

As Vantagens da Biorremediação na Qualidade Ambiental

The Advantages of Bioremediation in Environmental Quality

Viviane Mallmann^{*a}; Lucas Wagner Ribeiro Aragão^a; Shaline Séfara Lopes Fernandes^a; Tauane Catilza Lopes Fernandes^b; Roberta Fernanda Ribeiro Aragão^a; Rogério César de Lara da Silva^a

^aUniversidade Estadual do Mato Grosso do Sul, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais. MS, Brasil.

^bUniversidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Zootecnia. MS-Brasil.

*E-mail:

Resumo

Perante o uso desmedido dos recursos naturais surge uma corrida em busca de encontrar alternativas possíveis de recuperação desses ecossistemas. E este artigo traz uma revisão bibliográfica com o intuito de apontar alguns aspectos, que vêm sendo discutidos por pesquisadores no campo da biorremediação como técnica de reversão de contaminantes, bem como de apontamentos de ações futuras que podem vir a ser realizadas para minimizar os impactos ambientais. Entre os apontamentos realizados pelos diferentes autores consultados para este manuscrito, fica evidenciado que as técnicas de descontaminação são onerosas e algumas ainda apresentam subprodutos tóxicos em seus processos. Em alternativa a esta realidade se buscou, ao longo dos anos, meios para solucionar estes problemas, e a biorremediação ganhou espaço em detrimento de suas vantagens. De acordo com os autores das bibliografias consultadas, a biorremediação, além de utilizar seres vivos na tentativa de recuperar estes ambientes degradados apresenta custo baixo e vem ganhando, atualmente, difusão no Brasil. Todavia, alguns pesquisadores apontam, em seus estudos, que não basta haver uma corrente em busca de alternativas com estas características para remediar os ambientes impactados, é necessário haver consciência e políticas mais severas que se atentem para vir a garantir uma produção mais sustentável sem degradar o ambiente.

Palavras-chave: Recursos Naturais. Políticas. Produção Sustentável. Ambientes impactados. Descontaminação

Abstract

In the face of the excessive use of natural resources, a race is underway to find possible alternatives for the recovery of such ecosystems. And this article brings a bibliographical review with the intention of pointing out some aspects that have been discussed by researchers in the field of bioremediation as a technique for reversing contaminants as well as notes of future actions that can be carried out to minimize the environmental impacts. Among the notes made by the different authors consulted for this manuscript, it is evidenced that the decontamination techniques are costly and some still have toxic byproducts in their processes. As an alternative to this reality, over the years efforts have been made to solve these problems, and bioremediation has gained space to the detriment of its advantages. According to the authors of the consulted bibliographies, bioremediation, in addition to using living beings in an attempt to recover these degraded environments present a low cost and has been gaining, currently, diffusion in Brazil. However, some researchers point out in their studies that it is not enough to have a current in search of alternatives with these characteristics to remedy impacted environments, it is necessary to have awareness and more severe policies that are taken care to ensure a more sustainable production without degrading the environment.

Keywords: Natural Resources. Policies. Sustainable Production. Impacted Environments. Decontamination.

1 Introdução

A realidade que se vive, atualmente, em se tratando dos recursos naturais, caminha na busca por remediar muitas agressões desmedidas realizadas pela população. Os chamados lixos, os subprodutos e os resíduos impactam diretamente o meio urbano e os ambientes naturais. O não conhecimento dos efeitos destes materiais, que foram sendo lançados no meio ambiente aliado com a despreocupação ambiental, conduz para a poluição/contaminação do solo e de todo ecossistema (BRAGA *et al.*, 2002).

Para reverter esse panorama é necessário empregar técnicas para recuperar os ambientes impactados, segundo a USEPA (1993), um plano típico de remediação pode ser executado a partir de quatro etapas: contenção do produto livre e produto dissolvido, remoção do produto livre, remoção do produto dissolvido, remoção do produto adsorvido.

Para tratar dos impactos ambientais, em ambientes antropizados, são utilizadas muitas técnicas na busca por descaminhá-los. Muitas são citadas e entre essas se destacam algumas que vêm ganhando força devido a inúmeros fatores, como o baixo custo e a reprodutibilidade em escala laboratorial para testar sua eficiência, esta é a biorremediação.

A biorremediação é desenvolvida, principalmente, por diversos gêneros de micro-organismos eucariontes e procariontes (SANCHES *et al.*, 2003), com o objetivo de degradar substâncias contaminadas presentes no solo, portadores de enzimas que realizam metabolismo para seu crescimento, remédiam os compostos químicos, reduzem as concentrações presentes no ambiente ou os tornam menos tóxicos (LEONEL *et al.*, 2010).

