

ASPECTOS AGRONÔMICOS, USO PELO HOMEM E MECANISMOS DA FITORREMEDIAÇÃO: UMA REVISÃO

Daiane de Cinque Mariano*
Ricardo Shigueru Okumura**

RESUMO: O termo fitorremediação engloba todos os processos envolvidos na remediação de solos, sedimentos e sistemas de aquíferos contaminados por meio da seleção e utilização de plantas, microrganismos associados e respectivas enzimas, assim como a aplicação de técnicas agronômicas para degradar, reter, imobilizar ou reduzir a níveis não tóxicos os contaminantes ambientais. O sucesso do tratamento com a técnica de fitorremediação vai além do baixo custo, existindo diversas possibilidades de reciclagem da biomassa produzida que pode ser utilizada como fertilizante, ração animal, geração de energia, fabricação de papel, extração de proteínas para uso em rações, extração de substâncias quimicamente ativas de suas raízes para uso como estimulante de crescimento de plantas. A fitorremediação pode ser classificada dependendo da técnica empregada, da natureza química ou da propriedade do poluente, podendo remediar por meio da fitoextração, fitoestabilização, fitoestimulação, fitovolatilização e fitodegradação. Este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão sobre aspectos da fitorremediação pelas plantas, dando enfoque às características das plantas fitorremediadoras, benefícios e aplicações da utilização da técnica e os mecanismos da fitorremediação.

PALAVRAS-CHAVE: Biorremediação; Descontaminação Ambiental; Elementos Tóxicos.

REVIEW OF THE AGRONOMIC ASPECTS, USAGE BY POPULATION AND MECHANISMS OF PHYTOREMEDIATION

* Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá – UEM; Doutoranda em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá - UEM; Docente na Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT; E-mail: daianedecinque@gmail.com

** Mestre em Agronomia pela Universidade Estadual de Londrina – UEL; Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá – UEM; Docente interino na Universidade do Estado do Mato Grosso – UNEMAT; E-mail: ricardo_okumura@hotmail.com

ABSTRACT: The term phytoremediation comprises all processes involved in the remediation of contaminated soils, sediments and aquifer systems by the selection and usage of plants, microorganisms and enzymes and the application of agronomic techniques to degrade, retain, immobilize or reduce contaminated environments to non-toxic levels. Treatment by phytoremediation technique is not based on low costs. Many different types of biomass recycling may be used as fertilizers, animal meal, energy generator, fabrication of paper, protein extraction for diets, extraction of chemically active compounds for use as plant growth stimulant. Phytoremediation may be classified according to the technique employed, to the type of chemical or pollutant. Solutions may be undertaken by phytoextraction, phytostabilization, phytostimulation, phytovolatilization and phytodegradation. Current research reviews aspects of phytoremediation by plants with special focus on the characteristics of phytoremediating plants, improvements and applications of the technique and of phytoremediation mechanisms.

KEYWORDS: Bio-correction; Environmental de-contamination; Toxic Sources.

INTRODUÇÃO

A recuperação de áreas contaminadas, pelas atividades humanas, pode ser realizada por métodos, como a escavação, incineração, extração com solvente e oxirredução (GILMORE, 2001). Alguns destes processos deslocam a matéria contaminada para local distante, causando riscos de contaminação secundária e aumentando ainda mais os custos com tratamento.

Por isso, em anos recentes passou-se a dar preferência por métodos *in situ* que perturbam menos o ambiente e são mais econômicos (COUTINHO; BARBOSA, 2007). Temos como exemplos de técnicas *in situ* a biodegradação, lavagem (geralmente utilizando surfactantes), vitrificação (solidificação do contaminante através de corrente elétrica), isolamento ou contenção pela instalação de barreiras subterrâneas (GILMORE, 2001) e a fitorremediação.

De maneira geral, o termo fitorremediação engloba todos os processos envolvidos na remediação de solos, sedimentos e sistemas de aquíferos contaminados por meio da seleção e utilização de espécies vegetais (PIRES et al., 2003a, 2003b; SULMON et al., 2007).

