

---

## ALTERNATIVAS DE REMEDIAÇÃO E DESCONTAMINAÇÃO DE SOLOS: BIORREMEDIAÇÃO E FITORREMEDIAÇÃO

COUTINHO, Pablo Wenderson Ribeiro<sup>1</sup>  
CADORIN, Danielle Acco<sup>2</sup>  
NORETO, Lorena Maia<sup>2</sup>  
GONÇALVES Jr, Affonso Celso<sup>3</sup>

---

Recebido em: 2014.11.25

Aprovado em: 2015.04.09

ISSUE DOI: 10.3738/1982.2278.1400

---

**RESUMO:** Esta revisão demonstra os principais mecanismos de remediação de solos contaminados envolvidos pela biorremediação e pela fitorremediação e aborda fatores determinantes para o sucesso das mesmas. A biorremediação consiste no uso de microrganismos capazes de transformar contaminantes em substâncias menos tóxicas, e pode ocorrer tanto *in situ*, quanto *ex situ*. Para que o processo de biorremediação ocorra de forma eficiente, os microrganismos devem estar presentes em grandes quantidades e possuir habilidade de degradação do composto. A fitorremediação é um método de descontaminação *in situ* que envolve mecanismos como a fitoextração, fitotransformação, fitoestimulação e fitoestabilização. O sucesso da fitorremediação depende de plantas que possuam determinadas características, entre as quais, boa capacidade de absorção, sistema radicular profundo, acelerada taxa de crescimento, facilidade de colheita e ampla resistência ao poluente. Biorremediação de fitorremediação têm sido estudadas nas condições brasileiras e têm mostrado grande potencial, visto que o Brasil é um país com enorme diversidade, o que amplia as possibilidades de utilização das mesmas.

**Palavras-chave:** Contaminação. Metais pesados. Microrganismos. Plantas remediadoras.

## ALTERNATIVE SOIL REMEDIATION: BIOREMEDIATION AND PHYTOREMEDIATION

**SUMMARY:** This review demonstrates the major mechanisms involved remediation of contaminated soils by bioremediation and phytoremediation and addresses the decisive factors for the success of the same. Bioremediation is the use of microorganisms capable of transforming contaminants into less toxic substances, and may occur either *in situ* and *ex situ*. For bioremediation process to occur efficiently, microorganisms must be present in large quantities and has degradation ability of the compound. Phytoremediation is a method of decontamination *in situ* which involves mechanisms such as phytoextraction, fitotransformação, Phyto and phytostabilization. The success of phytoremediation depends on plants having certain characteristics, including, good absorption capacity, deep root system, accelerated growth rate, ease of harvest, broad resistance to pollutant. Bioremediation of phytoremediation have been studied in Brazilian conditions and have shown great potential, since Brazil is a country with tremendous diversity, which expands the possibilities for their use.

**Keywords:** Contamination. Heavy metals. Microorganisms, Remediating plants.

---

## INTRODUÇÃO

Dentre os graves problemas ambientais da atualidade encontra-se a contaminação dos solos, que decorre do descarte inadequado de resíduos orgânicos e inorgânicos, tanto de forma proposital quanto acidental. O acúmulo de substâncias em concentrações indesejáveis é responsável por sérios problemas ambientais, prejudica a capacidade do solo de desenvolver as suas várias funções, culmina em diversos

---

<sup>1</sup> Mestrando em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Rua Pernambuco 1777, CEP 85960-00, Marechal Cândido Rondon/PR.

<sup>2</sup> Doutoranda em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Rua Pernambuco 1777, CEP 85960-00, Marechal Cândido Rondon/PR.

<sup>3</sup> Pós-doutor em Ciências Ambientais, Prof. Associado da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Rua Pernambuco 1777, CEP 85960-00, Marechal Cândido Rondon/PR.

---

problemas de saúde para o ser humano e afeta diversas formas de vida (MARQUES; AGUIAR; SILVA, 2011).

A humanidade é geradora de uma imensa quantidade de resíduos, que podem ser originários, por exemplo, das atividades industriais, agrícolas, e do lixo domiciliar. O descarte desses resíduos no solo é consequência, em muito, da concepção de que o solo possui capacidade de assimilação infinita. Metais tóxicos, agrotóxicos e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos são considerados alguns dos principais contaminantes do solo (JACQUES et al., 2007; COSTA et al., 2008).

