

Técnica de biorremediação do solo

Fabíola Tomassoni¹, Reginaldo Ferreira Santos¹, Felipe Samways Santos¹, Marinez Carpinski¹, Lucas da Silveira²

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Programa de Pós Graduação em Energia na Agricultura – Nível Mestrado, Cascavel /PR.

²Faculdade Assis Gurgacz - FAG

Resumo: A necessidade de produção e comercialização de grande volume de alimentos teve como consequência o aumento dos processos agropecuários em escala industrial, fluxos de resíduos, sistemas agrícolas, acidentes diversos com diferentes poluentes, contaminando os solos e as águas. Esses compostos denominados como xenobióticos, ou seja, compostos constituídos por moléculas estranhas ao ambiente natural, ou em concentrações maiores que as encontradas em solos não contaminados, quando aplicados diretamente no solo, podem permanecer no ambiente sem sofrer qualquer alteração. Uma das alternativas para minimizar os problemas causados pela contaminação dessas moléculas é o uso da técnica de biorremediação. O presente estudo teve como objetivo posicionar o Brasil em relação aos recentes resultados sobre biorremediação e seus impactos na agricultura.

Palavras-chave: Xenobióticos, Recuperação de áreas degradadas, Biodegradação.

Abstract: The need for production and sale of large volume of food, resulted in the increase of agricultural processes on an industrial scale, waste streams, agricultural systems, many accidents with different pollutants, contaminating the soil and water. These compounds known as xenobiotics, ie compounds consisting of molecules foreign to the natural environment or at higher concentrations than those found in uncontaminated soil when applied directly to soils can remain in the environment without suffering any change. One alternative to minimize the problems caused by contamination of these molecules is the use of the technique biorremediação. This study aims to perform a literature search based on the data made bioremediation of soils published between the years 2001-2012.

Keywords: Xenobiotics, recovery of degraded areas , Biodegradation.

Introdução

O crescente processo de urbanização da população mundial criou a necessidade de produção e comercialização de grande volume de alimentos para abastecê-la (CORTEZ e ORTIGOZA, 2009). Com isso formaram-se cada vez mais processos agropecuários em escala industrial, fluxos de resíduos, sistemas agrícolas, acidentes diversos com diferentes poluentes, como por exemplo, óleos e derivados de petróleo. Assim como em outras áreas da tecnologia e da ciência nas duas últimas décadas as informações se multiplicaram em termos de

conhecimento, disponibilidade e acessibilidades destes para as tomadas de decisões (RODRIGUES, 2001, p.218).

Existem diversas alternativas para tentar minimizar problemas de contaminação ambiental gerados por esses processos agropecuários, como por exemplo, o uso de técnicas de biorremediação. São processos que empregam organismos vivos e suas enzimas na biodegradação de compostos xenobióticos, ou seja, compostos constituídos por moléculas estranhas ao ambiente natural, ou em concentrações maiores que as encontradas em solos não contaminados, visando a sua erradicação, redução ou transformação em substâncias menos tóxicas.

Segundo Silva (2004), essa técnica de biorremediação vem alcançando importância mundial, uma vez que o aumento da atividade industrial está degradando cada vez mais os ecossistemas naturais. O maior mercado mundial na área de remediações é o norte-americano, responsável por 35 a 40 % do mercado, sendo o mesmo detentor do mais completo modelo de controle ambiental em execução. De acordo com um levantamento realizado pela EPA – Environmental Protect Agency (EUA), em seu estudo denominado “Innovative Technology Evaluation Report” (EPA, 1995), mais de 95% dos processos de biorremediação são empregados para descontaminação de solos e águas subterrâneas.

Existem diversos microrganismos que apresentam potencial metabólico, que são utilizados nos processos de biorremediação, dentre eles, gêneros de bactérias como *Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Enterobacter*, *Proteus*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Streptomyces*, *Nocardia* e de fungos como *Mucor*, *Fusarium*.

Entretanto, com a enorme contaminação de substâncias tóxicas ao solo e escassez de trabalhos, bem como a importância dos microrganismos na degradação de compostos xenobióticos em solo, o presente trabalho teve como objetivo realizar uma pesquisa bibliográfica com base de dados realizados sobre biorremediação de solos publicados entre os anos 2001 a 2012.