A concentração do poluente e a presença de toxinas devem estar dentro dos limites de tolerância da planta utilizada para não comprometer o tratamento. Riscos como a possibilidade dos vegetais entrarem na cadeia alimentar, devem ser considerados quando empregar esta tecnologia.

As substâncias alvos da fitorremediação incluem metais (chumbo, zinco, cobre, níquel, mercúrio e selênio) compostos inorgânicos (nitrato e amônio), elementos químicos radioativos (urânio, céσιο e estrôncio), hidrocarbonetos derivados de petróleo (BTEX), pesticidas e herbicidas (atrazine, bentazona, compostos clorados e nitroaromáticos), explosivos (TNT, DNT), solventes clorados (TCE, PCE) e resíduos orgânicos industriais (PCPs, PAHs) (PILON-SMITS, 2005).

Este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão sobre aspectos da fitorremediação pelas plantas, dando enfoque as características das plantas fitorremediadoras, benefícios e aplicações da utilização da técnica e os mecanismos da fitorremediação.

2 CONCEITO

A fitorremediação é uma estratégia de biorremediação que consiste no uso de plantas, microrganismos associados e respectivas enzimas (PIRES et al., 2003a, 2003b), assim como a aplicação de técnicas agrônômicas para degradar, reter, imobilizar ou reduzir à níveis não tóxicos os contaminantes ambientais através de processos que visam recuperar a matriz do solo ou da água subterrânea e estabilizar o contaminante (CUNNINGHAM et al., 1996; ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000).

É uma tecnologia que vem despertando cada vez maior atenção, uma vez que a biomassa vegetal representa 99% da massa viva do planeta, é natural que as plantas estejam envolvidas em numerosos processos que têm relação íntima com o destino de resíduos químicos despejados no ambiente (MORENO; CORSEUIL, 2001).

A ação sobre os compostos poluentes pode ser direta da planta

com remoção ou captura dos contaminantes seguidos de degradação dentro da planta ou fora da planta, onde as raízes podem liberar compostos que estimulem a atividade microbiana na rizosfera (CARMAN; CROSSMAN; GATLIFF, 1998).

Esta prática é utilizada com frequência quando o contaminante do solo trata-se de metal pesado ou diversos poluentes orgânicos (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000), porém pode ser empregada em solo sódico ou salino-sódico, onde o contaminante é o sal e/ou o sódio (QADIR; QURESHI; AHMAD, 1998).

Qadir, Ghafoor e Murtaza (2001) afirmam que a fitorremediação é uma estratégia eficiente de recuperação de solos salino-sódicos, com performance comparável à utilização de amenizantes químicos. Esses autores avaliando a fitorremediação de solos salino-sódicos concluíram que esta possui efeitos de recuperação comparáveis à aplicação de gesso, esterco de curral ou água de irrigação tratada com ácido sulfúrico.

3 CARACTERÍSTICAS DAS PLANTAS FITORREMEIADORAS

Antes da implantação das diversas técnicas de fitorremediação é fundamental que se conheçam as características físico-químicas do solo e dos contaminantes, bem como sua distribuição na área impactada (PROVIDENTI; LEE; TREVORS, 1993).

É necessário que as plantas com potencial para fitorremediação possuam algumas características que devam ser usadas como indicativos para seleção. Com base nas análises apresentadas por diversos autores (CUNNINGHAM et al., 1996; ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000; VOSE et al., 2000; PIRES et al., 2003a, 2003b), essas características devem ser:

- Capacidade de absorção, concentração e/ou metabolização e tolerância ao contaminante.
- Retenção do contaminante nas raízes (no caso da fitoestabilização,

como oposto à transferência para a parte aérea, evitando sua manipulação e disposição).

- Sistema radicular profundo e denso.
- Alta taxa de crescimento e produção de biomassa.
- Capacidade transpiratória elevada, especialmente em árvores e plantas perenes.
- Fácil colheita, quando necessária à remoção da planta da área contaminada.
- Elevada taxa de exsudação radicular.
- Resistência a pragas e doenças.
- Fácil aquisição ou multiplicação de propágulos.
- Fácil controle ou erradicação.
- Capacidade de desenvolver-se bem em ambientes diversos.
- Ocorrência natural em áreas poluídas, importante na identificação, porém não é pré-requisito.

