
Aspectos gerais da ecotoxicologia, monitoramento ambiental, biodegradação e biorremediação

Hevelyn Regina da Silva Lima, Vanessa Oliveira Sales

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-03-9.c1>

Resumo

A contaminação ambiental é um problema que tem afetado os mais diversos ecossistemas. Compostos como agrotóxicos, medicamentos, produtos de higiene, estética, entre outros, são continuamente descartados no ambiente. O descarte inadequado desses produtos afeta os seres vivos e causa desequilíbrio ambiental. A ecotoxicologia é a área especializada no monitoramento e na avaliação dos impactos dos contaminantes ambientais, buscando medidas de contenção e remediação dos efeitos nocivos desses poluentes. Diversos bioindicadores e biomarcadores são utilizados como ferramentas biotecnológicas nesse processo de fiscalização e redução dos danos ambientais. A biorremediação é alternativa eficiente no controle da contaminação ambiental.

Palavras-chaves: bioindicadores, biomarcadores, contaminação ambiental, toxicidade.

Abstract

Environmental contamination is a problem that has affected the most diverse ecosystems. Compounds such as pesticides, medicines, hygiene and aesthetics products, among others, are continuously discarded into the environment. Improper disposal of these products affects the biosphere and causes environmental imbalance. Ecotoxicology is the area specialized in monitoring and evaluating the impacts of environmental contaminants, seeking measures to contain and remediate the harmful effects of pollutants. Several bioindicators and biomarkers are used as biotechnological tools in the processes of monitoring and reducing environmental damage. Bioremediation is an efficient alternative to control environmental contamination.

Key words: bioindicators, biomarkers, environmental contamination, toxicity.

1. Introdução

O termo ecotoxicologia foi proposto por René Truhaut em 1969, e corresponde a uma área da ciência que avalia as implicações das substâncias químicas sobre ecossistemas aquáticos, terrestres e os seres vivos que compõem esses habitats. Seus objetivos são conhecer os efeitos e as consequências da presença destas substâncias nos ecossistemas e propor soluções. A ecotoxicologia avalia a qualidade da água, efluentes e sedimentos em um determinado ecossistema (MAGALHÃES & FERRÃO FILHO, 2008).

A base da ecotoxicologia é estudar as interações das substâncias químicas, com os seres vivos e o ambiente. Os testes de toxicidade são realizados por meio da análise de quantificação, classificação e possíveis danos provocados por essas substâncias, no solo, água, efluentes, mas primordialmente em seres vivos, que são empregados como modelos para bioindicar algum dano ambiental (COSTA et al., 2008; TARAZONA, RAMOS-PERALONSO, 2014).

Os principais contaminantes químicos que atingem os ecossistemas são: agrotóxicos, efluentes de esgoto e indústrias, metais, medicamentos e resíduos residenciais. Esses compostos se incorporam no solo e na água, e através destes se disseminam e integram outros ambientes. A exposição a esses contaminantes pode causar intoxicações nos seres vivos, desencadeando danos biológicos e nos componentes bióticos, afetando o equilíbrio natural dos ecossistemas (THORNTONA et al., 2020).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (<https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/areas-contaminadas.html>), entende-se por local contaminado a *“área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria que contenha quantidades ou concentrações de quaisquer substâncias ou resíduos em condições que causem ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger, que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural”*.

2. Tipos de contaminação

A contaminação pode ocorrer através de três agentes (TOZONI, 2004):

- **Contaminação biológica:** Refere-se a presença de organismos, ou substâncias produzidas por eles, cujas suas concentrações excedem as quantidades normais de um local, afetando as condições naturais. Esse tipo de contaminação pode ser evitado ou controlado com hábitos de higiene, educação em saúde e saneamento.
- **Contaminação física:** Consiste na ocorrência de formas de energia que ultrapassem os padrões de normalidade, como por exemplo o excesso de temperatura, ruído, radioatividade entre outros. Essa contaminação tem um tempo duradouro de controle, pois suas fontes podem ser difíceis de ser identificadas e gerenciadas.
- **Contaminação química:** Corresponde a presença de substância química sintética ou natural que esteja em concentração irregular, das quais possuem implicações que modificam e prejudicam a natureza de um ecossistema.