Revisão de literatura

O solo

O solo constitui a camada mais superficial da crosta terrestre, que sofre transformações decorrentes de fatores climáticos, biológicos e por atividades antropogênicas (OLIVEIRA et al, 2005). Tendo como função servir como substrato e fonte de nutrientes para produtividade das plantas e, conseqüentemente, dos animais e atuar na formação, atenuação e degradação de compostos que são prejudiciais ao meio ambiente (VEZZANI, 2001).

Formado pelas fases sólida, líquida e gasosa, o solo é um sistema resultado de complexas interações minerais, plantas e microrganismos. O seu funcionamento ocorre pela passagem do fluxo de energia e matéria, o qual se caracteriza pela entrada de compostos orgânicos, adicionados pelas plantas e transformados pelos microrganismos (VEZZANI, 2001).

Principais contaminantes do solo

O aumento da população mundial e a demanda crescente de alimentos têm motivado o uso de grandes quantidades de pesticidas nas plantações, visando assegurar maior produtividade, sendo muitos produtos utilizados para eliminar formas de vida vegetal ou animal indesejáveis nas culturas agrícolas e na pecuária (SANCHES et al. 2003). Dentre os compostos agroquímicos, que apresentam maior contaminação do solo, estão os defensivos agrícolas com potencial tóxico, que apresentam como princípio ativo, compostos xenobióticos (LEONEL et al. 2010).

De acordo com Sanches et al. (2003), quando aplicados diretamente no solo, os pesticidas podem ser degradados por vias químicas, fotólise ou ação de microrganismos, entretanto, as moléculas com alta persistência, baixa taxa de degradação, podem permanecer no ambiente sem sofrer qualquer alteração. Essas moléculas podem ser adsorvidas nas partículas do solo, sofrer lixiviação e atingir os lençóis subterrâneos ou, ainda, serem levadas para águas superficiais. Colla et al (2008), também afirma que decorrência da aplicação destes compostos agroquímicos no sistema solo-planta, podem sofrer degradação e sorção, no qual, consiste na impregnação de substâncias dissolvidas em um fluido na parte sólida de um meio poroso, como o solo, obtendo-se como resultado a absorção dessas moléculas via planta e a lixiviação para as camadas sub-superficiais do solo podendo atingir as águas subterrâneas.

Outros compostos que também geram grandes contaminações ao solo, são os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), são compostos mutagênicos e carcinogênicos aos humanos e aos animais que são introduzidos no ambiente gerados naturalmente, e de forma contínua, pela combustão incompleta de substâncias orgânicas, como resíduos vegetais, madeira, matéria orgânica, etc. (JACQUES et al. 2006). Porém, a contaminação do solo é um típico efeito da atividade antropogênica, devido à produção industrial dos HAPs, para fabricação de corantes, de fibras sintéticas, entre outros, à produção de carvão vegetal, à extração e gaseificação do carvão mineral e aos processos de extração, transporte, refino, transformação e utilização do petróleo e de seus derivados (BANFORTH e SINGLETON, 2005). Segundo Passos et al. (2009) substâncias como fenol e seus derivados

destacam-se entre os derivados de petróleo, pois constituem uma importante fonte de contaminação de solo, agindo como inibidores de microrganismos, mesmo os que o utilizam como substrato.

Os metais pesados frequentemente fazem parte dos componentes ativos dos pesticidas e, portanto a adição desses elementos nos solo agrícolas é causada pelo uso repetido e excessivo de fertilizantes, pesticidas metálicos e resíduos orgânicos (NÚÑEZ et al. 2006). A presença de metais pesados no ambiente ocorre de forma natural, podendo fazer parte de algumas funções fisiológicas de organismos vivos, tornando-se essencial quando em concentrações adequadas (CHAVES, 2008). No entanto, a contaminação por metais pesados, decorrentes da ação antropogênica, promove um elevado teor de toxicidade e o acúmulo desses elementos na camada superficial do solo, comprometendo a microbiota natural responsável pela ciclagem de nutrientes, interferindo o pH e aumento da acidez (FRANCO et al, 2004).

Microrganismos degradadores

A biorremediação vem sendo desenvolvida visando explorar a diversidade genética e a versatilidade metabólica microbiana para a transformação de contaminantes, em produtos menos tóxicos (COLLA et al., 2008).