Deve-se levar em consideração também quais as espécies com potencial fitorremediador com base nas concentrações do contaminante que as mesmas são capazes de tolerar ainda assim, germinar e/ou produzir biomassa (MARQUES et al., 2006; ROSA, 2006). Isso porque nem todas as plantas apresentam a mesma tolerância a contaminantes específicos, por isso selecionam-se aquela(s) com maior tolerância(s) a concentrações mais altas.

Diversas espécies de plantas mostram-se promissoras como agentes para fitorremediação, as quais incluem: gramíneas, leguminosas, hortaliças, árvores e diversas outras monocotiledôneas e dicotiledôneas (CUNNINGHAM et al., 1996; SCHNOOR, et al., 1995; MERKL; SCHULTZE-KRAFT; INFANTE, 2004). Cabe ressaltar que gramíneas não tendem a acumular poluentes inorgânicos em sua parte aérea como à maioria das dicotiledôneas reduzindo assim o risco de exposição da vida selvagem a elementos tóxicos (DAWSON; EHLERINGER, 1991; McCUTCHEON; SCHNOOR, 2003).

4 BENEFÍCIOS E PERSPECTIVA NO USO DA FITORREMEDIAÇÃO

A fitorremediação apresenta elevado potencial de utilização, devido às vantagens que apresenta em relação às outras técnicas de remediação de contaminantes do solo. Com base nos relatos de Cunningham et al. (1996), essas vantagens são:

- Custo inferior em relação às técnicas tradicionalmente utilizadas envolvendo a remoção do solo.
- Compostos orgânicos podem ser degradados a CO₂ e H₂O, removendo toda a fonte de contaminação, não havendo a necessidade de retirada das plantas fitorremediadoras da área contaminada (não é válida para metais pesados).
- Plantas são mais fáceis de ser monitoradas do que, por exemplo, microrganismos.
- Propriedades biológicas e físicas do solo são mantidas e, não raro, até melhoradas.
- Incorporação de matéria orgânica ao solo quando não há necessidade de retirada das plantas fitorremediadoras da área contaminada.
- Fixação de nitrogênio atmosférico (no caso de leguminosas).
- Plantas auxiliando no controle da erosão, de processos eólico e hídrico, evitando assim, o carreamento de contaminantes com a água e com o solo e, por conseguinte, reduzem a possibilidade de contaminação de lagos e rios.
- Considera-se, também, que a planta reduz o movimento descendente de água contaminada de camadas superficiais do solo para o lençol freático.
- Plantas são mais favoráveis, esteticamente, do que qualquer outra técnica de biorremediação e podem ser implementadas com mínimo distúrbio ambiental, evitando escavações e tráfego pesado.
- Utilização de energia solar para realização do processo.

- Tem alta probabilidade de aceitação pública.

Na década de 90 surgiram nos EUA e Europa inúmeras companhias que exploram a fitorremediação para fins lucrativos, como a norte americana Phytotech® e a alemã BioPlanta®, e indústrias multinacionais, como Union Carbide, ® Monsanto® e Rhone-Poulanc®, que empregam fitorremediação em seus próprios locais contaminados (GLASS, 1998).

O sucesso do tratamento com a técnica de fitorremediação vai além do baixo custo. Existem diversas possibilidades de reciclagem da biomassa produzida que pode ser utilizada como fertilizante, ração animal, geração de energia (biogás ou queima direta), fabricação de papel, extração de proteínas pra uso em rações, extração de substâncias quimicamente ativas de suas raízes para uso como estimulante de crescimento de plantas (GLASS, 1998).

5 MECANISMOS DA FITORREMEDIAÇÃO

A fitorremediação pode ser classificada dependendo da técnica a ser empregada, da natureza química ou da propriedade do poluente. Segundo McCutcheon e Schonoor (2003) e Pilon-Smits (2005), as plantas podem remediar poluentes por meio da fitoextração, fitoestabilização, fitoestimulação, fitovolatilização e fitodegração.