Apesar da preocupação com a contaminação dos solos ser recente, existem várias técnicas de remediação com possibilidade de aplicação, que tem por finalidade reduzir as concentrações de contaminantes a níveis seguros para a saúde humana, além de impedir a dispersão dos mesmos no ambiente (HUANG et al., 2005). A descontaminação pode ocorrer tanto *in situ* quanto *ex situ*, sendo que cada vez mais se tem dado preferência para a primeira, por apresentar menores custos, ser mais bem aceita por parte da população e não provocar contaminações secundárias (TAVARES, 2009).

Algumas técnicas de descontaminação são classificadas como biológicas, e dentre elas a biorremediação e a fitorremediação. A biorremediação consiste no uso de microrganismos capazes de transformar contaminantes em substâncias menos tóxicas (COLLA et al., 2008). A fitorremediação faz uso de plantas para descontaminação de solos poluídos. Essa técnica se apresenta muito promissora nas condições brasileiras, visto a enorme biodiversidade e o clima tropical do país (MARQUES; AGUIAR; SILVA, 2011). Esta revisão objetivou discutir os principais mecanismos de remediação de solos contaminados compreendidos pela biorremediação e pela fitorremediação, além de abordar os principais fatores determinantes para o sucesso das mesmas.

## 1 BIORREMEDIAÇÃO

A biorremediação é uma alternativa promissora na descontaminação dos ambientes aquáticos e terrestres. Sua grande aplicabilidade é devida a existência de milhares de microrganismos com capacidade de degradação. Sendo assim, é uma tecnologia desenvolvida visando explorar agentes biológicos para a degradação e transformação de poluentes orgânicos em baixas concentrações (COLLA et al., 2008). Esta biotecnologia vem sendo utilizada há vários anos em outros países, sendo que as pesquisas iniciaram em 1988 (TORTORA et al., 2005). A partir daí vários estudos têm sido conduzidos na tentativa de decompor os diversos tipos de poluentes, por apresentar menor custo e maior eficiência na remoção dos contaminantes do que as técnicas como incineração e lavagem do solo (BAMFORTH; SINGLETON, 2005).

Esta tecnologia pode ser utilizada para diversos fins: na remoção de toxinas de poços subterrâneos, na descontaminação do solo, em derrame químico como diesel e gasolina, locais de lixo tóxicos, derrames de petróleo, degradação de herbicidas, decomposição de substâncias orgânicas e inorgânicas, entre outros (TORTORA et al., 2005). Sendo assim, importante o conhecimento dos princípios e das técnicas da biorremediação. Isso possibilita uma utilização e seleção correta de acordo com as condições específicas de cada local e de cada contaminante presente (JACQUES, et al., 2007). Portanto, Cerqueira e Costa (2009) afirmam que esta técnica tem grande importância ambiental, econômica e social, uma vez que o processo consiste em degradar substâncias tóxicas do meio ambiente.

Para que o processo de biorremediação ocorra de forma eficiente, os microrganismos devem estar presentes em grandes quantidades com habilidade de degradação do composto (HUESEMANN; HAUSMANN; FORTMAN, 2002).

Biorremediação é a aceleração do processo de biodegradação, sendo que o seu procedimento dependerá das condições do próprio solo, estando limitada à disponibilidade de nutrientes, umidade, temperatura, ao pH, à concentração de minerais, ao potencial redox, à natureza do contaminante e às características físicas e químicas dos ambientes contaminados (FERREIRA & MORITA, 2012). Os poluentes orgânicos influenciam diretamente na habilidade dos microrganismos (MARIANO et al., 2007).

Segundo Santos et al. (2007) para que se tenha sucesso desta técnica é necessário uma minuciosa avaliação da aplicabilidade das técnicas *in situ* e *ex situ*, pois está ligado diretamente a uma ampla compreensão das condições físicas, químicas e biológicas do solo.