As técnicas de biorremediação microbiana fazem uso de micro-organismos ou compostos produzidos por esses para

degradar ou transformar contaminantes a formas menos tóxicas ou não tóxicas, visando recuperação do ambiente contaminado (CAUWENBERG; ROOTE, 1998; PEREIRA; FREITAS, 2012).

A biorremediação é possível por vários mecanismos e combinações com o intuito de restaurar a qualidade do solo e da água subterrânea. Avaliar o método qual será utilizado no processo requer, porém, uma série de cuidados para adaptar a melhor seleção de técnicas para o procedimento de recuperação. Entre esses se podem citar o conhecimento das características físico-químicas do contaminante, volume vazado, tempo de vazamento, caracterização geológica e hidrogeológica do local, análise do meio físico superficial e subterrâneo e extensão da pluma contaminante (SPILBORGH, 1997).

Na natureza tudo tende à transformação devido aos inúmeros processos bioquímicos e físicos. A geoquímica relacionada aos hidrocarbonetos é descrita em detalhes por Kaplan *et al.* (1997), que citam que os hidrocarbonetos lançados ao meio ambiente estão sujeitos às reações bióticas e abióticas no solo e na água subterrânea, controladas e diretamente relacionadas com a composição química do combustível (ou outro agente tóxico) e fatores ambientais locais, incluindo temperatura, umidade do solo e conteúdo de nutrientes e oxigênio. A granulometria do solo também é um importante parâmetro para controlar os processos de intemperismo. Entre algumas técnicas abióticas se destacam a hidrólise, a desidrogenação, a oxidação e a polimerização (LYMAN *et al.*, 1992).

Diante do exposto, este artigo buscou realizar uma revisão bibliográfica apontando quais métodos estão sendo utilizados com mais frequência por pesquisadores na implantação de biorremediação, seus objetivos, o tipo de material ao qual estão buscando descontaminar e a técnica utilizada para avaliar as respostas do processo implantado.

2 Desenvolvimento

2.1 Metodologia

Este artigo de revisão é inerente a uma revisão bibliográfica pautada em artigos científicos, bem como mídias impressas, tais como: jornais, revistas e periódicos. Os artigos, teses, dissertações e monografias foram obtidos em bibliotecas digitais de Universidades e sites de pesquisa, como: SciELO e Google Acadêmico. No campo de busca foi inserido o termo “biorremediação” e “micro-organismos”. Ao todo foram selecionados para elaboração da revisão doze manuscritos.

A partir de seu conteúdo foi buscado responder sete perguntas predeterminadas.

2.2 Discussão

2.2.1 O que tem se buscado remediar?

De acordo com os artigos se tem buscado remediar os solos, os ecossistemas impactados, as áreas degradadas, em especial, os solos argilosos e as águas subterrâneas. Sendo que

destes, 80% se referem aos impactos do solo. Esses resultados corroboram com os dados apresentados por outras fontes bibliográficas, segundo um levantamento realizado pela EPA – Environmental Protection Agency (EPA), (EPA, 1995), mais de 95% dos processos de biorremediação são empregados para descontaminação de solos e águas subterrâneas. Banforth e Singleton (2005) apontam a contaminação do solo, a 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, de transporte, de refino, de transformação e de utilização do petróleo e de seus derivados.

2.2.2 Dos procedimentos para biorremediação e das possibilidades

Antes de ir a campo se deve introduzir um agente descontaminante ou de buscar utilizar um micro-organismo para avaliar os resultados desse processo, existe um passo inicial, que se refere a realizar um monitoramento e experimentos laboratoriais, para indicar em qual escala ou proporções *in situ*, o experimento deverá se amparar, demonstrando o potencial que um determinado tratamento pode ter em estimular a remoção de xenobióticos de um local contaminado (BAILEY *et al.*, 1973). Esses experimentos são os que possuem maiores chances de representar resultados relevantes na prática a campo (BERTRAND *et al.*, 1983).

O fato de testar um experimento, laboratorialmente, não serve para dar a resposta respectiva ao meio ambiente, apenas serve para nortear as ações a campo, estabelecendo a credibilidade científica de uma determinada estratégia de biorremediação, não excluindo a necessidade de demonstrações em campo (ATLAS, 1997).

2.2.3 Os métodos citados como bioremediadores

Biossurfactantes: devido a muitas limitações como a não degradação dos surfactantes sintéticos, surgiu o interesse pelos biossurfactantes (surfactantes de origem microbiana): Algumas características: são produzidos por certas bactérias, leveduras e fungos, e têm aumentado devido à baixa toxicidade, natureza biodegradável e eficiência em valores de temperatura, pH e salinidade extremos e seu papel na recuperação de ecossistemas pela aceleração da biodegradação dos hidrocarbonetos provenientes de vazamentos. Aplicações secundárias: em alguns casos, apresentam capacidades antifúngicas, antivirais e de sorção de metais e são usados na indústria do petróleo para aumentar a recuperação do petróleo (OLIVEIRA *et al.*, 2005; PRUTHI; CAMEOTRA, 1997).