3. Monitoramento ambiental

O monitoramento ambiental, também conhecido como avaliação ambiental, tem como propósito analisar a quantidade de contaminantes nos diversos setores ambientais (sedimento, ar, água, efluentes e biota). Essa avaliação constitui na coleta e estudo de amostras ambientais que podem ser obtidas de áreas internas como residências e indústrias, ou locais externos como no próprio ecossistema (FILIZOLA, GOMES, SOUZA, 2006; POZZA, PENTEADO, 2015).

- **Avaliação na água:** Essa análise exige investigação em um período da estação seca e um período da estação chuvosa, pois os recursos aquáticos são muito dinâmicos e dependem de fatores transitórios como profundidade, pH, temperatura, salinidade, variações diárias e sazonais.
- **Avaliação no sedimento:** Essa avaliação pode ser semestral ou anual em razão do acúmulo dos contaminantes serem por prazo de tempo maior. A

análise do sedimento envolve sua composição física e química, assim como os locais onde são mais abordados os contaminantes.

- **Avaliação no ar:** Nesse monitoramento encontram-se diversas variáveis que podem influenciar nas análises. Deste modo é fundamental considerar condições sazonais, meteorológicas e locais.
- **Avaliação no solo:** fatores como composição, umidade, pH, matéria orgânica e presença de organismos influenciam na absorção de contaminantes. Seus resultados são imprescindíveis devido a fixação dos contaminantes ao longo do tempo.
- **Avaliação no biótopo:** O biomonitoramento tem como base de pesquisa a ação dos contaminantes sobre os seres vivos de um ecossistema poluído. Esses indivíduos são os biomonitores ou bioindicadores de impacto ambiental, através de bioensaios eles são manejados para que por meio de alterações comportamentais, fisiológicas, celulares ou genéticas expressem resposta como sinais de estresse a contaminantes ambientais. Alguns critérios são importantes para seleção de bioindicadores, são eles: a abundância do indivíduo no local contaminado, e em outros onde possa ser encontrado; facilidade de coleta e identificação; sua sensibilidade aos estressores; e o ciclo de vida, sexo e idade dos indivíduos.

A resposta para contenção e redução dos efeitos de contaminantes nos ambientes, é a remediação. Ela consiste na aplicação de técnicas que visam a recuperação de uma área impactada reduzindo os riscos ambientais. Cada setor ambiental possui característica próprias, e por isso elas necessitam ser condicionadas nas técnicas de descontaminação, assim como o mecanismo de introdução e sob qual forma esse contaminante está presente. Na atmosfera se ele estiver em partículas sua remoção será por interceptação de objetos no solo, deposição gravitacional ou carregado pelas chuvas. Se for gasoso, a remoção será por absorção ou reação com materiais terrestres. Já na água assim como no solo podemos encontrar mecanismos físicos (sedimentação), químicos (oxirredução) ou biológicos.

A capacidade de degradação dos compostos químicos depende das suas propriedades (solubilidade, pH, pressão, concentração, capacidade de transformação, densidade, tamanho e composição), e sobre quais condições e locais eles estão inseridos; assim como sobre a quais organismos estão

expostos. Uma vez que é através de microrganismos que temos a biodegradação, esta tem destaque no cenário de remediação, uma vez que demonstra ser uma alternativa natural, e importante para os ciclos biogeoquímicos e com baixo impacto ambiental (JORGENSEN, 2008; JOUTEY et al., 2013).

O impulso para esta nova ciência foi a necessidade de compreender e tomar decisões sobre contaminantes ambientais. Entre a Segunda Guerra Mundial e a década de 1960, ocorreram vários eventos de poluição com consequências universalmente reconhecidas como inaceitáveis. A expertise para lidar com tais questões tornou-se crítica para a sociedade e várias ciências práticas se uniram na nascente ciência da ecotoxicologia. Além disso, a ecotoxicologia pode ser aplicada para acessar a capacidade de enriquecimento de poluentes orgânicos persistentes lipofílicos através da cadeia alimentar. Vem sendo usados atualmente estudos farmacocinéticos que são difíceis de simular a exposição de fundo e a exposição crônica a baixas doses (BUSCH et al., 2019; ZHOU et al., 2019).

Os estudos epidemiológicos, como um novo tipo de toxicologia, desempenham um papel muito importante na busca de biomarcadores sensíveis para avaliação de risco à saúde. Com a exposição das pessoas pode-se estimar algum grau de poluentes químicos.