## **1.1 Processos de biorremediação *in situ***

As técnicas de remediação *in situ* são aquelas em que não há necessidade de remoção do material, sendo esta realizada no próprio local contaminado. Segundo Pereira e Freitas (2012), isto evita custos e distúrbios ambientais sendo associados com o movimento de solos e águas que estão contaminados para outros locais destinados ao tratamento. Entre as técnicas mais utilizadas nos processos *in situ* na biorremediação encontram-se a passiva ou intrínseca (BENTO et al., 2003), bioestimulação (COSTA; NUNES; CORSEUIL, 2009), bioaumentação (BURATINI, 2008), air aparging (WEBER; SANTOS, 2013) e bioventilação (REGINATTO et al., 2012).

### **1.1.1 Biorremediação passiva ou intrínseca**

A biorremediação intrínseca ou passiva é um processo que ocorre naturalmente, onde os microrganismos autóctones, ou seja, do próprio local, sem qualquer interferência de tecnologias ativas de remediação transformam os contaminantes em substâncias menos tóxicas (BENTO et al., 2003).

A ocorrência da biorremediação passiva exige a caracterização da geologia, hidrologia e ecologia microbiana locais, e também o conhecimento de processos biogeoquímicos (MARIANO; ANGELIS; BONOTTO, 2007). O principal interesse por esta técnica é devido aos baixos custos, por ser uma técnica com mínima intervenção (BHUPATHIRAJU et al., 2002).

### **1.1.2 Bioestimulação**

A bioestimulação consiste na adição de nutrientes orgânicos e inorgânicos no local contaminado, como nutrientes, oxigênio e biossurfactantes, visando a estimular a atividade dos microrganismos degradadores (JACQUES et al., 2007).

Os nutrientes utilizados na bioestimulação como o nitrogênio (N) e o fósforo (P), são considerados fatores limitantes para a degradação microbiana (BAPTISTA et al., 2003). O nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) é um componente importante na utilização desta técnica, devido ter duas diferentes rotas metabólicas como fonte de nutrientes no metabolismo assimilativo ou como receptor de elétrons no metabolismo dissimilativo dos microrganismos (COSTA; NUNES; CORSEUIL, 2009).

Existem dúvidas sobre os efeitos em longo prazo, uma vez que as taxas de degradação tendem a se equalizar com o tempo. No entanto, Gaylard (2005), relata que as técnicas de bioestimulação demonstraram um aumento de 5 a 10 vezes nas taxas de degradação do contaminante.

### **1.1.3 Bioaumentação**

O processo de bioaumentação é a inoculação de microrganismos com alto potencial de degradação

em um local contaminado (MARIANO et al., 2007). Pode fazer o uso de microrganismos que foram previamente selecionados para se desenvolverem em certos poluentes para metabolizar determinados produtos (TORTORA et al., 2005). Para que haja um efetivo benefício dessa técnica, condições mínimas devem ser fornecidas aos microrganismos que foram introduzidos no local, como a manutenção do pH, a temperatura e o fornecimento de nutrientes.

Segundo Buratini (2008), o processo conhecido como mineralização, mudanças na molécula original, como a substituição ou a modificação de um grupo funcional, ou até mesmo destruição da molécula, tendo como resultado a sua conversão final em CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e sais inorgânicos, no decorrer do processo de biodegradação do contaminante.

#### **1.1.4 Air Sparging**

O Air Sparging é uma tecnologia que pode ser utilizada para remoção e destruição do contaminante *in situ*. Esta tecnologia se dá através do ar, onde é injetado na zona saturada, usualmente abaixo da zona contaminada, no qual o vapor utilizado em forma de pressão positiva empurra os contaminantes do solo para a atmosfera, promovendo a biodegradação dos contaminantes pela atividade bacteriana aeróbica (WEBER; SANTOS, 2013).

O Air Sparging é utilizado também para a descontaminação de aquíferos, de maneira que as soluções injetadas consigam se misturar e se espalhar completamente pela água do aquífero (WEBER; SANTOS, 2013).

#### **1.1.5 Bioventilação**

A técnica de bioventilação ou bioaeração é uma técnica de bioestimulação que se caracteriza pela adição de oxigênio no solo contaminando, para estimular o crescimento dos microrganismos naturais e/ou introduzidos pela bioaumentação. De acordo com Reginatto et al. (2012), esta tecnologia é considerada promissora, pois a uma disponibilidade de oxigênio molecular, tendo assim um grande efeito na biodegradação de vários compostos.