5.1 FITOEXTRAÇÃO

Envolve a absorção dos contaminantes pelas raízes, os quais são nelas armazenados ou transportados e acumulados nas partes aéreas (SUSARLA; MEDINA; McCUTCHEON, 2002). Os contaminantes são geralmente removidos através da colheita do vegetal (LAMEGO; VIDAL, 2007). Tal processo de concentração leva a uma redução da massa contaminada a ser disposta.

Esta técnica utiliza plantas chamadas hiperacumuladoras, que têm a capacidade de armazenar altas concentrações de metais específicos (0,1% a 1%

do peso seco, dependendo do metal). De acordo com Lamego e Vidal (2007) e McGrath (1998) é aplicada principalmente como plantas acumuladoras de arsênio, cobalto, cobre, manganês, níquel, chumbo, selênio e zinco.

As espécies de *Brassica juncea*, *Aeolanthus biformifolius*, *Abyssum bertolonii*, *Pteris vittata* e *Thlaspi caerulescens* são exemplos de plantas acumuladoras (McGRATH, 1998; MA et al., 2001; CHANG et al., 2005).

5.2 FITOESTABILIZAÇÃO

A fitoestabilização pode ser definida como o uso de plantas e sistemas de raízes para prevenir a migração de contaminantes através do vento, da erosão hídrica, da lixiviação e da dispersão no solo (PILON-SMITS, 2005; ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007). Ela compreende a imobilização de um contaminante no solo através da absorção e acúmulo pelas raízes, adsorção pela matéria orgânica do solo (materiais húmicos), ou precipitação próximo à zona radicular do vegetal, e ocorre através das zonas microbiológicas e reações químicas nas raízes, e/ou por alterações no ambiente do solo ou por contaminantes químicos (SCHNOOR, 1997; SANTOS et al., 2006).

A fitoestabilização é especialmente aplicável em locais contaminados com metais pesados, como o chumbo, o cádmio, o zinco e o arsênio, onde a melhor alternativa é frequentemente, manter o contaminante no local. A captação de metais *in situ* é, muitas vezes, considerada a melhor alternativa para locais com baixos níveis de contaminação (abaixo dos limites de risco) ou para recuperar áreas contaminadas através de uma ação de remoção em larga escala ou ainda quando a remediação *in situ* não é viável (OLIVEIRA et al., 2006).

O solo pode ser afetado pelo vegetal de forma a ocorrer à conversão de metais da forma solúvel para um estado de oxidação insolúvel (RASKIN; SMITH; SALT, 1997). A fitoestabilização pode ocorrer através da adsorção, precipitação, formação de complexos ou redução de valência.

Os contaminantes orgânicos ou inorgânicos são incorporados à lignina da parede vegetal ou ao húmus do solo precipitando os metais sob formas

insolúveis, sendo posteriormente aprisionados na matriz (CUNNINGHAM et al., 1996). Exemplos de plantas cultivadas com este fim são os gêneros de *Haumaniastrum*, *Eragrostis*, *Ascolepis*, *Gladiolus* e *Alyssum* (DINARDI et al., 2003; PILON-SMITS, 2005).

5.3 FITOESTIMULAÇÃO

O estímulo à atividade microbiana, promovido pela liberação de aminoácidos e polissacarídeos que atuam na degradação de compostos no solo, caracteriza em algumas plantas a aptidão rizosférica para a biorremediação (OLIVEIRA et al., 2006).

A rizosfera é um habitat extremamente mutável, onde a planta pode modificar as características químicas do solo nas proximidades de suas raízes, através de fragmentos da superfície dessas raízes e dos exsudados solúveis, enriquecendo o solo com compostos orgânicos. O consumo de O₂ e a liberação de CO₂ modificam a atmosfera radicular, a absorção seletiva de íons nutritivos, a redução da concentração de sais, o consumo de H₂O, a diminuição da umidade, que são fatores que também modificam a estrutura do solo (ALWEY; CROWLEY, 1996).