Alguns pontos bastante relevantes no monitoramento ambiental são:

- A comunidade biológica é o grupo geral de organismos vivos dentro do sistema é composta por organismos de diferentes espécies. Os grupos de organismos da mesma espécie que vivem em um determinado ecossistema são denominados populações.
- Os ecossistemas são caracterizados por duas propriedades de grande importância: redundância e resiliência. Redundância significa que, em geral, existem várias espécies desempenhando papéis iguais ou semelhantes e que os indivíduos/espécies têm uma capacidade potencial de reprodução/desenvolvimento muito maior do que a realmente expressa. A redundância e a resiliência estão diretamente conectadas: como a toxicidade é específica para cada espécie, no caso de um estresse químico as espécies menos sensíveis podem assumir o papel e manter a função geral até que as mais sensíveis possam se recuperar.

- Biomarcadores e bioindicadores podem oferecer informações relevantes para a identificação de alguns grupos químicos. Métodos de triagem analítica, isoladamente ou em combinação com a detecção toxicológica por meio de técnicas de avaliação de identificação de toxicidade.
- Para sistemas aquáticos, a amostragem é particularmente difícil em emissões episódicas e acidentais; matéria suspensa, sedimento ou mesmo biota podem ser usados para produtos químicos com forte ligação e/ou potencial de bioacumulação.
- Como a poluição química raramente é o único estresse ecológico em um ecossistema, a avaliação e o diagnóstico de efeitos químicos não letais, particularmente no nível supra espécies, como peneiras populacionais ou comunitárias, são particularmente difíceis. Biomarcadores de exposição ou efeitos são particularmente úteis nessas situações, mas infelizmente estão atualmente limitados a um grupo muito restrito de produtos químicos.
- A capacidade de realizar avaliações realistas para efeitos combinados associados a fontes não pontuais ou amplamente dispersas ainda não foi desenvolvida, com o estado da arte atual estamos longe de ser capaz de lidar adequadamente com esses efeitos, identificando as relações de causa e efeito.

4. Biodegradação e biorremediação

A industrialização global e o uso intensivo de substâncias químicas como derivados de petróleo, solventes, pesticidas e metais pesados tendem a causar poluição do solo, da água e do ar. Consequentemente, há uma crescente preocupação da população com o risco desses ambientes contaminados para a saúde humana e ecológica. A população cada vez maior e a rápida expansão dos ambientes urbanos exigem remediação.

O método tradicional de remediação que envolve simplesmente a remoção do solo de um local contaminado para um aterro (“cavar e despejar”) não é uma solução sustentável, pois apenas transfere o contaminante de um local para outro e apresenta um risco considerável devido aos requisitos de escavação, manuseio e transporte de materiais perigosos.

A biorremediação que utiliza organismos vivos, principalmente microrganismos (bactérias, fungos e microalgas) ou seus processos para

degradar ou desintoxicar contaminantes ambientais, é um método econômico e ambientalmente seguro para descontaminar solos e águas poluídas, e é uma alternativa aos custosos processos físico-químicos.

Diferentes campos de biorremediação, como microbiana, enzimática e fitorremediação e suas correlações com outras áreas das ciências estão resumidamente apresentadas na Figura 1.