A degradação de substâncias contaminadas presentes no solo depende da presença de várias enzimas que realizam metabolismo para seu crescimento, e dessa forma conseguem remediar os compostos químicos, reduzir as concentrações presentes no ambiente ou torná-los menos tóxicos (LEONEL et al. 2010). Dentre os microrganismos envolvidos neste processo estão presentes representantes dos eucariotos e procariotos de vários gêneros (SANCHES et al. 2003).

Estudos realizados por Colla et al. (2008), na qual, isolaram fungos filamentosos de solos contaminados com herbicidas, em especial, triazínicos (atrazine e simazine) e selecionaram os microrganismos isolados quanto à capacidade de crescimento em meio de cultivo adicionado de atrazine. Destes, foram identificados os seguintes gêneros: *Aspergillus*, *Penicillium* e *Trichoderma*, constatando que os dois primeiros gêneros apresentaram maior velocidade de crescimento radial a partir de solo contaminado com atrazine + simazine, o que indica que estes microrganismos apresentam potencial para serem utilizados em processos de biorremediação.

Ainda em função da biorremediação de herbicidas, Martins et al (2007) detectaram a degradação do S-Metolachlor por diversas espécies de bactérias de solos sob plantio. Foram

identificadas espécies como *Klebsiella pneumoniae pneumoniae*, *Pseudomonas alcaligenes*, *Enterobacter aerogenes*, que após 5 dias, proporcionaram uma diferença média de 14,42% na concentração do herbicida e em 10 de 35,01%.

Para Leonel et al. (2010) á grande diversidade de microrganismos potencialmente degradadores de compostos tóxicos que podem ser empregados na remediação de resíduos no solo gerados pelo uso abusivo de herbicidas. Porém o sucesso de um programa de biorremediação de áreas contaminados com herbicidas dependerá de um bom planejamento inicial e da seleção de um ou consorcio de microrganismos eficientes na decomposição da molécula (MELO e AZEVEDO, s/d).

Contaminantes como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs) e monocíclicos, são degradados por um consórcio de microrganismos, fungos e bactérias, visando à maior eficiência do processo, ao proporcionarem uma redução no tempo de degradação desses resíduos devido a atividades enzimáticas específicas relacionadas a esse composto (COSTA et al. 2007). De acordo com Jacques et al. (2007), na presença de várias enzimas específicas estes microrganismos utilizam esses compostos como fonte de C e energia para o seu crescimento, transformando moléculas complexas em produtos comuns ao seu metabolismo.

A biorremediação de metais pesados tóxicos como urânio, cádmio e chumbo, em um estudo realizado por Nitschke e Pastore (2002) verificaram que o uso de surfactantes, compostos químicos com função de degradação, produzidos por *Arthrobacter*, *Pseudomonas*, *Corynecacterium* e *B. subtilis* demonstraram resultados promissores na remoção de piche em areias contaminadas.

Colla et al. (2008) corrobora que existem uma diversidade de microrganismos viáveis a serem aplicados em processos de biorremediação, destacando-se as bactérias, em decorrência da sua maior velocidade de crescimento em comparação a de fungos e leveduras, quando em condições favoráveis. Outra alternativa viável seria o consórcios de microrganismos, podendo proporcionar uma completa degradação dos contaminantes. Dessa forma microrganismos que não apresentam potencial para degradar completamente determinado composto, poderão transformá-lo em uma substância degradável por um segundo microrganismo (LEONEL et al. 2010).

Principais técnicas de biorremediação

A biorremediação é uma tecnologia que utiliza o metabolismo de microrganismos para eliminação ou redução, a níveis aceitáveis, de poluentes presentes no ambiente (COLLA et al.

2008). Os processos biológicos apresentam variações quanto ao tipo de tratamento, podendo este ser *in situ* e *ex situ* (GAYLARDE et al, 2005).

Na biorremediação “*in situ*”, ou seja, realizada no local onde ocorreu a contaminação, assim como na “*ex situ*”, a contribuição externa de microrganismos deve ser avaliada de acordo com o tipo de solo, do equipamento a ser empregado e, principalmente, dos tipos de contaminantes orgânicos presentes (SILVA, 2004).