As raízes em crescimento (extremidades e ramificações laterais) destas plantas promovem a proliferação de microrganismos degradativos na rizosfera, que usam os metabólitos exsudados da planta como fonte de carbono e energia (POMPÊO, 1996). A degradação que ocorre fora do vegetal, devido à liberação de compostos (por exemplo, enzimas produzidas pelos vegetais) que causam a transformação ou ainda a quebra do contaminante externamente ao vegetal é denominada rizodegradação.

A aplicação da fitoestimulação tem sido útil para a limpeza de ambientes contaminados por compostos orgânicos hidrofóbicos (BROOKS, 1998; KAIMI et al., 2006). Embora sejam mais adequadas para contaminantes orgânicos ou organometálicos, elas também podem promover a transformação de metais (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

A biorremediação aeróbia na região da rizosfera se mostra eficiente no ataque a substâncias químicas aromáticas hidrofóbicas como PHAs, BTEX e fenólicos, em locais onde a contaminação não é profunda (SCHNOOR, 1997). Para a realização adequada desta técnica, é fundamental a identificação de espécies de plantas que estimulem a atividade e o crescimento microbiano na rizosfera, o que resulta no aumento da taxa de degradação dos contaminantes (BOVEY; MEYER; HEIN, 1982).

Determinadas plantas estimulam a mineralização dos contaminantes, dentre essas se podem citar o *Stizolobium aterrimum* e *Canavalia ensiformis* (SANTOS et al., 2004, 2006).

5.4 FITOVOLATILIZAÇÃO

Fitovolatilização é a absorção e a transpiração de um contaminante pelo vegetal, com liberação do contaminante na forma original ou modificada para a atmosfera (LAMEGO; VIDAL, 2007). 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. Assim, dependendo da atuação ou não dos processos metabólicos, a liberação do contaminante para a atmosfera pode ocorrer de forma original ou transformada (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

Alguns íons de elementos dos subgrupos II, V e VI da tabela periódica, mais especificamente, mercúrio, selênio e arsênio são absorvidos pelas raízes, convertidos em formas não tóxicas e depois liberados para a atmosfera (LAMEGO; VIDAL, 2007). O poluente tóxico emitido na atmosfera poderia ser considerado fator de risco para nova fonte de poluição, no entanto, em estudos realizados por Li et al. (2003) verificaram-se que o selênio e mercúrio não demonstraram riscos para o ambiente de acordo com os níveis dos gases fitovolatilizados.

As espécies que podem ser utilizadas na fitovolatilização são: *Populus sp.*,

Medicago sativa, *Brassica juncea*, *Brassica napus*, *Hibiscus cannabinus*, *Festuca arundinacea* e *Arabidopsis thaliana* (PILON-SMITS, 2005).

5.5 FITODEGRADAÇÃO

A fitodegradação baseia-se na quebra do contaminante absorvido pelo vegetal através de processos metabólicos no corpo do mesmo (LAMEGO; VIDAL, 2007). Na fitodegradação, o poluente sofre bioconversão no interior das plantas ou em sua superfície, passando a formas menos tóxicas (catabolismo ou anabolismo). É empregada principalmente na remoção de contaminantes orgânicos (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

Os contaminantes orgânicos são degradados ou mineralizados dentro das células vegetais por enzimas específicas (DINARDI et al., 2003), destacando-se as nitroreduases, desalogenases e lacases (CUNNINGHAM et al., 1996).

Cabe salientar que a absorção de componentes orgânicos irá depender também do tipo de planta, idade do contaminante e de muitas outras características do solo (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

A fitodegradação é ideal para poluentes orgânicos que são móveis em plantas, como herbicidas, trinitrotolueno e TCE e compreende a ação de complexos enzimáticos presentes nas plantas, tais como glutatona e citocromo P-450 monoxigenases (LAMEGO; VIDAL, 2007).

