

BIORREMEDIAÇÃO DO SOLO SOIL BIOREMEDIATION

*Lillian Vieira Leonel**

*Eliana Guidetti do Nascimento***

*Janksyn Bertozzi****

*Laurival Antônio Vilas Bôas*****

*Gislayne Trindade Vilas Bôas******

RESUMO:

Diante da crescente geração de resíduos por indústrias, sistemas agrícolas, acidentes diversos com diferentes poluentes, como por exemplo, óleos e derivados de petróleo existe uma grande preocupação com o meio ambiente, levando à busca de maiores conhecimentos sobre a degradação de tais compostos. Neste contexto, são possíveis alternativas para tentar minimizar esses problemas utilizando-se biotecnologias como processos biológicos. Estes consistem em técnicas de biorremediação no qual são empregados organismos vivos e suas enzimas na biodegradação de compostos tóxicos visando à sua erradicação, redução ou transformação em substâncias menos tóxicas. Assim, o objetivo deste trabalho foi, por meio de uma revisão de bibliografia, abordar a importância da degradação de compostos xenobióticos em solo, a recuperação de ambientes contaminados por técnicas de biorremediação, a importância dos microrganismos neste processo e, por último, avaliar nas bases de dados pesquisadas e o panorama atual das pesquisas em biorremediação do solo.

PALAVRAS CHAVE: biorremediação; compostos xenobióticos; ambientes contaminados; microrganismos.

37

ABSTRACT:

Faced with the growing waste generation by industries, farming systems, various accidents with different pollutants, such as oil and oil products, there is great concern with the environment, leading to search for more knowledge on the degradation of such compounds. In this context, are possible alternatives to try to minimize these problems by using biotechnology and biological processes. These consist of bioremediation techniques are employed in which living organisms and their enzymes in the biodegradation of toxic compounds with a view to its eradication, reduction or transform them into less toxic substances. The objective of this work was, through a review of the literature, addressing the importance of microorganisms in the degradation of xenobiotics in soil, as well as restoration of contaminated environments through bioremediation techniques and evaluate the databases surveyed the current landscape of research on bioremediation of soil.

KEYWORDS: biodegradation of xenobiotics compounds, contaminated environments, microorganisms

* Graduada em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário Filadélfia-Unifil. E-mail: lillivl@gmail.com.

** Mestre em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Estadual de Londrina-UEL. Docente da Unifil.

*** Doutorando em Química pela Universidade Estadual de Maringá-UEM.

**** Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"- Unesp.Professor adjunto da Universidade Estadual de Londrina

***** Doutora em Microbiologia pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"- Unesp.Professora Adjunta da Universidade Estadual de Londrina.

1. INTRODUÇÃO

Estudos demonstrando a importância dos microrganismos em benefício da humanidade iniciaram-se desde 1856 com trabalhos de Louis Pasteur. Porém nem mesmo Pasteur imaginou o grande potencial dos microrganismos na solução de problemas, como a recuperação de áreas contaminadas.

Existem diversas alternativas para tentar minimizar problemas de contaminação ambiental, como por exemplo, o uso de técnicas de biorremediação, ou seja, processos que empregam organismos vivos e suas enzimas na biodegradação de compostos xenobióticos (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.

Em 1951 KAPLOVSKY apud Brito (2005) formulou o princípio da divisibilidade da decomposição biológica anaeróbica dos resíduos sólidos, favorecendo a aplicabilidade dos microrganismos em escala industrial nos processos de biorremediação. Esta teoria foi precursora do princípio de duas fases proposto por BARKER (1956) apud Brito (2005) que estudando a fermentação bacteriana verificou que a matéria orgânica dos resíduos é primeiramente consumida por microrganismos formadores de ácidos. Como resultado desta primeira fase, são gerados ácidos graxos, açúcares e outros compostos orgânicos de baixo peso molecular. Em seguida surge outra fase, onde os ácidos são consumidos por microrganismos formadores dos produtos finais, como metano e dióxido de carbono.

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*, *Chaetomium*, *Phanerochaete* e *Trametes* (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Segundo Moreira e Siqueira (2006), as rotas metabólicas da degradação dependem de um conjunto de fatores determinados pela estrutura química funcional do composto, da capacidade do microrganismo em promover a degradação e do ambiente, como tipo de solo, local alcançado pelo composto, que pode ser de difícil acesso pelo microrganismo, bem como as condições desse ambiente para o organismo envolvido.

Os estudos pioneiros em biorremediação visavam principalmente à degradação de matéria orgânica, muito comum em resíduos domésticos destinados a lixões e aterros sanitários (BRITO, 2005). Mais recentemente, estudos envolvendo biorremediação de compostos químicos de composição variada e elevado potencial de toxidez também apresentam grandes avanços (GAYLARDE et al, 2005). Desta forma, diante da crescente geração de resíduos por indústrias, sistemas agrícolas, acidentes diversos com diferentes poluentes, como por exemplo, óleos e derivados de petróleo, existe uma grande preocupação com o meio ambiente, levando à busca de maiores conhecimentos sobre a degradação de tais compostos.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi abordar a recuperação de solos contaminados, por meio das técnicas de biorremediação bem como a importância dos microrganismos na degradação de compostos xenobióticos em solo.

2. METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados do Scielo Library e Google, de artigos em revistas científicas, teses e dissertações referentes aos estudos realizados sobre biorremediação de solos publicados entre os anos 2004 e 2009.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 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).