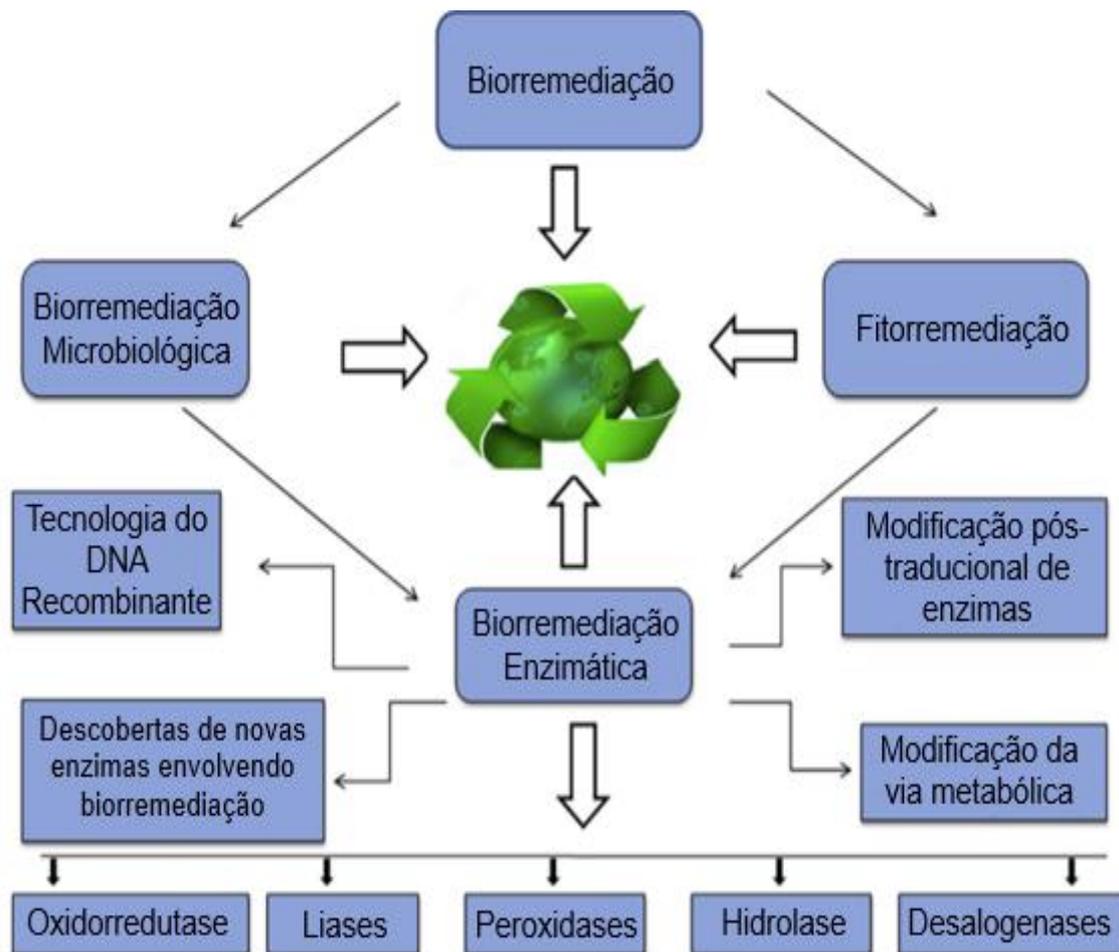


Figura 1. Uma visão geral de metodologias combinatórias para biorremediação. Fonte: adaptado de SHARMA, DANGI & SHUKLA (2018).

Tecnologias de remediação como de microrganismos, especialmente bactérias, microalgas e cianobactérias, têm a capacidade de utilizar contaminantes orgânicos danosos ao ambiente como fontes de carbono, energia ou outros nutrientes. Embora a biorremediação seja vista como uma nova

tecnologia, o uso de microrganismos no tratamento de resíduos data de pelo menos um século. Muitas vezes, os locais contaminados são complexos, pois os contaminantes ocorrem em combinação, geralmente orgânicos com inorgânicos, ou produtos químicos originais com seus produtos de degradação.

A biorremediação bem-sucedida deve, portanto, ter uma abordagem integrada envolvendo disciplinas como microbiologia, engenharia, química, ecologia e geologia. A principal vantagem da biorremediação é que a remediação realizada no local geralmente mantém a interrupção do local ao mínimo e elimina os custos de transporte. Outra característica importante da biorremediação é a desintoxicação ou mineralização do poluente em CO₂, H₂O e biomassa, que envolve a remoção completa e permanente do contaminante, eliminando assim o risco e a responsabilidade a longo prazo do contaminante (STENUIT; AGATHOS, 2019).

A biorremediação projetada pode ser uma opção preferencial em relação à biorremediação intrínseca se houver necessidade de remoção rápida de um contaminante ou se houver uma ameaça imediata aos ecossistemas ou à saúde humana. A biorremediação projetada requer menos tempo e depende da aceleração do processo de biodegradação por microrganismos, reduzindo assim a responsabilidade de longo prazo associada ao monitoramento do local e custos (STENUIT; AGATHOS, 2019).

A biodegradação é uma propriedade muito importante para produtos químicos tóxicos, porque se a taxa de biodegradação for alta, a concentração e, portanto, o efeito tóxico será reduzido rapidamente, enquanto produtos químicos muito persistentes manterão seu efeito tóxico por muito tempo. Quando a biodegradação está completa, o processo é chamado de "mineralização". No entanto, na maioria dos casos, o termo biodegradação é geralmente usado para descrever quase qualquer mudança biologicamente mediada em um substrato. A matéria biodegradável é geralmente material orgânico, como matéria vegetal e animal e outras substâncias originárias de organismos vivos, ou materiais artificiais que são semelhantes o suficiente à matéria vegetal e animal para serem utilizados por microrganismos.