Populus sp e *Myriophyllum spicatum* são exemplos de plantas que possuem tais sistemas enzimáticos (GLASS, 1998). Plantas aquáticas (*Myriophyllum aquaticum* e *Nitella* sp) têm sido utilizadas para degradação de TNT. Outras espécies utilizadas para fins de fitodegradação são *Populus deltóides*, *Populus nigra*, *Liriodendron tulip ifera*, *Taxodium distichum*, *Betula nigra*, *Quercus falcata* e *Quercus virginiana* (CUNNINGHAM et al., 1996).

6 APLICAÇÕES DA FITORREMEDIAÇÃO

6.1 UTILIZAÇÃO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA

A utilização de plantas aquáticas como “agente purificador” em hidroponia justifica-se pela sua intensa absorção de nutrientes e pelo seu rápido crescimento, como também por oferecer facilidades de sua retirada das lagoas e ainda pelas amplas possibilidades de aproveitamento da biomassa escolhida (GRANATO, 1995, p. 1). Além disso, podem ser cultivadas plantas visando à produção de alimentos que podem ser aproveitados tanto por animais como pelo próprio homem (BRANCO; BERNARDES, 1983).

Plantas aquáticas, hidrófitas, como as macrófitas providas de rizomas têm sido utilizadas visando à melhoria da qualidade de efluentes e no tratamento de águas residuais, principalmente no que diz respeito à redução das concentrações de nitrogênio e fósforo.

6.2 UTILIZAÇÃO PARA TRATAMENTO DE CHORUME

O chorume é o nome dado ao líquido escuro e turvo proveniente do armazenamento e repouso do lixo (MORAES; SIRTORI; PERALTA-ZAMORA, 2006). Resultado da passagem da água através dos resíduos em processo de decomposição que arrasta todo tipo de material sendo um dos mais sérios problemas ambientais dos aterros sanitários.

O chorume pode ser tratado por processo de fitorremediação tanto na sua parte líquida, através do aguapé, quanto por meio da irrigação, empregando fitotratamento com tubérculos (beterraba, cenoura e rabanete) e espécies folhosas (alface) (HAAG; MINAMI, 1988).

Para crescer, as plantas necessitam de 16 elementos químicos considerados essenciais e de outros que, embora não essenciais, têm efeitos positivos sobre o desenvolvimento dos vegetais (MALAVOLTA, 2006). Dos 16 elementos químicos, os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e os micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, B e Cl) são retirados do solo; o C, o H e o O são retirados do ar na forma de gás carbônico e água. Estes nutrientes podem ser encontrados em grandes concentrações no chorume. O Co, o Ni, o Si, o V e o Cd são considerados benéficos ao crescimento das plantas e também podem ser encontrado no

chorume (CHRISTENSEN et al., 2001).

A remoção dos metais pesados pode ser eficientemente realizada através da fitorremediação. Após a saturação, os metais podem ser recuperados na biomassa regenerada.

6.3 UTILIZAÇÃO PARA TRATAMENTO DO SOLO

A fitorremediação do solo é caracterizada não somente pela redução da contaminação do solo, mas também da água que se acumula nele. Esse processo de remediação começa pelo cultivo de plantas nos locais contaminados, prosseguindo, em alguns casos colheita.

Fitorremediação do solo é um termo em geral usado para designar um conjunto de tecnologias e práticas agronômicas que empregam plantas e microrganismos associados para remediar solos contaminados (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fitorremediação mostra-se como o avanço da biotecnologia para tratamento de solo e água que vem sofrendo agressões antropogênicas. A técnica já sofreu avanços significativos quanto à natureza dos agentes poluidores, surgindo, assim, uma gama de métodos de fitorremediação como demonstrado neste artigo.

Atualmente dá-se preferência às técnicas de descontaminação *in situ* por perturbar menos o meio ambiente, técnicas que são mais econômicas e que apresentam facilidades de aplicação. Estas são as principais vantagens da fitorremediação, além de poder ser aplicada a grandes áreas, pode-se também tratar diversos poluentes orgânicos e inorgânicos.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000, v. 1, p. 299-352.