### **1.2 Processos de biorremediação *Ex Situ***

Na tecnologia *ex situ* o material contaminado é retirado do local de origem, para posterior tratamento. É uma técnica de fácil controle 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 (PAUDYN et al., 2008), biorreatores (JACQUES et al., 2007) e compostagem (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010).

#### **1.2.1 Landfarming**

O Landfarming é uma tecnologia que envolve a remoção biológica dos resíduos dos solos contaminados (MAILA; CLOETE, 2004). A técnica usa oxigênio, geralmente do ar, para estimular o crescimento e reprodução das bactérias aeróbias que, por sua vez, degradam os constituintes do solo. Esta estimulação ocorre através do revolvimento do solo por operações de aração e gradagem (visando a aerar e uniformizar os contaminantes), além da adição de corretivos e fertilizantes (MAILA; CLOETE, 2004).

Em vários países inclusive no Brasil o biotratamento em landfarming é bastante utilizado em compostos de hidrocarbonetos de petróleo nas indústrias e refinarias, são largamente removidos por

---

volatilização, biodegradação e adsorção (PAUDYN et al., 2008).

### 1.2.2 Biorreatores

Os biorreatores são reatores, sendo estes produzindo diversas reações químicas catalisadas por biocatalisadores, possibilitando o aumento da disponibilidade dos contaminantes aos microrganismos degradadores e a eliminação da heterogeneidade da distribuição dos contaminantes no solo (SCHMIDELL; FACCIOTTI, 2001).

Segundo Jacques et al. (2007), as condições ambientais de pH, a disponibilidade de nutrientes, a aeração e a temperatura no interior do biorreator, são de suma importância para que se tenha o máximo crescimento microbiano.

### 1.2.3 Compostagem

Segundo Jacques et al. (2007), a compostagem pode ser utilizada para o tratamento do solo contaminado com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, que são compostos mutagênicos e carcinogênicos aos humanos e aos animais. Para a realização da compostagem em forma de biopilhas, normalmente o solo é removido do local de origem e colocado na forma de pilhas, num local que permita o controle da lixiviação e do escoamento superficial dos líquidos originados dessas pilhas.

A tecnologia de biopilhas é controlada por processos biológicos em condições aeróbicas. Essa técnica envolve basicamente a construção de células ou pilhas de solo contaminado em montes. Para o emprego desta técnica, inicialmente o solo é escavado e, em seguida, preparado e colocado em pilhas, onde é realizada a técnica de bioestimulação através de aeração, da adição de nutrientes e do aumento da umidade do solo, com o propósito de promover o aumento de microrganismos capazes de biodegradar os contaminantes de interesse (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010).

Os custos variam de acordo com a quantidade de solo que vai ser tratado, o tipo de contaminante e o tipo de projeto que será utilizado.

## 2 FITORREMEDIAÇÃO

A técnica da fitorremediação consiste na utilização de plantas que possuem capacidade de absorver elementos do solo com teores excessivos de metais e outros elementos potencialmente tóxicos ao meio, promovendo sua descontaminação (SOUZA et al., 2011).

Segundo Coutinho e Barbosa (2007), para se obter sucesso com a técnica de fitorremediação faz-se necessário utilizar plantas que possuam determinadas características que promovam uma boa capacidade de absorção, sistema radicular profundo, acelerada taxa de crescimento, facilidade de colheita e que possuam uma ampla resistência ao poluente. Para uma eficaz realização da técnica de fitorremediação é importante ressaltar a interação entre plantas, poluente e solo, visto que são vários os mecanismos necessários para a descontaminação de áreas poluídas, pois tanto os organismos quanto as plantas possuem maneiras distintas relacionadas à remoção, imobilização ou transformação de poluentes específicos.