Segundo Moreira e Siqueira (2006) os procedimentos de biorremediação dependem de vários aspectos como a distribuição heterogênea dos rejeitos, a concentração do contaminante, a toxicidade e a persistência do contaminante no local, bem como as condições favoráveis dos microrganismos. Dentre as técnicas mais empregadas na biorremediação temos:

Bioestimulação

Consiste em uma técnica usual que visa aumentar a atividade microbiana da população nativa do solo pela adição de nutrientes como nitrogênio (N) e fósforo (P) e/ou introdução de surfactantes aumentando a biodisponibilidade do contaminante (GAYLARDE et al, 2005).

A técnica também consiste a promover algumas alterações ambientais a fim de se obter melhores remoções dos poluentes, tais como: melhorar a aeração do solo, monitorar e corrigir a sua umidade, o seu pH e adicionar nutrientes (BAPTISTA, CAMMAROTA & FREIRE, 2003).

Bioaugmentação

Consiste na introdução de micro-organismos cultivados para degradar cadeias de hidrocarbonetos dentro de um sistema natural contaminado (BARROS & LEMOS, 2006). Esses micro-organismos passam, então, a utilizar o composto orgânico poluente como fonte de carbono, ocasionando assim uma redução da sua concentração ao longo do tempo (DEON et al, 2012).

“Landfarming”

Consiste na aplicação do contaminante em forma líquida ou sólida na camada superior do solo (arável) para posterior degradação biológica. Os rejeitos são incorporados ao solo por meio da aração e gradagem, no qual, o solo é disperso formando uma superfície de pequena espessura. No entanto, são necessários ajustes nas condições do solo para maximizar a atividade biológica (CASTRO et al, 2005).

O tratamento em “landfarming” é uma maneira eficiente de tratar os resíduos e impedir a contaminação do meio ambiente (HENCKLEIN et al, 2007). Esse tratamento, por ser um processo de baixo custo para tratamento de grandes volumes de resíduos, tem sido utilizado com sucesso por décadas, como por exemplo, no biotratamento de substâncias derivadas do petróleo e que muitas são liberadas pelas indústrias de refino de óleo (ADMON et al, 2001).

Para garantir sua efetividade o sistema landfarming deve ser monitorado periodicamente para que se possa verificar a redução da concentração dos constituintes, a emissão de vapores, a migração dos constituintes no solo e as águas subterrâneas (CARNEIRO e GARIGLIO, 2010).

Fitorremediação

Utiliza-se sistema vegetal e a sua microbiota para acelerar o processo de degradação. As plantas, específica para cada contaminante, podem amenizar ou até mesmo despoluir totalmente áreas contaminadas (LEONEL et al, 2010). Porém, a eficiência desta técnica é obtida utilizando-se plantas que possuam determinadas características como uma boa capacidade de absorção, sistema radicular profundo, acelerada taxa de crescimento, fácil colheita e que apresentem uma grande resistência ao poluente (COUTINHO et al, 2007).

No entanto, a desvantagem dessa técnica é a dependência do ciclo vital da planta, dificultando a visualização dos resultados e também o fato de possivelmente fazer parte da cadeia alimentar, aumentando os danos ambientais (LEONEL et al, 2010). Apresenta também a dificuldade de utilização em alguns tipos de solos contaminados com grande mistura de compostos químicos, onde há uma dificuldade em selecionar uma planta resistente para este conjunto de substâncias (COUTINHO et al, 2007).

Biopilhas

Consiste na construção de células ou pilhas de solo contaminado de forma a estimular a atividade microbiana aeróbica dentro da pilha através da aeração. A atividade microbiana é aumentada pela adição de umidade e nutrientes como Nitrogênio e Fósforo ou matéria orgânica (SILVA, 2004).

Ainda com o mesmo autor, trata-se de uma tecnologia de construção e manutenção simples e que apresenta reduzido custo de implementação e tempo de tratamento relativamente baixo: de três semanas a seis meses para hidrocarbonetos leves. Segundo

estudos realizados, a aplicação de biopilhas tem-se mostrado efetiva, também, para contaminantes com baixa taxa de biodegradação.

Bioventilação

Também conhecida como bioaeração consiste em uma técnica que se caracteriza pela adição de oxigênio no solo contaminado, para estimular o crescimento dos organismos naturais e/ou introduzidos. Esta é uma tecnologia considerada promissora, pois a disponibilidade de oxigênio molecular tem um grande efeito na biodegradação de vários compostos (CARNEIRO e GARIGLIO, 2010).