ALWEY, S.; CROWLEY, D. E. Survival and activity of an atrazine-mineralizing bacterial consortium in rhizosphere soil. **Environment Science Technologic**, v. 30, n. 5, p. 1596-1603, 1996.

ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R. L.; MAHLER, C. F. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2007. 176p.

BOVEY, R. W.; MEYER, R. E.; HEIN, J. R. Soil persistence of Tebuthiuron in the clypan resource area of Texas. **Weed Science**, v. 30, p. 140-144, 1982.

BRANCO, S. M.; BERNARDES, R. S. Culturas hidropônicas como forma de remoção e reciclagem de nutrientes minerais dos efluentes de sistemas de tratamento de esgotos. **Revista DAE**, v. 43, n. 134, p. 113-116, 1983.

BROOKS, R. R. Phytoremediation by volatilisation. In: _____. (Ed), **Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals**, CAB International. Walling-ford, 1998, p. 243-289

CARMAN, E. P.; CROSSMAN, T. L.; GATLIFF, E. G. Phytoremediation of No. 2 fuel oil contaminated soil. **Journal of Soil Contamination**, v. 7, n. 4, p. 455-466, 1998.

CHANG, P. et al.. Uranium accumulation of crop plants enhanced by citric acid. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 27, n. 5-6, p. 529-538, 2005.

CHRISTENSEN, T. H. et al.. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. **Applied Geochemistry**, n. 16, n. 7-8, p. 659-718, 2001.

COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: considerações gerais e características de utilização. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 15, n. 1, p. 103-117, 2007.

CUNNINGHAM, S. D. et al.. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. **Advances in Agronomy**, v. 56, p. 55-114, 1996.

DAWSON, T. E.; EHLERINGER, J. R. Streamside trees do not use stream

water. **Nature**, v. 350, p. 335-337, 1991.

DINARDI, A. L. et al.. **Fitorremediação**. In: FÓRUM DE ESTUDOS CONTÁBEIS, 3, 2003, Rio Claro, SP. **Fórum....**Rio Claro, SP: [s.n.], 2003, p. 1-15

GILMORE, E. A Review of Soil Contamination and Remediation: The Dimensions of the Problem and Implications for Sustainable Development. **Bulletin of Science Technology & Society**, v. 21, n. 5, p. 394-400, oct. 2001.

GLASS, D. J. **The 1998 United States market for phytoremediation**. Glass Associates Inc., Needham, 1998, p. 3-7.

GRANATO, M. **Utilização do aguapé no tratamento de efluentes com cianetos**. Rio de Janeiro, RJ: CETEM/CNPq, 1995. (Série Tecnologia Ambiental, 5), p. 1.

HAAG, H. P.; MINAMI, K. **Nutrição mineral de hortaliças: requerimento de nutrientes pela cultura da beterraba**. 2 ed. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1988. p. 52-70.

KAIMI, E. et al.. Ryegrass enhancement of biodegradation in diesel-contaminated soil. **Environmental and Experimental Botany**, v. 55, n. 1-2, p. 110-119, 2006.

LAMEGO, F. P.; VIDAL, R. A. Fitorremediação: Plantas como agentes de despoluição?. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 17, p. 9-18, 2007.

LI, Y. M. et al. Development of a technology for commercial phytoextraction of nickel: economic and technical considerations. **Plant and Soil**, v. 249, n. 1, p. 107-115, 2003.

MA, L. Q. et al.. A fern that hyperaccumulates arsenic - hardy, versatile, fast-growing plant helps to remove arsenic from contaminated soils. **Nature**, v. 409, n. 6820, p. 579, 2001.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo, SP: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MARQUES, M. et al. Bioremediation of Oil-contaminated Sediments and Screening Procedure to Select Plant Species for Phytoremediation of Oil-contaminated Soils. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS E TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2006, Rio de Janeiro. **Anais....**

Rio de Janeiro, 2006, 8p. CD ROM.

McCUTCHEON, S. C.; SCHNOOR, J. L. Overview of phytotransformation and control of wastes. In: McCUTCHEON, S. C.; SCHNOOR, J. C. (eds). **Phytoremediation: transformation and control of contaminants**. New York: Wiley, 2003. p. 3-58.