Dentre os tipos de fitorremediação, os principais são: Fitoextração, o processo é iniciado quando ocorre a remoção dos contaminantes do solo e posterior retenção no tecido vegetal; Fitotransformação, cuja técnica pode ser aplicada tanto no tratamento da água como no solo, na qual o metabolismo da planta atua na degradação dos contaminantes; Fitoestimulação, onde a estimulação da atividade dos

microrganismos degradadores dos contaminantes ocorre na rizosfera da planta; e Fitoestabilização, nesta técnica as plantas são utilizadas para reduzir a migração dos contaminantes no solo. De todas as técnicas citadas é importante ressaltar que para a obtenção de resultados satisfatórios, é necessário o conhecimento dos princípios e das aplicações dessas técnicas, possibilitando a seleção e a utilização correta, levando em consideração as condições específicas de cada local e de cada contaminante presente (JACQUES et al., 2007).

#### a. Fitoextração

O princípio da fitoextração baseia-se na utilização de plantas para remover contaminantes do solo, acumulando estes nas raízes e na parte aérea dos vegetais. Fatores como o grau de contaminação solo, biodisponibilidade do contaminante, capacidade de acumulação das plantas e sua produção de biomassa são de fundamental importância para um resultado satisfatório dessa técnica. A vantagem dessa técnica é o fato de poder ser utilizada em grandes áreas apresentando custo reduzido, além de ser uma técnica conservacionista, sem custo energético (ASSIS et al., 2010).

Há aproximadamente 400 espécies eficientes na hiperacumulação de diversos metais. São consideradas plantas hiperacumuladoras aquelas capazes de acumular ou tolerar altíssimas concentrações de metais como: > 10.000 mg kg<sup>-1</sup> de Zinco (Zn) e Magnésio (Mn); > 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de Chumbo (Pb), Níquel (Ni) e Cobre (Cu); > 100 mg kg<sup>-1</sup> de Cádmio (Cd). De acordo com Zeitouni, Berton e Abreu (2007), testando a capacidade de plantas de mamona, girassol, pimenta da Amazônia e tabaco em extrair Cd e Zn de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, em Campinas, o estudo demonstrou que a planta mais eficiente em extrair esses metais do solo foi o tabaco (*Nicotiana tabacum*). Gabos et al. (2011), avaliaram o desempenho do girassol (*Helianthus annuus*) em remediadora de áreas contaminadas com metais pesados (Cu e Zn) e boro (B). O estudo foi conduzido em Campinas, em clima mesotérmico, e evidenciou que o girassol apresenta potencial para ser cultivado na área contaminada com resíduo metálico, podendo ser considerado uma espécie fitoextratora de boro presente em excesso em Neossolo Litólico Chernossólico fragmentário, textura média e imperfeitamente drenado.

#### b. Fitotransformação

A técnica da fitotransformação baseia-se na capacidade algumas espécies de plantas apresentam de metabolizar determinados compostos tóxicos tornando-os não tóxicos ou menos tóxicos. Essa capacidade está relacionada ao fato de que os compostos orgânicos podem ser translocados para outros tecidos da planta, e então volatilizados, podendo sofrer degradação parcial ou completa em compostos menos tóxicos, combinados e/ou ligados a tecidos das plantas (PIRES et al., 2003).

Belo et al. (2011), ao avaliar a eficiência de espécies *Helianthus annuus*, *Canavalia ensiformis*, *Dolichos lab lab* e *Arachis hypogaea* na remediação em Argissolo Vermelho-Amarelo contaminado com o herbicida sulfentrazone. Concluíram que todas as espécies cultivadas são tolerantes ao sulfentrazone e apresentam potencial de remediação de solo contaminado, porém os autores destacaram que a espécie *Helianthus annuus* apresenta melhor capacidade de remediação de solo contaminado com esse herbicida.

De acordo com Procópio et al. (2005), que utilizaram espécies *Calopogonium mucunoides*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis*, *Vicia sativa*, *Cajanus cajan*, *Canavalia ensiformis*, *Medicago sativa*, *Dolichus lab lab*, *Penisetum glaucum*, *Stylosantes guianensis*, *Mucuna deeringiana*, *Mucuna cinereum*, *Mucuna aterrima*, *Raphanus sativus* e *Lupinus albus* para testar a eficiência dessas espécies na remediação em Argissolo Vermelho-Amarelo com a presença do herbicida trifloxysulfuron-sodium. A Melhor eficiência na descontaminação do trifloxysulfuron-sodium em solo foi obtida pelas espécies M.

aterrima e *C. ensiformis*.