A técnica é eficiente quando se trata de contaminante degradável em meio aeróbio, tendo como vantagem à minimização da extração de vapores, a utilização de equipamentos de fácil instalação e aquisição, a atuação em locais de difícil acesso e o pequeno impacto na área contaminada, apresentando como limitações a baixa umidade, presença de lençol freático alto, solos com pouca permeabilidade e temperaturas amenas, limitando a atividade de degradação microbiana (CARNEIRO e GARIGLIO, 2010).

Vantagens X desvantagens

Algumas vantagens na técnica de biorremediação é a degradação de substâncias contaminadas ao invés de apenas transferir o contaminante de um meio para outro, o baixo custo, os produtos utilizados para a degradação não apresentam risco ao meio ambiente e não são tóxicos ao mesmo (CARNEIRO e GARIGLIO, 2010). O sucesso da biorremediação está ligado diretamente a uma ampla compreensão das condições físicas, químicas, biológicas e de uma minuciosa avaliação da aplicabilidade das técnicas “in situ” e “ex situ” (SANTOS, et al., 2007).

Algumas desvantagens é que a degradação de diferentes resíduos depende das condições locais e regionais como clima, tipo de solo, tais como, teor de argila, pH, concentração de matéria orgânica, tensão de água e aeração, vegetação, fauna e microrganismos decompositores (ROSA e TRIGUIS, 2005). A velocidade de transferência de massa, quando baixa, limita a remediação biológica do solo contaminado devido à baixa degradabilidade (SILVA, 2004). Segundo Silva, (2004) a desvantagem desta técnica reside na incerteza de que nas condições do ambiente em que serão adicionados, os microrganismos possam decompor o contaminante, ou mesmo sobreviver à competição com os microrganismos nativos.

Conclusão

No Brasil, o uso de técnicas de biorremediação é ainda pequeno, a falta de conhecimento e pesquisa para essa técnica é restrita. O desenvolvimento de pesquisas podem gerar novas tecnologias ou aperfeiçoar aquelas já existentes, o que é essencial para o incremento de novos projetos de descontaminação ambiental tanto de solos, quanto de outros ambientes. Neste sentido, o Brasil, na qual, apresenta extensas áreas agrícolas, deve avançar tanto no uso correto dos agroquímicos, quanto na degradação destes em solos e águas, visando à descontaminação dos mesmos e à geração de alimentos mais seguros para o consumo, priorizando a minimização dos impactos antropogênicos e a reestruturação dos habitats naturais.

Referências

- BAMFORTH, S.; SINGLETON, I. Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons: current knowledge and future directions. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, Sussex, v.80, n.7, p.723-736, 2005.
- BAPTISTA, S. J.; CAMMAROTA, M. C.; FREIRE, D. C. **Avaliação da bioestimulação em solos argilosos contaminados com petróleo**. Anais... in: 2º Congresso brasileiro de P&D em petróleo e gás. Rio de Janeiro, 2001.
- CARNEIRO, D. A.; GARIGLIO, L. P. A biorremediação como ferramenta para a descontaminação de ambientes terrestres e aquáticos. **Revista Tecer** - Belo Horizonte – v. 3, n. 4, 2010.
- CASTRO, R. A.; CARVALHO, F. J. P. C.; KRENZCZYNSKI, M. C.; JOANELLO JR, L. A.; CONEGLIAN, D. **Utilização de nitrato de potássio e peróxido de hidrogênio para biorremediação “in situ” de solos contaminados pó petróleo**. Anais:...in: 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador. 2005.
- CHAVES, E. V. **Absorção de metais pesados de solos contaminados do aterro sanitário e pólo industrial de Manaus pelas espécies de plantas Senna multijuga, Schizolobium amazonicum e Caesalpinia echinata**. Tese de doutorado pela Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.
- COLLA, L. M.; PRIMAZ, A. L.; LIMA, M.; BERTOLIN, T. E.; COSTA, J.A.V. Isolamento e seleção de fungos para biorremediação a partir de solo contaminado com herbicida triazínicos. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 809-813, maio/jun., 2008.
- COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: Considerações gerais e características de utilização. **Silva Lusitana**, v.15 n.1. p. 103-117, 2007.
- CORTEZ, A. T. C., ORTIGOZA, S. A. G., orgs. **Da produção ao consumo: impactos socioambientais no espaço urbano [online]**. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura

Acadêmica, 2009. 146 p. ISBN 978-85-7983-007-5. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.