McGRATH, S. P. Phytoextraction for soil remediation. In: BROOKS, R. R (Ed.), **Plants that hyperaccumulate heavy metals, CAB International**. Wallingford, USA: [s.n.], 1998. 261p.

MERKL, N.; SCHULTZE-KRAFT, R.; INFANTE, C. Phytoremediation in the tropics – The effect of Crude Oil on the Growth of Tropical Plants. **Bioremediation Journal**, v. 8, n. 3-4, p. 177-184, 2004.

MORAES, J. L.; SIRTORI, C.; PERALTA-ZAMORA, P. G. Tratamento de chorume de aterro sanitário por fotocatalise heterogênea integrada a processo biológico convencional. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 20-23, 2006.

MORENO, F.N.; CORSEUIL, H. X. Fitorremediação de aquíferos contaminados por gasolina. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 6, n. 1/2, p. 62-68, 2001.

OLIVEIRA, D. M. et al.. **Fitorremediação: o estado da arte**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2006. 49p. (Série Tecnologia Ambiental, 39)

PILON-SMITS, E. Phytoremediation. **Annual Review Plant Biology**, v. 56, p. 15-39, 2005.

PIRES, F. R. et al.. Seleção de plantas tolerantes ao Tebuthiuron e com potencial para fitorremediação. **Revista Ceres**, v. 50, n. 291, p. 583-594, 2003a.

PIRES, F. R. et al.. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 335-341, 2003b.

POMPÊO, M. L. M. Culturas hidropônicas, uma alternativa não uma solução. In: SEMINÁRIO REGIONAL DE ECOLOGIA, 8., 1996, São Carlos, SP. **Anais...**, São Carlos, SP, [s.n.], 1996, v. 8, p. 73-80.

PROVIDENTI, M. A.; LEE, H.; TREVORS, O. T. Selected factors limiting the microbial degradation of recalcitrant compounds. **Journal of Industrial Microbiology**, v. 12, p. 379-395, 1993.

QADIR, M.; QURESHI, R. H.; AHMAD, N. Horizontal flushing: a promising

ameliorative technology for hard saline-sodic and sodic soils. **Soil & Tillage Research**, v. 45, n. 1, p. 119-131, 1998.

QADIR, M.; GHAFOOR, A.; MURTAZA, G. Use of saline-sodic waters through phytoremediation of calcareous saline-sodic soils. **Agricultural Water Management**, v. 50, n. 3, p. 197-210, 2001.

RASKIN, I.; SMITH, R. D.; SALT, D. E. Phytoremediation of metals: using plants to remove pollutants from the environment. **Plant Biotechnology**, v. 8, p. 221-226, 1997.

ROSA, G. S. **Avaliação do potencial de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por petróleo**. 2006. 144f. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia, Rio de Janeiro, 2006.

SANTOS, J. B. et al. Fitorremediação do herbicida trifloxysulfuron sodium. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 323-330, 2004.

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

SCHNOOR, J. L. et al. Phytoremediation of organic and nutrient contaminants. **Environmental Science & Technology**, v. 29, n. 7, p. 318-323, 1995.

SCHNOR, J. L. **Phytoremediation technology evaluation report TE – 98 – 01**. Iowa: Gwrtac Ground Water Remediation Technologies Analyses Center, 1997.

SULMON, C. et al. Sucrose amendment enhances phytoaccumulation of the herbicide atrazine in *Arabidopsis thaliana*. **Environmental Pollution**, v. 145, n. 2, p. 507-515, 2007.

SUSARLA, S.; MEDINA, V. F.; McCUTCHEON, S. C. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. **Ecological Engineering**, v. 18, n. 5, p. 647-658, 2002.

VOSE, J. M. et al. Leaf water relations and sapflow in Eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) trees planted for phytoremediation of a groundwater pollutant. **International Journal of Phytoremediation**, v. 2, p. 53-73, 2000.

Recebido em: 09 março 2011.

Aceito em: 02 maio 2012.