Resultados semelhantes a esses foram relatados por Santos et al. (2006), ao trabalhar com a espécie de feijão de porco (*Canavalia ensiformis*) utilizada como adubo verde, os resultados indicaram uma boa eficiência da espécie na remediação de Argissolo Vermelho-Amarelo, de textura argilo-arenosa, contaminados com o herbicida trifloxysulfuron-sodium em Coimbra, Minas Gerais.

### c. Fitoestimulação

Essa técnica estimula à atividade microbiana que atua na degradação do composto contaminante no solo, utilizando plantas que aumentam atividade microbiana e com ela a de compostos danosos ao solo (SANTOS et al., 2007). A interação entre raiz e solo promove a proliferação da comunidade microbiana na região da rizosfera, pela exsudação de nutrientes aminoácidos e polissacarídeos da planta. Para a obtenção de bons resultados ao utilizar essa técnica inicialmente é preciso identificar qual espécie apresenta melhor capacidade de promover a proliferação microbiana. À exemplo tem-se a espécie de *S. aterrimum* que apresentou uma boa capacidade de descontaminação de solo contaminado com herbicidas (SANTOS et al., 2007).

Pires et al. (2005), avaliaram a atividade rizosférica de quatro espécies vegetais com potencial para fitorremediação de tebutiuron analisaram o solo rizosférico de feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), milheto (*Pennisetum glaucum*), mucuna-anã (*Stizolobium deeringianum*) e mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*), os autores verificaram que o solo rizosférico de feijão de porco apresentou maior taxa de evolução de CO<sub>2</sub> em função a microbiota associada às raízes da planta possa, além de tolerar o tebutiuron, utilizá-lo como substrato para seu metabolismo.

### d. Fitoestabilização

Na fitoestabilização ocorre uma imobilização dos contaminantes presentes no solo, sendo considerada uma técnica para reduzir a erosão e dispersão de contaminantes no ambiente (SANTOS et al., 2007). Conforme Souza et al. (2011) ao estudar o potencial de plantas de mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*) em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa, em Campinas, com concentrações crescentes de Pb, afirmam que a planta possui boa tolerância ao Pb e pode ser indicada como fitoestabilizadora de solos contaminados com este elemento.

Alvarenga et al. (2011) avaliaram capacidade da espécie *Lolium perene* L. na fitoestabilização de solos provenientes da Mina de Aljustrel, situada na Faixa Piritosa Ibérica degradados por atividades mineração, obtiveram acúmulo de Cu e Pb no azevém perene considerando uma espécie fitoestabilizadora. Pereira et al. (2012) estudaram o potencial das espécies arbóreas *Cordia africana* Lam., *Mimosa caesalpineafolia* Benth., *Acacia angustissima* (Mill.) Ktze. e *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan na fitoestabilização de metais pesados presentes em um substrato contaminado em Itaguaí, Rio de Janeiro. Os resultados indicaram que as espécies arbóreas estudadas apresentaram tolerância a áreas contaminadas com Cd, que se acumulou em maior quantidade nas raízes das plantas.

Magalhães et al. (2011) conduziram experimento com o objetivo de avaliar o potencial das espécies *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus saligna* em conjunto com resíduos siderúrgicos na fitoestabilização de solo contaminado com zinco, coletado em área de minério do Porto de Itaguaí e em local de disposição de resíduo perigoso da Cia Mercantil e Industrial Ingá em Itaguaí-RJ. *Eucalyptus saligna* apresentou maior acúmulo total de zinco e a biodisponibilidade de zinco no solo foi diminuída.

## CONCLUSÃO

A contaminação do solo é um crescente problema ambiental que tem como consequência a degradação dos diversos compartimentos ambientais, que são interdependentes, além da possibilidade de acarretar prejuízos para a saúde humana. O solo é um sistema altamente dinâmico e complexo, sendo assim, o sucesso de sua descontaminação depende da escolha da técnica, caracterização do solo e do contaminante. A biorremediação e a fitorremediação são alternativas de descontaminação que usam, para tal fim, processos biológicos.