DEON, M. C.; ROSSI, A.; DAL'MAGRO, C.; REINEHR, C. O.; COLLA, L. M. Biorremediação de solos contaminados com resíduos oleosos através de bioaumentação e atenuação natural. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 73-82, jan./jun.2012.

FRANCO, L. O.; MAIA, R. C. C.; PORTO, A. L. F.; MESSIAS, A. S.; FUKUSHIMA, K.; TAKAKI, G. M. C. Heavy metal biosorption by chitin and chitosan isolated from *Cunninghamella elegans* (IFM 46109). **Brazilian Journal of Microbiology**. v. 35, p. 243-247, 2004.

GAYLARDE, C. C.; BELLINASSO, M. L.; MANFIO, G. P. Biorremediação – aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**. n. 34, p.36-43, 2005.

HENCKLEIN, F.A; ANGELIS, D.F.; DOMINGOS, R.N.; GONÇALVES, R.A.; SEABRA, P.N.; LA SCALA, N. **Avaliação da biodegradação de resíduos de hidrocarbonetos no solo de “landfarming” utilizando espectroscopia de absorção ótica no infravermelho**. Anais... in:4º PDPETRO, Campinas, SP. Outubro de 2007.

JACQUES, R. J. S.; BENTO, F. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; CAMARGO, F. A. O. Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.4, p.1192-1201, jul-ago, 2007.

LEONEL, L. V.; NASCIMENTO, E. G.; BERTOZZI, J.; VILAS BÔAS, L. A.; VILAS BÔAS, G. T. Biorremediação do solo. **Terra e cultura** – n. 51, ano 26, Julho a Dezembro, 2010.

MARTINS, P. F.; MARTINEZ, C. O.; CARVALHO, G.; CARNEIRO, P. I. B.; AZEVEDO, R. A.; PILEGGI, S. A. V.; MELO, I. S.; PILEGGI, M. Selection of microorganisms degrading S-Metolachlor herbicide. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v. 50, n. 1, p153-159, 2007.

MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. **Como isolar microrganismos degradadores de moléculas xenobióticas**. EMBRAPA, São Paulo, s/d.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J.O. Xenobióticos do solo. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. Cap. 6. p. 263-311, 2006.

Nitschke, M.; Pastore, G. M. Biossurfactantes: propriedades e aplicações. **Quim. Nova**, v. 25, n. 5, p. 772-776, 2002.

NÚÑEZ, J.E.V.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; MAZUR, N. Consequências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre a contaminação do solo, sedimentos e água por metais pesados. **Edafologia**, v. 13, n. 2, p. 73-85, 2006.

OLIVEIRA, S. D.; LEMOS, J. L. S.; BARROS, C. A.; LEITE, S. G. F. **Emprego de fungos filamentosos na biorremediação de solos contaminados por petróleo.** Estado da Arte. Série Tecnologia Ambiental, 2005.

PASSOS, C. T.; BURKERT, J. F. M.; KALIL, S. J.; BURKERT, C. A. V.; **Biodegradação de fenol por uma nova linhagem de *Aspergillus* sp. Isolada de um solo contaminado do Sul do Brasil.** Química Nova, vol.10, p. 1-5. 2009.

RODRIGUES, A. M. **Produção do espaço e ambiente urbano.** In: SPOSITO, M. E. B. (Org.) Urbanização e cidades: perspectivas geográficas. Presidente Prudente: Unesp/FCT, 2001.

SANCHES, S. M.; SILVA, C. H. T. P.; CAMPOS, S. X.; VIEIRA, E. M. Pesticidas e seus respectivos riscos associados à contaminação da água. Pesticidas: **Revista ecotoxicologia e meio ambiente**, Curitiba, v.13, p. 53-58, jan./dez. 2003.

SILVA, E. P. **Avaliação Preliminar do potencial de aplicação da tecnologia de biopilhas para a biorremediação do solo de Guamaré-RN.** Tese de mestrado pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola.** Tese de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

Recebido para publicação em: 12/05/2014

Aceito para publicação em: 06/10/2014