É formado pelas fases sólida, líquida e gasosa, sendo a fase sólida composta por partículas de diversos tamanhos (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006), minerais, raízes de plantas, populações de macro e microrganismos e suas enzimas. Assim, o conjunto de todos os componentes da fase sólida leva à formação de micro-habitats ou micro-sítios. Com características singulares, o solo atua como um dreno para contaminantes e também como tampão natural, que controla o transporte de elementos químicos e outras substâncias para a atmosfera, hidrosfera e biota (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006; OLIVEIRA et al, 2005).

3.2 Principais Compostos Químicos Contaminantes do Solo

Dentre os compostos químicos que promovem a contaminação do solo estão os compostos agroquímicos, que são defensivos agrícolas com potencial tóxico, que apresentam como princípio ativo, principalmente, compostos xenobióticos aplicados para controlar pragas de plantas e de animais (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Resíduos gerados por atividades relacionadas à extração de petróleo e seus derivados, principalmente os hidrocarbonetos (MEDAURA e ÉRCOLI 2008; PASSOS, et al 2009), metais pesados oriundos de diferentes atividades industriais (FRANCO et al, 2004) e substâncias ou resíduos contendo compostos com potencial xenobiótico, como dejetos de animais ou lodo de esgoto urbano, adicionados intencionalmente como objeto de descarte ou para a melhoria das propriedades nutricionais do solo (WIECHETECK et al 2004).

3.2.1 Defensivos Agrícolas

É muito frequente a contaminação do solo com compostos agroquímicos, como os herbicidas triazínicos, em decorrência do uso intensivo na agricultura nas culturas de milho e cana-de-açúcar, representando um grande risco ao meio ambiente (COLLA et al, 2008). De acordo com Colla et al (2008), assim que as moléculas desses herbicidas atingem o solo, em decorrência da aplicação no sistema solo-planta, elas podem sofrer degradação e sorção, (ocorrência simultânea dos processos de absorção e adsorção, neste caso 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).

De acordo com Moreira e Siqueira (2006) a degradação dos herbicidas triazínicos é realizada predominantemente por microrganismos como *Agrobacterium*, *Klebsiella* e *Rhodococcus*

por descloração, desalquilação e posterior quebra do anel aromático. A partir da ação enzimática ocorre a remoção dos radicais etil e isopropil que serão utilizados como fonte de carbono (C) para obtenção de energia e a quebra dos anéis e a desaminação para obtenção do nitrogênio (N). No entanto, a velocidade da degradação depende da densidade da microbiota degradadora presente no solo e das rotas metabólicas.

3.2.2 Derivados de Petróleo

O metabolismo dos hidrocarbonetos gera compostos com propriedades carcinogênicas e mutagênicas, esses são responsáveis por diversos casos de câncer de pulmão, de intestino, de fígado e de pâncreas em seres humanos. Segundo Jacques (2005) estes apresentam lipossolubilidade à membrana plasmática e, em decorrência disto, acumulam-se nos adipócitos.

São formados continuamente pela combustão incompleta de substâncias orgânicas (JACQUES et al, 2007) e devido à sua polaridade e complexidade estrutural apresentam baixíssima solubilidade em água, constituindo agentes recalcitrantes no solo, permanecendo por longos períodos neste ambiente (JACQUES, 2005).

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. São encontrados em efluentes industriais, refinarias de petróleo bem como plantas petroquímicas, indústrias de produção de resinas fenólicas entre outros (PASSOS et al, 2009).

Passos et al (2009) sugere a técnica da bioaumentação (vide abaixo) utilizando *Aspergillus* sp adaptados previamente em meio de cultura contendo fenol como alternativa de degradação efetiva de fenol, possibilitando a degradação até taxas de 989 mg de fenol L-1 de solo.

40

3.2.3 Hexaclorobenzeno (HCB)

O hexaclorobenzeno (HCB) pertence ao grupo dos organoclorados sendo um composto xenobiótico estável no ambiente e insolúvel em água, utilizado na indústria, que apresenta potencial carcinogênico e mutagênico, sendo um risco para a saúde humana (VITALI et al, 2006).

É um composto que apresenta alta persistência no ambiente, podendo ser acumulado nos níveis tróficos superiores. Está amplamente disperso no ambiente e tem sido detectado no ar, água, sedimentos, solos, biota e sítios remotos, refletindo a persistência e o longo alcance desta molécula (MOREIRA, 2006).

Existem algumas estirpes de bactérias de grupos filogenéticos distintos que apresentam potencial de utilização de organoclorados como aceptores de elétrons, por meio da descloração respiratória de grande importância em ambientes anóxicos. Esse processo é determinado pela transferência de elétrons dos compostos orgânicos reduzidos pela ação biológica ou mediador abiótico, como ferro (Fe) e produtos biológicos que recebem os elétrons transferindo-os para os compostos organoclorados (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

3.2.4 Metais Pesados

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).

Segundo Chaves (2008) devido a processos como adsorção, dessorção, solubilização, precipitação, complexação e oxi-redução os metais pesados apresentam baixa mobilidade quando no solo, o que torna sua toxicidade reduzida. Dessa forma, podem fazer parte de uma diversidade de formas químicas. 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 (FRANCO et al, 2004).

De acordo com Moreira e Siqueira (2006) a presença de metais pesados no solo interfere no pH, aumentando a acidez e levando à inibição da atividade de algumas espécies de microrganismos.

3.3 Microrganismos Degradadores

A degradação de substâncias xenobióticas por microrganismos 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. Dentre os microrganismos envolvidos neste processo estão presentes representantes dos eucariotos e procariotos de vários gêneros.