A biodegradação e a bioreciclagem do plástico surgem como uma adição aos métodos convencionais de reciclagem de resíduos plásticos. A revisão feita descreve estudos recentes sobre bioreciclagem e biodegradação de polímeros

sintéticos catalisados por enzimas. Muitos campos de especialização têm sido utilizados nos estudos descritos, como química de polímeros, microbiologia, mutagênese, proteínas e engenharia de processos (PECHAKOVA, 2021).

A aplicação desse conhecimento interdisciplinar inovador oferece novas perspectivas para a gestão de resíduos ambientais e leva a uma economia circular sustentável. A degradação enzimática de materiais plásticos surge como uma adição ou alternativa ao gerenciamento convencional de resíduos plásticos mecânicos e químicos.

A bioreciclagem em escala industrial de uma variedade de polímeros sintéticos torna-se possível a partir do conhecimento obtido pela crescente pesquisa sobre biodegradação de plásticos e posterior engenharia das enzimas naturalmente evoluídas para biocatalisadores mais ativos, específicos e termoestáveis. Por ser biorremediação por microrganismos um processo lento, o uso de enzimas microbianas separadas de suas células pode trazer mais velocidade aos processos de degradação das moléculas poluentes. As enzimas atuam como catalisadores de uma série de reações bioquímicas envolvidas nas vias de degradação de poluentes (Tabela 1).

A biorremediação baseada em extratos enzimáticos brutos ou parcialmente purificados não depende do crescimento de um determinado microrganismo em ambiente poluído, mas sim da atividade catalítica da enzima secretada pelos microrganismos, o que é uma vantagem especialmente em solos pobres em nutrientes. Além disso, os produtos secundários tóxicos produzidos pela biotransformação microbiana não são produzidos utilizando-se a biotransformação enzimática, que é segura para o meio ambiente.

Tabela 1. Enzimas envolvidas na biorremediação e suas funções.

Enzimas	Funções
OXIDORREDUTASES	
Oxigenases	Catalisam a oxidação de compostos aromáticos, como bifenilos clorados, olefinas alifáticas, incorporando uma ou duas moléculas de oxigênio e tornando-as propensas a transformação e mineralização adicionais.
Lacases	Clivam o anel presente em compostos aromáticos e reduzir uma molécula de oxigênio na água e produzir radicais livres.
Peroxidases	Catalisam a reação de redução na presença de peróxidos, como o peróxido de hidrogênio (H ₂ O ₂) e gerar radicais livres reativos após a oxidação de compostos orgânicos.
HIDROLASES	
Lipases	Hidrolisam o triglicerol em glicerol e ácido graxo. São amplamente utilizadas para tratamento de águas residuais, degradação de hidrocarbonetos poliaromáticos etc.
Celulases	Decompõem materiais celulósicos complexos em açúcares simples e são comumente usadas no tratamento de resíduos agrícolas como resíduos de algodão, serragem e palha de arroz.
Carboxilesterases	Catalisam a hidrólise da ligação éster carboxílico presente em pesticidas sintéticos como organofosforados com adição de água.
Fosfotriesterases	Catalisam a hidrólise de fosfotriésteres, os principais componentes de compostos organofosforados usados mundialmente em pesticidas e que causam intoxicações graves e morte.
Haloalcanos dehalogenases	Usadas na biodegradação de compostos alifáticos halogenados, como 1,2,3-tricloropropano.

Fonte: Adaptado de SHARMA, DANGI & SHUKLA (2018).

5. Estratégias de aplicação da biorremediação

Entre tantas tecnologias de atenuação a danos ambientais provocados por compostos tóxicos, a biorremediação tem papel de destaque. Essa técnica é uma das práticas biológicas, que utilizando-se de seres vivos ou componentes deles, tem a finalidade de degradar, transformar, reduzir ou até mesmo remover

compostos nocivos de uma matriz ambiental, de modo a tratá-la e torná-la apropriada para sobrevivência e uso (MALLMAN et al., 2019). A eficiência e os resultados de um processo de biorremediação são obtidos com a aplicabilidade das etapas de biorremediação que são: o estudo dos caracteres bioquímicos, geofísicos e hidrológicos do ambiente, a análise do tipo e quantidade do contaminante local, a avaliação dos riscos e legislação vigente. Outro fator importante a ser levado em consideração é capacidade de adaptação da população microbiana na degradação dos contaminantes, assim como na sua manutenção no ambiente. Os tratamentos podem ser aplicadas de duas formas: “*in situ*” onde o processo é realizado no próprio local onde está a contaminação, e “*ex situ*”, onde ocorre a retirada da região contaminada, seja efluente ou solo para que seja recuperado em um outro local (COLLA, 2012).