São vários os mecanismos de descontaminação englobados por estas duas técnicas. Dentro da biorremediação é possível destacar a biorremediação passiva, bioestimulação, bioaumentação, air sparging, bioventilação, landfarming, biorreatores e compostagem. A fitorremediação, por sua vez, compreende a fitoextração, fitotransformação, fitoestimulação e fitoestabilização.

Ambas têm sido estudadas nas condições brasileiras e tem mostrado grande potencial, visto que o Brasil é um país com enorme diversidade, o que amplia as possibilidades de utilização das mesmas.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, M. Z. M. **A biorremediação como ferramenta para a minimização de problemas ambientais**. 2003, 56f. Monografia (Especialização em Gerenciamento Ambiental). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba.
- ALVARENGA, P. et al. Utilização de *Lolium perenne* L. na fitoestabilização controlada de solos degradados por atividades mineiras. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 34, n. 2, p. 117-130, 2011.
- ANDRADE, J. A.; AUGUSTO, F.; JARDIM, I. C. S. F. Biorremediação de solos contaminados por Petróleo e seus derivados. **Eclética Química**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 17-43, 2010.
- ASSIS, R. L. et al. Fitorremediação de solo contaminado com o herbicida picloram por plantas de capim pé de galinha gigante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas Grande, v. 14, n. 11 p. 1131-1135, 2010.
- BAMFORTH, S. M.; SINGLETON, I. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons: current knowledge and future directions. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 80, n. 7, p. 723-736, 2005.
- BAPTISTA, S. J.; CAMMAROTA, M. C.; FREIRE, D. D. C. Avaliação da bioestimulação em solos argilosos contaminados com petróleo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS, 2. 2003, Rio de Janeiro **Anais**... Rio de Janeiro: UFRJ, 2003.
- BELO, A. F. et al. Potencial de espécies vegetais na remediação de solo contaminado com sulfentrazone. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 821-828, 2011.
- BENTO, F. M. et al. Bioremediation approaches for soil contaminated with diesel oil. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo v. 34, n. 1, p. 65-68, 2003.
- BHUPATHIRAJU, V. K. et al. Assessment of in-situ bioremediation at a refinery waste contaminated site and an aviation gasoline contaminated site. **Biodegradation**, Estados Unidos, v. 13, n. 2, p. 79-90, 2002.
- BURATINI, S. V. Biodegradação. In. ZAGATTO, P.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia aquática, princípios e aplicações**. 2 ed. São Carlos: RiMa, p. 89-116, 2008.



- CERQUEIRA, V. S.; COSTA, J. A. V. Biodegradação de tolueno e óleo de peixe em solos impactados utilizando surfactantes químico e biológico. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 394-400, 2009.
- COLLA, L. M. et al. Isolamento e seleção de fungos para Biorremediação a partir de solo contaminado com herbicidas Triazínicos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 809-313, 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. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, vol. 14, n. 2, p. 265-274, 2009.
- COSTA, S. T. E. et al. Subproduto da indústria de alumínio como amenizante de solos contaminados com cádmio e chumbo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2533-2546, 2008.
- COUTINHO, H. D; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: considerações gerais e características de utilização. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 15, n. 1, p. 103-117, 2007.
- FERREIRA, I. D.; MORITA, D. M. Biorremediação de solos contaminado por isobutanol, Bis-2-etil-hexilftalato e Di-isodeciltalato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 643-652, 2012.
- GABOS, M. B.; et al. Uso da matéria orgânica como mitigadora de solo multicontaminado e do girassol como fitoextratora. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campinas Grande, v. 15, n. 12, p. 1298-1306, 2011.
- GAYLARD, C. C. Aspectos biológicos e técnicas da biorremediação de xenobióticos. **Biociência & Desenvolvimento**, Brasília, v. 1, n. 34, p. 36-43, 2005.
- HUANG, X. D. et al. A multi-process phytoremediation system for decontamination of persistent total petroleum hydrocarbons (TPHs) from soils. **Microchemical Journal**, v. 81, n. 1, p. 139-147, 2005.
- HUESEMANN, M. H.; HAUSMANN, T. S.; FORTMAN, T. J. Microbial factors rather than bioavailability limit the rate and extent of PAH biodegradation in aged crude oil contaminated model soils. **Bioremediation Journal**, v. 6, n. 4, p. 321-336, 2002.
- JACQUES, R. J. S. et al. O. Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1192-1201, 2007.
- MAGALHÃES, M. O. L. et al. Potencial de duas espécies de eucalipto na fitoestabilização de solo contaminado com zinco. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 805-812, 2011.
- MAILA, M. P.; CLOETE, T. E. Bioremediation of petroleum hydrocarbons through landfarming: Are simplicity and cost – effectiveness the only advantages? **Reviews in Environmental Science & Bio/Technology**, v. 3, n. 4, p. 349-360, 2004.
- MARIANO, A. P. et al. Laboratory study on the biorremediation of diesel oil contaminated soil from a petrol station. **Brazilian Journal of Microbiology**. São Paulo, v. 38, n. 2, p. 346-353, 2007.
- MARIANO, A. P.; ANGELIS, D. F.; BONOTTO, D. M. Monitoramento de indicadores geoquímicos e avaliação de biodegradação em área contaminada com óleo diesel. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 296-304, 2007.
- MARQUES, M.; AGUIAR, C. R. C.; SILVA, J. J. L. S. Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 643-652, 2011.