Colla et al (2008) realizaram o isolamento de quinze fungos de solo contaminado com atrazina e atrazina + simazina, sendo dez fungos em solo contaminado com atrazine + simazina e cinco em solo com 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.

Martinez et al (2008) realizaram um estudo de caracterização e isolamento de bactérias e fungos envolvidos na degradação de sulfentrazona, um tipo de herbicida muito utilizado, em solos sem histórico da aplicação do herbicida, mas suplementados com crescentes concentrações de sulfentrazona. Segundo os mesmos autores, dentre as espécies de bactérias com potencial de degradação isoladas e identificadas estão *Nocardia brasiliensis*, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Rhizobium radiobacter*, *Ralstonia picketti* e *Methylobacterium radiotolerans*. Os fungos com potencial de degradação do herbicida que foram identificados, estão os gêneros *Cladosporium* sp., *Eupenicillium* sp., *Paecilomyces* sp., *Penicillium* sp., *Chrysosporium* sp. e *Metarrhizium* sp.

Um importante grupo de microrganismos com potencial emprego em biorremediação são os basídiomicetos causadores da podridão branca em madeira, estes são os únicos capazes de degradar lignina em CO₂ e água. A lignina por ser um biopolímero tridimensional com alto peso molecular, amorfo, altamente ramificado, heterogêneo e com estrutura irregular em suas ligações não são facilmente hidrolisáveis (SILVA 2009).

De acordo com Silva, 2009; Arantes e Milagres, 2009; Ballaminut, 2007 estes fungos atuam por meio da produção de um complexo de enzimas extracelulares lignolíticas inespecíficas, pela produção de compostos quelantes de baixa massa molecular (malonato, oxalato, L-tartarato, oxaloacetado, L-malato e metilmalonato), de hidroperóxidos orgânicos (ácido peracético, ácido m-cloroperoxibenzóico, ácido nitroperoxibenzóico). Todo esse complexo enzimático, somado às substâncias liberadas, permite a mineralização completa da lignina.

Outro mecanismo de degradação é através da “reação de Fenton”, onde o peróxido de hidrogênio liberado pelos fungos reage com íons ferro presentes no substrato, formando radicais

hidroxila, que são extremamente energéticos para oxidação de compostos orgânicos (ARANTES e MILAGRES 2009).

A peroxidação de ácidos graxos pelos basidiomicetos forma radicais livres que possuem um elevado potencial de oxidação, capaz de oxidar compostos não fenólicos da lignina (ARANTES e MILAGRES 2009).

Todos esses mecanismos de degradação da lignina apresentados pelos basidiomicetos apresentam grandes possibilidades de aplicação na remediação de xenobióticos.

Silva (2009) desenvolveu um estudo com fungos Basidiomicetos das espécies *Lentinus crinitus* CCB274 e *Psilocybe castanella* CCB 444, na biorremediação de solos contaminados com compostos organoclorados em biorreatores. No estudo foram observadas reduções na concentração de tais componentes pelas duas espécies de fungos utilizadas.

Estudos envolvendo a degradação de herbicidas foi realizado por Martins et al (2007) que 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 de incubação a 35°C, proporcionaram uma diferença média de 14,42% na concentração do herbicida e em 10 dias uma diferença de 35,01%, além da presença de halos em torno das colônias, o que comprova a hipótese da degradação do herbicida.

Dellamatrice e Monteiro (2004) isolaram do solo um consórcio de três bactérias *Acinetobacter johnsonii* e duas espécies de *Bacillus* sp. cultivadas em meio contendo diuron como fonte de carbono. Neste estudo apenas a espécie *A. johnsonii* utilizou o herbicida como fonte de carbono para o seu metabolismo.

Isso demonstra a 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.

A principal forma de regulação do metano na atmosfera ocorre por meio de microrganismos (Dianou 1999; Roslev 1999 apud RODRIGUES et al, 2009). Segundo Rodrigues et al (2009) a mineralização de metano da atmosfera se dá por bactérias metanotróficas, como a espécie *Methylosinus trichosporium* OB3b. Esta, através de um processo de oxidação, iniciado por uma enzima denominada metano monoxigenase, produz dióxido de carbono que é utilizado como única fonte de carbono e energia (RODRIGUES et al, 2009).

Existem os microrganismos degradadores de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs) e monocíclicos (JACQUES et al, 2007). Segundo o mesmo autor, 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.

Estudos de isolamento e caracterização de uma nova cepa de *Stenotrophomonas maltophilia* K2B apresentaram uma grande variedade de enzimas dioxigenases, para degradação de hidrocarbonetos monocíclicos apresentando assim ótimo potencial para tratamento de efluentes, bem como no tratamento de solos contaminados (URSZULA et al, 2009).

Uma linhagem bacteriana, isolada de solo contaminado com querosene de aviação, um derivado de petróleo, foi identificada como *Nocardia* sp., sendo estudada quanto a potencial capacidade de degradação desse composto. O estudo foi realizado utilizando-se uma linhagem como referência, a espécie *Pseudomonas aeruginosa* UFPEDA39. Os resultados obtidos pela linhagem autóctone foram promissores, demonstrando alta eficiência na degradação do querosene, com maiores reduções nas concentrações desse derivado de hidrocarboneto, comparado à espécie de referência (GOMES et al, 2009).

Por ser um processo que depende da ação de diversas enzimas, a maioria dos microrganismos presentes no solo não conseguem degradar esses xenobióticos, devido a isso, existe a necessidade de se inocular microrganismos isolados e selecionados, que apresentem as características necessárias às condições do ambiente (JACQUES et al, 2007).