5.1. Tratamentos *in situ* (SINCISNO, OLIVEIRA-FILHO; 2013):

- **Natural:** Também conhecida como biorremediação intrínseca ou passiva, é um processo mais lento e que exige um monitoramento longo da concentração de indicadores geoquímicos, tais como pH, quantidade de oxigênio dissolvido, temperatura, dentre outros fatores.
- **Bioestimulação:** Nesse processo é importante que exista no local contaminado uma população natural de microrganismos capazes de biodegradar os contaminantes presentes, pois a atividade microbiana será estimulada através da introdução de nutrientes inorgânicos e orgânicos. Essa técnica deve ser operada com criteriosa avaliação, com o intuito de controlar precisamente os tipos de nutrientes necessários e suas dosagens adequadas para o tratamento.
- **Landfarming:** Consiste na inserção de resíduo oleoso com carbono orgânico concentrado na superfície do solo contaminado para promover a biodegradação dos diferentes constituintes do petróleo, com a própria microbiota do solo. Nesse processo, os resíduos são dispersos no solo por meio das técnicas de aração e gradagem, com o objetivo de promover uma mistura uniforme entre o material destinado à biodegradação e o solo, sendo necessários, no entanto,

ajustes nas condições do solo a fim de maximizar as atividades biológicas.

- **Fitorremediação:** Técnica que utiliza de plantas para remediar o solo contaminado por metais pesados, compostos orgânicos e radionuclídeos.
- **Bioaugmentação:** Opção para áreas com alto grau de deterioração, uma vez que se otimiza o poder de degradação por aumentar a população de organismos específicos. Consiste em uma técnica baseada na inoculação de populações de microrganismos selecionados ou consórcios microbianos para degradação de determinados tipos de poluentes e/ou contaminantes. Mais usado quando o solo recebe um xenobiótico e não há populações microbianas capazes de degradar eficientemente este composto.

A vantagem dos procedimentos “*in situ*” está no fato de promoverem um menor impacto ambiental, em razão das técnicas de tratamento serem nos próprios locais contaminados. Elas também são adequadas para grandes áreas a serem tratadas, pois suas metodologias não implicam na remoção de solo, água ou outros; garantindo a segurança do habitat, dos trabalhadores; e com investimento mais barato.

5.2. Tratamentos *ex situ*

Nesta modalidade ocorre a retirada da região contaminada, seja efluente ou solo para que seja recuperado em um outro local. Esse tratamento é utilizado para locais com alto potencial de disseminação dos contaminantes. Dentre as técnicas destacam-se os processos de compostagem e biorreatores (SINCISNO, OLIVEIRA-FILHO, 2013):

- **Compostagem:** O solo é retirado do local original e disposto em pilhas. Nesse caso, os organismos inseridos/presentes nele serão responsáveis por metabolizar os poluentes, transformando-os em água, matéria orgânica e gás carbônico, compondo um substrato húmifero, rico em nutrientes minerais.
- **Biorreatores:** sistemas fechados, onde os componentes a serem remediados são misturados com compostos de tratamentos, sobre condições totalmente controladas. Nessa técnica de biorremediação,

um inóculo contaminado (proveniente da própria população presente no ambiente contaminado) é misturado com água e introduzido em um reator previamente preenchido com carvão, plástico, esferas de vidro ou terra diatomácea, que permitem a obtenção de grande área superficial e a rápida formação de biofilmes responsáveis pela biodegradação da substância de interesse.

A vantagem dos procedimentos “*ex situ*” com a remoção de áreas contaminadas, se observa através da prevenção de possíveis contaminações de pessoas, outros animais ou ambientes próximos do local contaminado, da transmissão de vetores de doenças, que se proliferam durante a decomposição. E o reaproveitamento de resíduos orgânicos (por exemplo, com a técnica da compostagem).

