os resultados observados podem ser lentos, uma vez que o crescimento de algumas plantas depende da estação, clima e solo, além do fornecimento de água. A 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.

A técnica aplica-se somente a superfície do solo, não podendo alcançar grandes profundidades. Outra limitação é que as plantas que fazem a remediação podem entrar na cadeia alimentar de outros seres vivos, passando os contaminantes para os mesmos, causando prejuízo aos seres vivos. Metabólicos mais tóxicos que os compostos originais podem ser produzidos, não acontecendo o principal processo da fitorremediação que é a remediação do poluente. Por fim, a técnica é incapaz de reduzir totalmente a concentração do poluente.

Para ocorrer a remediação, é preciso conhecer e investigar o local, e, 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, é importante considerar que deve ser observado a sua concentração, uma vez que 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 natureza física do petróleo 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.

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.

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*.

6. CONCLUSÕES

A fitorremediação para hidrocarbonetos de petróleo é uma técnica que surge do avanço da biotecnologia para a recuperação de solos que estão sofrendo degradação por esse recurso não renovável. É um meio promissor por ainda estar em desenvolvimento, podendo ser constantemente melhorado.

O solo pode ser remediado por várias maneiras que constituem os tipos da fitorremediação. Atualmente as técnicas *in situ* são priorizadas por não agredir tanto o meio ambiente. O baixo custo é um fator pelo qual esse tipo de descontaminação é preferencialmente escolhido, além de que pode ser aplicado em grandes áreas e dispor de facilidade de aplicação.

Apesar de promissora, a técnica apresenta limitações, uma vez que os resultados podem ser observados em longo prazo, pelo fator de adaptação das plantas, sendo essa a principal desvantagem. Além de que a contaminação pode entrar na cadeia alimentar, prejudicando diretamente os organismos inerentes ao meio ambiente.

Tais limitações não impedem a técnica de ser considerada uma ótima solução para a recuperação de solos degradados por hidrocarbonetos de petróleo, que uma vez melhorada, pode vir a se tornar um sistema ideal.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Petrobrás pelo incentivo a pesquisa. Ao IFRN por ceder à infraestrutura necessária. Ao nosso professor e orientador Samir Cristino pela orientação, ensinamentos e amizade. As nossas amigas, Raiane Zuilla, Isabella Rodrigues e Maria das Graças pelo apoio e companheirismo.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J.; TAVARES, S.; MALHER, C. **Fitorremediação: o uso na melhoria de qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

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>. Acesso em: 01 jul. 2012.

CREQUEIRA, W. **Principais países produtores de petróleo**. Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com.br/geografia/principais-paises-produtores-petroleo.htm>>. Acesso em: 28 jun. 2012.

PEGADO, E.; SILVA, V. **Licenciamento ambiental onshore: limites e otimização**. Natal: IFRN, 2009.

PIRES, F.; SOUZA, C.; SILVA, A. **Fitorremediação de Solos Contaminados com Herbicidas**. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pd/v21n2/a20v21n2.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2012.



ROSA, G. S. Avaliação do Potencial de Espécies Vegetais na Fitorremediação de Solos Contaminados. Tese (mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.