Como mostra Costa et al (2007) estudando um consórcio de microrganismos, fungos e bactérias, a partir de amostras de petróleo, 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, pois muitas bactérias têm a capacidade de emulsificar hidrocarbonetos em soluções aquosas.

O emprego de consórcios de microrganismos é viável, 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.

Existe uma diversidade de microrganismos viáveis a serem aplicados em processos de biorremediação, dentre eles destacam-se as bactérias, em decorrência da sua maior velocidade de crescimento em comparação a de fungos e leveduras, quando em condições favoráveis (OLIVEIRA et al, 2008).

Ao utilizarem estirpes de *Pseudomonas fluorescens* para a criação de um sensor microbiano, Silva et al (2007) detectaram quais as condições favoráveis para que ocorresse a degradação do ácido salicílico em meio com e sem extrato de levedura. Observaram que 95% do ácido foi degradado em 80 minutos em meio com adição de extrato de levedura e no meio sem adição de extrato de levedura a percentagem de degradação alcançou 69% em 30 minutos.

Fang-Bo et al (2008) isolaram um gênero de bactéria, *Alcaligenes* sp. Esta utiliza-se de uma enzima intracelular para a biodegradação de o-nitrobenzaldeído, um composto tóxico e recalcitrante na natureza, utilizado na síntese de fármacos, esta bactéria demonstrou-se importante como biorremediadora de efluentes e solos contaminados.

Isso demonstra a viabilidade da aplicação de microrganismos isolados e selecionados na degradação de fármacos e a importância da otimização do processo para torná-los mais eficientes no processo de descontaminação, levando a um período reduzido da presença do contaminante no ambiente.

A espécie *Pseudomonas aeruginosa* KUCD1 apresentou eficiência na remoção de cádmio de água em condições aeróbicas in vitro, por meio do acúmulo desse metal em sua membrana e periplasma, observado por fracionamento celular. A detoxificação de metais pesados por bactérias pode ser realizada de várias maneiras, como a utilização de plasmídeos, onde ocorre um vigoroso sistema de efluxo de íons de metais tóxicos para dentro da célula. Isso demonstra potencialidades para utilização na biorremediação de ambientes contaminados (SINHA e MUKHERJEE, 2009).

Em um estudo com isolados de bactérias, Conceição et al, 2007 obtiveram organismos com elevada resistência à concentração de 750 mg L⁻¹ de cromo hexavalente assim como adaptados às variações do ambiente como temperatura e pH.

Otenio et al (2005) estudaram a atividade degradativa da espécie *Pseudomonas putida* CCM1 852, de componentes presentes na gasolina, o benzeno, tolueno e xileno (BTX) e se mostrou eficiente na degradação de tolueno e xileno exceto do benzeno. Esses resultados devem-se à adaptabilidade do gênero *Pseudomonas* a diversos substratos (OTENIO et al, 2005; SILVA et al, 2007; SINHA e MUKHERJEE, 2009).

Larentis et al (2005) realizaram uma estratégia de clonagem do produto de reação de polimerase em cadeia (PCR) dos genes carBaBb da espécie de bactéria degradadora de carbazol, *Pseudomonas stutzeri* um composto nitrogenado presente no petróleo utilizado na produção de fármacos, sendo altamente poluente. Esses genes codificam algumas enzimas que são responsáveis pelas reações de dioxigenação, meta-clivagem e hidrólise desse composto. Por meio desse procedimento, os autores obtiveram a expressão da enzima ativa, em altas concentrações em um vetor de clonagem *Escherichia coli*.

Os processos biotecnológicos podem ser aplicados na produção de biossurfactante obtidos de microrganismos por meio da fermentação em estado sólido a partir de um fungo filamentosos da espécie *Aspergillus fumigatus*, estes biossurfactantes favorecem a biodegradação dos xenobióticos, principalmente no solo (CERQUEIRA e COSTA, 2009).

O emprego de leveduras em processos de biorremediação foi avaliado por Miranda et al (2007), no qual utilizaram algumas espécies como *Rhodotorula aurantiaca* UFPEDA 845 e *Candida ernobii* UFPEDA 862, selecionadas inicialmente para teste de degradação de substâncias presentes no óleo diesel. Os resultados obtidos com os ensaios foram a degradação total de tetraceno, 5 metil-octano e octadecano, e parcialmente de decano (61%) e nonano (21%) por *Candida ernobii* UFPEDA 862, enquanto que a espécie *Rhodotorula aurantiaca* UFPEDA 845 demonstrou um percentual de degradação de 93% para decano, 38% para nonano e 23% para dodecano, mostrando o potencial biotecnológico dessas espécies na descontaminação de áreas afetadas.

Existe uma grande preocupação com a degradação de determinados polímeros frequentemente utilizados na sociedade moderna, pois geralmente são descartados em grandes volumes no ambiente (COELHO et al, 2008; VINHAS et al, 2007).

Neste contexto, Coelho et al (2008) realizaram um estudo de biodegradabilidade de blendas de poli(β -hidroxibutirato-co-valerato) e amido anfótero na presença de uma cultura mista dos fungos *Phanerochaeta chrysosporium* proveniente de uma coleção de fungos e *Talaromyces wortmannii* isolados do solo de um aterro sanitário. Eles obtiveram, por meio do teste de Sturm, que consiste na avaliação da capacidade biodegradadora dos fungos pela quantificação de dióxido de carbono produzido em função do tempo e por meio de espectrometria de infravermelho que quantifica o aparecimento de grupos carboxílicos, ambos em função da degradação. Mostrando a viabilidade da aplicação desses microrganismos na degradação desse tipo de polímero.