6. Conclusão

A biorremediação fornece ferramentas para combater a poluição, melhorando os processos naturais de biodegradação. Ampliar a compreensão das comunidades microbianas, suas respostas ao ambiente natural e aos poluentes, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias que sejam eficazes e econômicas para aplicação em ambientes poluídos, certamente são fundamentais para a sua aplicação em larga escala.

7. Referências

BUSCH, J.; BARTHLOTT, W.; BREDE, M.; TERLAU, W.; MAIL, M. Bionics and green technology in maritime shipping: an assessment of the effect of *Salvinia* air-layer hull coatings for drag and fuel reduction. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, 2019. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2018.0263>.

COLLA, Tatiana. Avaliação da biorremediação de solo contaminado pela mistura B10 por consórcio bacteriano. Dissertação (mestrado), 2012. Instituto de ciências básica da saúde, Programa de pós-graduação em microbiologia agrícola e do meio ambiente, UFRGS, Porto Alegre- Rs, 2012.

COSTA, Carla Regina; OLIVI, Paulo; BOTTA, Clarice M. R.; ESPINDOLA, Evaldo L. G.; A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**. São Paulo, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

FILIZOLA, Heloisa Ferreira; GOMES, Marco Antônio Ferreira; SOUZA, Manoel Dornelas de. Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

JORGENSEN, S.E.; *Biodegradation. Encyclopedia of Ecology*, p. 366-367, 2008.

JOUTEY, Nezha T.; BAHAFID, Wifak; SAYEL, Hanane; GHACHTOULI, Naïma E. *Biodegradation: Involved Microorganisms and Genetically Engineered Microorganisms*. 2013. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/45093>. Acesso em: 16 jan. 2022. DOI: 10.5772/56194.

MAGALHÃES, Danielly de Paiva; FERRÃO FILHO, Aloysio da Silva. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Oecologia brasiliensis**. Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 355-381, 2008.

MALLMANN, Viviane, et al. A vantagem da biorremediação na qualidade ambiental. *Ensaio e Ciência*. 2019. Disponível em: <file:///C:/Users/Windows/Downloads/4580.pdf> . Acesso em 22, Nov. 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Áreas Contaminadas. Disponível.:<<https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/areas-contaminadas.html>>. Acesso em: 8 Jan. 2022.

PECHAKOVA, L.S.L. *Recent studies on enzyme-catalysed recycling and biodegradation of synthetic polymers; Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, v.4. p 151-158, 2021. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542504821000361>

POZZA, Simone; PENTEADO, Carmenlucia. Monitoramento e Caracterização ambiental. São Carlos : EdUFSCar, p.101, 2015.

SHARMA, Babita; DANGI, Arun K.; SHUKLA, P. Contemporary enzyme-based technologies for bioremediation: A review. **Journal of Environmental Management**, v.210, p.10-22.2018.

SINSINO, Cristina e OLIVEIRA-FILHO, Eduardo. Princípios da toxicologia ambiental. 1º ED. Rio de Janeiro- RJ. Editora Interciência Ltda. 2013.

STENUIT, B.A; AGATHOS, S.N. Biodegradation and Bioremediation of TNT and Other Nitro Explosives. **Comprehensive Biotechnology**, v.6, p.181-196, 2019.

TARAZONA, J.V.; RAMOS-PERALONSO, M.J. Ecotoxicology. *Encyclopedia of Toxicology*. p.276-280, 2014.

THORNTONA, S.F; H.C.G. NICHOLLSA, H.C.G; ROLFEB, S.A; MALLINSONA, H.E.H; SPENCE, H.E.H. Biodegradation, and fate of ethyl tert-butyl ether (ETBE) in soil and groundwater. **Journal of Hazardous Materials**, v.391, 2020.

TOZONI – REIS, M. F. C. Educação Ambiental: natureza, razão e história. Campinas, SP: Autores Associados. 2004. (Coleção educação contemporânea).

ZHOU, H; XIANG, N; XIE, J; DIAO, X. *Ecotoxicology. The History and Present Direction*. v.1, p. 415-423, 2019.

Autores

Hevelyn Regina da Silva Lima, Vanessa Oliveira Sales

1. Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Ambiental (PBA).
Universidade Estadual de Maringá. pg403631@uem.br,
hevelynregina@hotmail.com, pg54932@uem.br,
vanessa.oli.sales@hotmail.com.