PAUDYN, K. et al. Remediation of hydrocarbon contaminated soils in the Canadian Arctic by landfarming. **Cold Regions Science and Technology**, v. 53, n. 1, p. 102-114, 2008.

PEREIRA, A. C. C. et al. Concentração de metais pesados em espécies arbóreas utilizadas para revegetação de área contaminada. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 4, p. 641-647, 2012.

PEREIRA, A. R. B.; FREITAS, D. A. F. Uso de microorganismos para a biorremediação de ambientes impactados. **Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental**, Santa Maria, v. 6, n. 6, p. 975-1006, 2012.

PIRES, F. R. et al. Inferências sobre atividade rizosférica de espécies com potencial para fitorremediação do herbicida tebuthiuron. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 627-634, 2005.

PIRES, F. R.; SOUZA, C. M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; FERREIRA, L.R. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 335-341, 2003.

PROCÓPIO, S. O. et al. A. Potencial de espécies vegetais para a remediação do herbicida trifloxysulfuron-sodium. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 9-16, 2005.

REGINATTO, C. et al. Biorremediação de um solo Argiloso contaminado com uma mistura de diesel e biodiesel através da Bioventilação. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Paraná, v. 14, n. 1, p. 43-58, 2012.

SANTOS, F. S. et al. Chemical amendment and phytostabilization of an industrial residue contaminated with Zn and Cd. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 5, p. 506-512, 2007.

SANTOS, J. B. et al. Fitorremediação de solos contaminado com trifloxysulfuron-sodium por diferentes densidades populacionais de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L). DC.). **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 444-449, 2006.

SANTOS, R. M. et al. Remediação de solo contaminado por petróleo em biopilhas – escala piloto. In: 4º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás, 2007, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: Centro de tecnologia mineral CETEM, 2007.

SCHMIDELL, W.; FACCIOTTI, M. C. R. Biorreatores e Processos Fermentativos. Cap. 8 In SCHMIDELL, W.; LIMA, U.; A AQUARONE, E.; BORZANI, **Engenharia Bioquímica (Biotecnologia Industrial)**, Ed. Edgard Blucher Ltda, v. 2, São Paulo, 2001.

SOUZA, L. A. et al. Tolerância e potencial fitorremediador de *Stizolobium aterrimum* associada ao fungo micorrízico arbuscular *Glomus etunicatum* em solo contaminado por chumbo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 1441-1451, 2011.

TAVARES, S. **Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos**. Tese (Programa de Engenharia Civil). Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2009. 415f.

TORTORA, G. J. et al. **Microbiologia**. 8. ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2005.

WEBER, B. D.; SANTOS, A. A. Utilização da Biorremediação como ferramenta para o controle da degradação ambiental causada pelo petróleo e seus derivados. **Engenharia ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 10, n. 1, p. 114-133, 2013.

ZEITOUNI, C. F.; BERTON, R. S.; ABREU, C. A. Fitoextração de cádmio e zinco de um Latossolo Vermelho-Amarelo contaminado com metais pesados. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 649-657, 2007.