Rigo et al (2006) utilizaram a espécie de levedura *Candida parapsilopsis* no tratamento de efluentes contaminados com fenol, um produto de difícil tratamento no meio ambiente. Neste estudo foi utilizado um reator contínuo (CSTR) pressurizado, operando por 24 dias consecutivos e a entrada do efluente com concentrações de fenol entre 300 a 900 mg/L em meio sintético. Os resultados obtidos foram satisfatórios devido ao alcance da estabilidade operacional do reator com eficiente remoção do fenol de 100%.

A biodegradação de poliuretanos derivados de óleo de mamona foi avaliada por Cangemi et al (2008) empregando microrganismos do gênero *Aspergillus* sp. e da espécie *Chryseobacterium meningosepticum*. O gênero *Aspergillus* sp. apresentou os melhores resultados com máxima degradação, comparado a bactéria *Chryseobacterium meningosepticum*.

3.4 Principais Tratamentos e Técnicas de Biorremediação

Os processos biológicos como biorremediação apresentam variações quanto ao tipo de tratamento, podendo este ser *in situ* quando realizados no local e *ex situ*, quando realizados fora do local contaminado (GAYLARDE et al, 2005). Ambos envolvem procedimentos que podem ser

aplicados no tratamento de superfície ou de subsuperfícies e 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 ao crescimento dos microrganismos (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Após a escolha do tipo de tratamento, faz-se a escolha da técnica mais adequada, embora algumas não tenham sido mencionadas, como a bioventilação, a compostagem e a biorremediação passiva, devido a ausências de trabalhos envolvendo essas técnicas. Dentre as mais empregadas estão:

3.4.1 Bioestimulação

Consiste na aplicação de nutrientes como nitrogênio (N) e fósforo (P) e/ou introdução de surfactantes com o intuito de estimular a atividade microbiana ou, no caso dos surfactantes, aumentar a biodisponibilidade do contaminante (GAYLARDE et al, 2005).

Baptista et al (2004) utilizaram a bioestimulação no tratamento de solos argilosos contaminados com petróleo e verificaram ser uma ferramenta a mais no emprego de microrganismos para biodegradação de xenobióticos, no entanto, é necessária a otimização do processo avaliando-se a relação de fontes de nutrientes necessárias, a temperatura e o pH.

Mariano et al, 2007 também utilizaram dois métodos de biorremediação para aumentar a taxa de biodegradação aeróbia em solo contaminado com óleo diesel: a bioestimulação e bioaumentação. Neste estudo laboratorial ficou constatada a eficiência dos dois métodos de biorremediação.

3.4.2 Bioaumentação

É uma técnica baseada na inoculação de populações de microrganismos selecionados ou consórcios microbianos para degradação do contaminante. Podem-se utilizar mediadores como surfactantes. No entanto, existem poucas evidências da eficiência dessa técnica, exceto, como pôde-se verificar, que alguns microrganismos que apresentam o plasmídeo J14a possuem potencial na degradação de substâncias recalcitrantes (Moreira e Siqueira, 2006).

3.4.3 “Landfarming”

É uma técnica que tem como princípio a 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. 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).

Em solos de “landfarming” de resíduos petroquímicos Paula et al (2006) determinaram a biomassa, atividade microbiana e fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) constataram uma microbiota adaptada ao substrato e à toxicidade do resíduo, podendo ser aplicada em processos de biorremediação. Foram detectados propágulos infectivos de FMAs com intensa colonização em plantas espontâneas ou introduzidas que favoreceram o crescimento de gramíneas, demonstrando que a eficiência e o manejo de FMAs autóctones podem servir de estratégias de revegetação dessas áreas contaminadas.

Outro estudo com solos de “landfarming” de resíduos petroquímicos foi realizado por Nakatani et al (2008) que avaliaram a comunidade microbiana, a atividade enzimática e a presença de fungos micorrízicos na rizosfera de plantas de ocorrência espontânea nesse tipo de solo, no qual constataram que as raízes dessas plantas estimularam a microbiota degradadora em geral, sendo o número de unidades formadoras de colônia (UFC) de bactérias totais nos solos rizosféricos maior em média 5,2 vezes, os de fungos degradadores de antraceno foi de 2,8 vezes maior quando comparados ao solo sem plantas. A atividade enzimática também foi maior em solos com plantas, bem como a alta densidade de esporos de fungos micorrízicos. Estes resultados mostram o efeito das raízes de plantas na microbiota edáfica em solos de “landfarming”.

3.4.4 Fitorremediação

É uma estratégia na qual se utiliza sistema vegetal e a sua microbiota visando à aceleração do processo de degradação. As plantas podem atuar sobre diversos tipos de contaminantes (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

A fitorremediação de áreas poluídas é bastante útil para o meio ambiente devido à utilização de plantas específicas, no intuito de amenizar ou até mesmo despoluir totalmente áreas contaminadas (COUTINHO et al, 2007).

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).

Em um estudo de fitorremediação de solo contaminado por herbicida, Santos et al (2006) utilizaram diferentes densidades de feijão-de-porco, por apresentar as características necessárias como espécie remediadora, além de servir como adubo verde. Obtiveram uma eficiente remediação do solo com densidade populacional mínima de 20 plantas m². Segundo os mesmos autores a maior densidade populacional de plantas em uma determinada área pode proporcionar maior volume de raízes e de solo explorado o que resulta em um incremento da absorção e degradação.