Bactérias e fungos: essas são amplamente utilizadas por realizarem o processo da biodegradação de muitos compostos, Atlas (1995) descreve a biodegradação dos hidrocarbonetos aromáticos, resultando na formação de cis-diols, enquanto que durante a biodegradação por fungos se formam trans-

dióis. Avaliando os pós-efeitos de biodegradação e vendo seus produtos, aponta-se que trans-dióis são potentes carcinogênicos e que os cis-dióis não são ativos biologicamente, apontando o procedimento realizado com as bactérias sendo mais efetivo, pois degradam os hidrocarbonetos aromáticos, detoxificando sem produção de carcinógenos potenciais.

Os fungos na oxirredução: geralmente, esses realizam reações de assimilação dos hidrocarbonetos, sendo esses a única fonte de carbono e energia, resultando na formação de dióxido de carbono. Podendo ser também pela reação de oxirredução. A oxidação de hidrocarbonetos aromáticos, por exemplo, iniciado com uma oxidação de óxidos de areno pelo citocromo (SINGH, 2006).

Micro-organismos/macro-organismos na biodeterioração: existe outro tipo de oxidação conhecido como deterioração biológica, apontado como fenômeno que envolve a participação de micro-organismos, como por exemplo, bactérias e fungos, ou de macro-organismos (cupins, roedores, etc.), contribuindo para a deterioração de materiais de importância econômica expostos às condições ambientais específicas.

2.3 Objetivos dos estudos

Entre os vários objetivos encontrados nesta revisão bibliográfica, apontam-se algumas das mais citadas:

- Avaliar a surfactina desidratada como agente potencializador da biorremediação. Avaliar as vantagens e desvantagens, bem como os aspectos do uso de fungos nos processos de biorremediação. Avaliar a técnica de biorremediação natural, utilizando testes *in vitro*, como forma de remediar um solo contaminado artificialmente com óleo vegetal de soja virgem. Avaliar o efeito da biorremediação na remoção de hidrocarbonetos alifáticos. Elencar as melhores técnicas a serem utilizadas na reversão de áreas contaminadas.

2.4 Neste ponto buscou-se elencar quais foram as técnicas utilizadas para avaliar e monitorar a biorremediação

Entre as técnicas utilizadas pelos autores, em seus artigos, destacaram-se: o monitoramento do processo de biorremediação propriamente dito, espectroscopia na região do UV-VIS (espectrofotômetro), métodos geoquímicos e microbiológicos e testes analíticos, e estatísticos para validar os métodos empregados.

2.5 Como foram empregadas as técnicas utilizadas para descontaminar as áreas de estudo?

Dos trabalhos analisados, 40% desses utilizaram em seus experimentos apenas a biorremediação. Outros 15% utilizaram a biorremediação e a fitorremediação, também com 15%, a biorremediação e remediação, outros 15% utilizaram a biorremediação passiva e um grupo de 15% se valeu das técnicas de biopilhas e biorremediação.

Dando destaque a alguns agentes utilizados nestes diversos

métodos aplicados isolados ou em consórcio se tem: micro-organismos e vegetais, *Penicillium brasilianum*, agentes biológicos, alguns fungos e fluido de ácido industrial.

O Quadro 1 expressa o custo de implantação de cada um dos sistemas de remediação conhecidos aplicados a solos, colocando em evidência os baixos custos, quando aplicados os métodos possíveis dentro dos tratamentos biológicos.

Quadro 1 - Custo estimado de remediação de solos para diferentes tipos de tratamento

Tratamento	Custo Estimado de Remediação (US\$) Tonelada
Remoção para Aterros	Acima de 100
Processos Físicos	
Lavagem de solo	25-150
Lavagem Físico-Química	50-175
Extração a vapor	75
Processos Químicos	
Extração por Solvente	50-600
Desalogenação Química	175-450
Correções superficiais	10-25
Tratamentos Térmicos	
Dessorção térmica	25-225
Incineração	50-1200
Tratamentos Biológicos	
Landfarming	10-90
Bioventilação	15-75
Biorreator de Lama	50-85
Biopilhas	15-35
Biorremediação <i>in-situ</i>	175

Fonte: Dados da pesquisa.

2.6 Itens contaminantes qual buscaram remediar

Entre os principais contaminantes citados na literatura consultada se aponta: resíduos sólidos, óleo diesel, mercúrio e cromo, óleo vegetal de soja e óleo cru. Sendo o petróleo o mais citado, apontado em 40% dos artigos.