Chaves (2008) estudou a eficiência fitoextratora de metais pesados, no solo, das espécies *Senna multijuga*, *Schizolobium amazonicum*, *Caesalpinia echinata* constatando o potencial fitoextrator e hiperacumulador das três espécies, sendo a *Caesalpinia echinata* específica para acúmulo de manganês (Mn) e zinco (Zn).

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.

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).

3.5 Fatores que Influenciam no Processo de Biodegradação

Alguns fatores podem influenciar no processo de biodegradação dos compostos xenobióticos no ambiente. Dentre eles a estrutura química da molécula, o tamanho e a presença de grupos funcionais determinam o comportamento do composto no ambiente, como no solo, as rotas metabólicas e a absorção por microrganismos. Outros fatores como temperatura, pH, características

físicas, biodisponibilidade do composto, presença de metais pesados e a adaptação da microbiota também são importantes nesse processo.

Para Moreira e Siqueira (2006) fatores climáticos, como temperatura, influenciam os processos de solubilidade e viscosidade tendo muita influência nas taxas de reação e na atividade da microbiota do solo, já características como pH dependem das condições do solo (capacidade tampão) e do contaminante, pois podem promover inibição de enzimas. Existe influência da área de superfície e a porosidade que determinam a biodisponibilidade dos compostos, o mesmo ocorre com os teores de matéria orgânica e nutrientes que estimulam a biomassa e, dessa forma, o potencial de degradabilidade. A presença de metais pesados pode inibir a atividade enzimática e a microbiota, sendo bem adaptada apresenta melhores condições para degradar substâncias específicas, aumentando a biodegradação.

No processo de biorremediação *in situ* ocorre a utilização de produtos derivados do metabolismo de fungos e bactérias denominados biossurfactantes. Estes, segundo Nitschke et al (2002) são denominados compostos anfipáticos capazes de diminuir a tensão superficial e interfacial entre dois líquidos além de apresentar alta capacidade emulsificante podendo facilitar a biodegradação, atuando na biodisponibilidade de determinados compostos com baixa solubilidade em sistemas aquosos. No entanto, a utilização de biossurfactantes constitui um fator limitante no processo de biorremediação, por apresentar um alto custo de produção.

Neste contexto, Krepsky et al (2007) buscaram alternativas de produção mais acessíveis por meio de consórcios bacterianos isolados de sedimento do mangue contaminado com petróleo, capazes de produzir biossurfactantes. A produção de biossurfactante foi avaliada pela capacidade de emulsificação dos compostos de hidrocarbonetos, concluindo que houve maior atividade produtora de biossurfactante de acordo com o tempo de incubação.

A biorremediação de solo contaminado com óleo cru foi realizada utilizando-se biossurfactante do tipo ramnolipídio em biorreator, por Millioli et al (2007) que conseguiram, utilizando concentrações de 0,4 e 0,6% de ramnolipídio, a remoção de 50% do óleo cru em 45 dias.

Outro meio facilitador empregado na biorremediação *in situ* de compostos em locais de alta profundidade no solo e na água devido à solubilidade limitante do oxigênio (O₂) são os aceptores alternativos de elétrons, como os nitratos e peróxido de hidrogênio. Nitratos são utilizados por bactérias anaeróbicas e o peróxido de hidrogênio é um suprimento de O₂ nesses locais.

O nitrato é um ânion altamente solúvel em água e atua como um dispersante em solos úmidos já o peróxido de hidrogênio é injetado no solo ou em água do subsolo para elevar os níveis de oxigênio.

Castro et al (2005) utilizaram o nitrato de potássio (KNO₃) e o peróxido de hidrogênio na biorremediação *in situ* de solos contaminados por petróleo e observaram nos tratamentos dos quais foram aplicados o peróxido de hidrogênio e nitrato de potássio, respectivamente, que apresentaram reduções de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP) de 86 e 91%, indicando que a adição dos compostos estimularam a biodegradação e descontaminação de solos com hidrocarbonetos de petróleo e que esta é uma técnica de remediação de solos contaminados, desde que os fatores limitantes que inibem a atividade dos microrganismos sejam adequados para que estes possam agir.

Outras substâncias derivadas de microrganismos são estudadas por apresentar potencial de utilização em processos de biorremediação visando à produção em larga escala.

Em um estudo para a avaliação do emprego de quitina e quitosana, extraídas de uma espécie de fungo, para remoção de metais pesados em um sistema aquoso, Franco et al (2004) constataram a viabilidade de produção desses polissacarídeos a partir da massa micelial de *Cunninghamella elegans* e o seu potencial de biossorção de metais pesados de ambientes poluídos. Observaram

que os níveis de bioissorção de metais relacionaram-se com a concentração e com o pH, sendo os melhores resultados obtidos em pH 4,0. Segundo o mesmo autor, a vantagem em extrair quitina e quitosana de um fungo, se deve ao fato de que a principal fonte desses polímeros são crustáceos e o isolamento dessas substâncias em escala industrial é limitado por causar problemas ao meio ambiente e pela dificuldade em encontrar determinados crustáceos dependendo da região.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as pesquisas realizadas na base de dados Scielo e Google verificou-se maior ocorrência de trabalhos sobre biorremediação de solos contaminados por hidrocarbonetos (58% do total dos trabalhos analisados), seguidos por estudos referentes à contaminação do solo com agrotóxicos de uso frequente como organoclorados (21% do total). Poucos trabalhos foram realizados quanto à degradação de fármacos (7% do total) e, em relação à contaminação do solo por metais pesados, não foram encontrados trabalhos nestas bases de dados no referente período.

Na maioria dos trabalhos analisados (43% do total) a técnica utilizada foi a bioestimulação, seguida da técnica de “landfarming”, que totalizou 29% dos trabalhos analisados. A utilização de bioaumentação foi observada em um percentual de 14% dos trabalhos encontrados, enquanto que a utilização de um biosensor foi encontrada também em 14% dos trabalhos pesquisados. No período estudado, não foram observados trabalhos utilizando técnicas de biorremediação passiva, bioventilação e compostagem.

No entanto, no Brasil e no mundo, o uso de técnicas de biorremediação é ainda restrito principalmente à ocorrência de graves acidentes ambientais que, frequentemente, são divulgados à população por meio da imprensa. O desenvolvimento de pesquisas com biorremediação pode 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, um país com 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.

REFERÊNCIAS

ARANTES, V.; MILAGRES, A. M. F. Relevância de compostos de baixa massa molecular produzidos por fungos e envolvidos na biodegradação da madeira. *Química Nova*. v. 32, n. 6, p. 1586-1595, 2009.

BAPTISTA, S. J.; CAMMAROTA, M.C.; FREIRE, D. D. C. Avaliação da bioestimulação em solos argilosos contaminados com petróleo. *Anais:...In: 2º Congresso Brasileiro de P & D em Petróleo & Gás 2004*.

BALLAMINUT, N. Caracterização fisiológica do inóculo de *Lentinus crinitus* (L.) Fr. CCB274 empregado em biorremediação de solo. Dissertação (Mestrado)-Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, Brasil, 2007.

BRITO, L. F. F. Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

CANGEMI, J.M.; SANTOS, A. M.; SALVADOR, G. O. C. N. Biodegradation of polyurethane

derived from castor oil. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. v. 18, n. 3, p. 201-206, 2008.

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 por Petróleo. *Anais...In: 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*, Salvador. 2005.

CERQUEIRA, V. S.; COSTA, J. A. V. Biodegradação de tolueno e óleo de peixe em solos impactados utilizando surfactantes químico e biológico. *Química Nova*. vol. 32, n. 2, p.394-400, 2009.

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)-Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil, 2008.

COELHO, N. S.; ALMEIDA, Y. M. B.; VINHAS, G. M. A biodegradabilidade da blenda de poli(β -hidroxibutirato-co-valerato)/amido anfótero na presença de microrganismos. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. v. 18, n. 3, p. 270-276, 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 herbicidas triazínicos. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.32, n.3, p.809-813, maio-junho., 2008.

CONCEIÇÃO, D.; JACQUES, R.; BENTO, F.; SIMONETTI, A.; SELBACH, P.; CAMARGO, F. Redução de cromo hexavalente por bactérias isoladas de solos contaminados com cromo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.37, n.6. p.1661-1667, nov-dez., 2007.

COSTA, A. F. S.; SILVA, J. R. R.; SANTOS, R. C. M. M.; FARIAS, C. B. B.; SARRUBO, L. A.; JORDÃO, R. C. C.; SALGUEIRO, A. A. Obtenção de consórcio de microrganismos a partir de amostra de petróleo. *Revista Ciências & Tecnologia*. Ano 1, n.1. julho-dezembro, 2007.

COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: Considerações Gerais e Características de Utilização. *Silva Lusitana*, v.15 n.1. p. 103-117, 2007.

DELLAMATRICE, p. M.; MONTEIRO, R. T. R. Isolation of diuron-degrading bacteria from treated soil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. v. 47, n. 6, p. 999-1003, novembro, 2004.

FANG-BO, Y.; LI-BO, G.; SHAN, Z. Isolation and preliminary characterization of a o-nitrobenzaldehyde degrading *Alcaligenes* sp. ND1. *Brazilian Journal of Microbiology*. n. 39, p. 776-779, 2008.

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. *Biocombustíveis: Ciência & Desenvolvimento*. n.34, p.36-43, janeiro-junho, 2005.

GOMES, E. B.; SORIANO, A. U.; MIRANDA, R. C. M.; SOUSA, M. F. V. Q.; PEREIRA, N.J. Biodegradation of stored Jet fuel by a *Nocardia* sp. isolated from contaminated soil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. v. 52n. 5, p. 1279-1284, setembro-outubro, 2009.

JACQUES, 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, julho-agosto, 2007.

JACQUES, R. J. S. Biorremediação de antraceno, fenantreno e pireno em um argissolo. Tese (Doutorado)-Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2005.

KREPSKY, N.; SILVA, F. S.; FONTANA, L. F.; CRAPEZ, M. A. C. Alternative methodology for isolation of biosurfactant-producing bacteria. *Brazilian Journal Biology*, v. 67, n.1. p.117-124, 2007.

LARENTIS, A. L.; ALVES, T. L. M.; MARTINS, O. B. Cloning and expression of meta-cleavage enzyme (CarB) of carbazole degradation pathway from *Pseudomonas stutzeri*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. v. 48, especial n., p. 127-134, junho, 2005.

50

MARIANO, A. P.; KATAOKA, A. P. A. G.; ANGELIS, D. F.; BONOTTO, D. M. Laboratory study on the bioremediation of diesel oil contaminated soil from a petrol station. *Brazilian Journal of Microbiology*. v. 38, p.346-353, 2007.

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, janeiro, 2007.

MARTINEZ, C. O.; SILVA, C. M. M. S.; FAY, E. F. Caracterização de bactérias e fungos envolvidos na degradação de sulfentazona em solos. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento-Embrapa Meio Ambiente*, Jaguariúna, SP, n.51, dezembro, 2008.