A biorremediação é uma tecnologia ecologicamente viável para a remediação de solos contaminados, a qual utiliza o potencial metabólico dos micro-organismos para a retirada de compostos orgânicos, em especial, hidrocarbonetos de petróleo, que estejam presentes em ambientes poluídos, resultando na transformação desses compostos em produtos menos tóxicos, ou resultando na sua mineralização (MOLINA BARAHONA *et al.*, 2004; NAKAGAWA; ANDRÉA, 2006).

3 Conclusão

Analisando os artigos selecionados para esta revisão se percebeu que são amplas as áreas contaminadas não só no Brasil e que ainda existem muitas áreas para serem descontaminadas nos ambientes antropizados.

Os autores destacam, em seus manuscritos, que embora já se conheçam muitas práticas voltadas para a utilização de micro-organismos no processo de biorremediação, ainda existem avanços no campo da ciência, que precisam ser realizados para aprofundamentos nos mecanismos e

reproduções controladas das reações, que ocorrem durante os processos de biorremediação.

Os autores sugerem também que, concomitante a corrida na busca do desenvolvimento nos diferentes setores da sociedade, deve haver um roteiro traçado garantindo a sustentabilidade do projeto, evitando futuras contaminações. Eles apontam que, assim, em um futuro próximo não haveria a necessidade de implantação de sistemas de remediação.

Agradecimentos

A CAPES, pela bolsa concedida para a primeira autora. Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul.

Referências

ATLAS, R.M. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: an environmental perspective. *Microbiol Rev.*, v.45, n.1, p.180-208, 1981.

BAILEY, N.J.L.; JOBSON, A.M.; ROGERS, M.A. Bacterial degradation of crude oil: comparison of field and experimental data. *Chemical Geology*, v.11, p.203-221, 1973.

BERTRAND, J.C. et al. Microbial degradation of crude oil in sea water in continuous culture. *Biotechnol. Letters*, v.5, p.567-572, 1983.

BRAGA, B. et al. *Introdução à engenharia ambiental*. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CAUWENBERGHE, L.V.; ROOTE, D.S. *In situ bioremediation. technology overview report, to-98-01, groundwater remediation technologies analysis*. Pittsburgh: Center, 1998.

COLLA, L. M. et al. Isolamento e seleção de fungos para biorremediação a partir de solo contaminado com herbicida triazínicos. *Ciênc. Agrotec.*, v.32, n.3, p.809-813, 2008.

KAPLAN, I.R. et al. *Forensic environmental geochemistry: differentiation of fuel-types, their sources and release time*. *Org.*

Geochem., v.27, p.289-317, 1997.

LEONEL, L.V. et al. Biorremediação do solo. *Terra Cultura*, v.26, n.51, 2010.

LYMAN, W. J.; REIDY, P. J.; LEVY, B. Mobility and degradation of organic contaminants in subsurface environments. Chelsea: 1992.

MOLINA-BARAHONA, L. et al. Diesel removal from contaminated soils by biostimulation and supplementation with crop residues. *Appl. Soil Ecol.*, v.27, p.65-175, 2004.

NAKAGAWA, L.E.; DEANDRÉA, M.M. Efeito de alterações nas características do solo sobre a degradação de hexaclorobenzeno. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.30, n.3, p.575-582, 2006.

OLIVEIRA, F.J.S.; VASQUEZ, L.; FRANÇA, F.P. *Production of biosurfactants by Pseudomonas alcaligenes using palm oil*. In: 2TH MERCOSUR CONGRESS ON CHEMICAL ENGINEERING (ENPROMER), Costa Verde - RJ, Brazil, 2005.

PEREIRA, A.R.B.; FREITAS, D.A.F. Uso de micro-organismos para a biorremediação de ambientes impactados. *Rev. Eletr. Gestão, Educ. Tecnol. Amb.*, v.6, n.6, p.975-1006, 2012.

PRUTHI, V.; CAMEOTRA, S. S. Rapid identification of biosurfactant-producing bacterial strains using a cell surface hydrophobicity technique. *Biotechnol. Techniques*, v.11, n.9, p.671-674, 1997.

SANCHES, S. M. et al. Pesticidas e seus respectivos riscos associados à contaminação da água. *Pesticidas Rev. Ecotoxicol. Meio Amb.*, v.13, p. 53-58, 2003.

SINGH, H. *Mycoremediation: fungal bioremediation*. New Jersey: 2006.

SPILBORGHS, M.C.F. Biorremediação de aquífero contaminado com hidrocarboneto. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1997.

USEPA. Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms. Environmental monitoring systems laboratory: cincinnati office of research and development U.S. OHIO: Cornelius I. Weber, 1993.