MEDAURA, M. C.; ÉRCOLI, E. C. Bioconversion of petroleum hydrocarbons in soil using filter cake. *Brazilian Journal of Microbiology*. v. 39, p. 427-432, 2008.

MILLIOLI, V. S.; SÉRVULO, E. F. C.; SOBRAL, L. G. S.; CARVALHO, D. D. Biorremediação de solo contaminado com óleo cru: avaliação da adição de ramnolipídios quanto à toxicidade e a eficiência de biodegradação. *Anais... In: 4º PDPEPETRO*, Campinas, SP. 2007.

MIRANDA, R. C.; SOUZA, C. S.; GOMES, E. B.; LOVAGLIO, R. B.; LOPES, C. E.; SOUSA, M. F. V. Q. Biodegradation of diesel by yeasts isolated from the Vicinity of Suape Port in the State

of Pernambuco-Brazil. Brazilian Archives of Biology and Technology. v. 50, n. 1, p. 147-152, janeiro, 2007.

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

MOREIRA, SÉRGIO LUIZ NETO. Enzimas ligninolíticas produzidas por *Psilocybe castanella* CCB444 em solo contaminado com hexaclorobenzeno. Dissertação (Mestrado)-Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, Brasil, 2006.

NITSCHKE, M.; PASTORE, G. M. Biossurfactantes: propriedades e aplicações. Química Nova, vol. 25, nº5, p. 772-776, 2002.

NAKATANI, A. S.; SIQUEIRA, J. O.; SOARES, R. F. S.; LAMBAIS, M. R. Comunidades microbianas, atividade enzimática e fungos micorrízicos em solo rizosférico de “landfarming” de resíduos petroquímicos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, n.32, p.1501-1512, 2008.

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. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/cetem_sta_45.pdf>. Acessado em 31/01/09.

OTENIO, M. H.; SILVA, M. T. L.; MARQUES, M. L. O.; ROSEIRO, J. C.; BIDOIA, E. D. Benzene, Toluene and Xylene biodegradation by *Pseudomonas putida* CCM1 852. Brazilian Journal of Microbiology. n. 36, p. 258-261, 2005.

51

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.XY, n. 00 1-5. Publicado na web em 12/02/09.

PAULA, A. M.; SOARES, C. R. F. S.; SIQUEIRA, J. O. Biomassa, atividade microbiana e fungos micorrízicos em solo de “landfarming” de resíduos petroquímicos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.10, n.2, p.448-455, Campina Grande, PB, 2006.

RIGO, M.; COUTINHO, M. R.; ALVAREZ, D. C.; BEZERRA, J. R. M. V.; BRANCO, I. G.; ALEGRE, R.M. Biodegradação de fenol por *Candida parapsilopsis* em reator contínuo (CSTR) pressurizado. Revista Ciências Exatas e Naturais. v. 8, n. 2, p.153-162, julho-dezembro, 2006.

RODRIGUES, A. S.; VALDMAN, B.; SALGADO, A. M. Analysis of methane biodegradation by *Methylosinus trichosporium* OB3B. Brazilian Journal of Microbiology. n. 40, p.301-307, 2009.

SANTOS, J. B.; PROCÓPIO, S. O.; PIRESF. R.; SILVA, A. A.; SANTOS, E. A. Fitorremediação de solo contaminado com trifloxysulfuron-sodium por diferentes densidades populacionais de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.). DC.). Ciências Agrotécnicas. Lavras, v.30, nº3, p. 444-449, maio/junho, 2006.

SILVA, R. R. Biorremediação de solos contaminados com organoclorados por fungos basidiomicetos

R
E
V
I
S
T
A

em biorreatores. Tese (Doutorado)-Instituto de Botânica da Secretaria de Meio Ambiente, São Paulo, Brasil, 2009.

SILVA, T. R.; VALDMAN, E.; VALDMAN, B.; LEITE, S. G. F. Salicylic acid degradation from aqueous solutions using *Pseudomonas fluorescens* HK44: parameters studies and application tools. *Brazilian Journal of Microbiology*. n. 38, p. 39-44. 2007.

SINHA, S.; MUKHERJEE, S. K. *Pseudomonas aeruginosa* KUCD1, a possible candidate for cadmium biorremediation. *Brazilian Journal of Microbiology*. n. 40, p.655-662, 2009.

URSZULA, G.; IZABELA, G.; DANUTA, W.; SYLWIA, L. Isolation and characterization of novel strain of *Stenotrophomonas maltophilia* possessing various dioxygenases for monocyclic hydrocarbon degradation. *Brazilian Journal of Microbiology*. n. 40, 285-291, 2009.

VINHAS, G. M.; ALMEIDA, Y. M. B.; LIMA, M. A. G. A.; SANTOS, L.A. Estudo das propriedades e biodegradabilidade de blendas de poliéster/amido submetidas ao ataque microbiano. *Química Nova*. v. 30, n. 7, p. 1584-1588, 2007.

VITALI, V. M. V.; MACHADO, K. M. G.; ANDREA, M. M.; BONONI, V. L. R. Screening mitosporic fungi for organochlorides degradation. *Brazilian Journal of Microbiology*. n. 37, p. 256-261, 2006.

WIECHETECK, F. V. B.; BISCAIA, I.; SCHERER, M. L.; GELINSK, R.; BUENO, T.; OLIVEIRA, Z. C. Z.; PILEGGI, M. Análise de resíduo suíno para avaliação de biorremediação e biodiversidade. *Publicações UEPG Ciências, Biologia e Saúde*, Ponta Grossa, v. 10 n. 1, p. 47-51, mar. 2004.

52