

MICROORGANISMO NA BIORREMEDIAÇÃO CONTRA CONTAMINAÇÃO DE METAIS PESADOS NO USO DE PESTICIDAS**MICROORGANISM IN BIOREMEDIATION AGAINST HEAVY METAL CONTAMINATION IN PESTICIDE USE** <https://doi.org/10.63330/aurumpub.012-003>**Leidson Ramos de Sousa**

Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP, Recife-Pe
E-mail: leidson_ramos@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5431-578X>

João Vitor da Silva Chagas

Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP, Recife-Pe, Brasil.
E-mail: vtorchagas@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8358-9821>

Itamar Victor de Lima Costa

Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP, Recife-Pe, Brasil.
E-mail: itamarvictor23@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0653-5992>

RESUMO

O uso recorrente de pesticidas na agricultura tem promovido a contaminação do solo por metais pesados, como chumbo (Pb), mercúrio (Hg), cádmio (Cd) e níquel (Ni), que se acumulam nos organismos vivos devido à sua similaridade iônica com elementos essenciais ao metabolismo celular. A biorremediação, especialmente através do uso de fungos, surge como uma alternativa sustentável e eficaz para mitigar os impactos dessa contaminação. Fungos filamentosos e micorrízicos apresentam elevada capacidade de biossorção e bioacumulação de metais pesados, atuando na mobilização, precipitação e imobilização desses poluentes. Essas espécies produzem enzimas extracelulares, como a fosfatase ácida, que além de contribuir para a liberação de nutrientes como fósforo, interferem na disponibilidade de metais no solo, reduzindo sua absorção pelas plantas. A inoculação controlada de fungos, como *Aspergillus niger*, *Penicillium* sp. e *Trichoderma harzianum*, tem demonstrado resultados promissores na redução da toxicidade e na recuperação de solos agrícolas contaminados. Assim, os fungos representam uma ferramenta estratégica no enfrentamento da poluição por pesticidas, contribuindo para a sustentabilidade ambiental, a segurança alimentar e a saúde pública.

Palavras-chave: Biorremediação; Metais pesados; Pesticidas; Fungos.

ABSTRACT

The recurrent use of pesticides in agriculture has led to soil contamination by heavy metals such as lead (Pb), mercury (Hg), cadmium (Cd), and nickel (Ni), which accumulate in living organisms due to their ionic similarity to elements essential for cellular metabolism. Bioremediation, particularly through the use of fungi, emerges as a sustainable and effective alternative to mitigate the impacts of this contamination.



Filamentous and mycorrhizal fungi exhibit a high capacity for biosorption and bioaccumulation of heavy metals, acting in the mobilization, precipitation, and immobilization of these pollutants. These species produce extracellular enzymes, such as acid phosphatase, which not only contribute to the release of nutrients like phosphorus but also influence the availability of metals in the soil, reducing their uptake by plants. Controlled inoculation of fungi such as *Aspergillus niger*, *Penicillium* sp., and *Trichoderma harzianum* has shown promising results in reducing toxicity and restoring contaminated agricultural soils. Thus, fungi represent a strategic tool in addressing pesticide pollution, contributing to environmental sustainability, food security, and public health.

Keywords: Bioremediation; Heavy metals; Pesticides; Fungi.



1 INTRODUÇÃO

A biorremediação é um processo biotecnológico que utiliza organismos vivos, especialmente microrganismos como bactérias e fungos, para transformar ou remover poluentes de ambientes contaminados (SANTOS et al., 2024). Essa técnica destaca-se por ser eficiente, economicamente viável e ambientalmente sustentável, sendo aplicada principalmente no tratamento de solos contaminados por resíduos tóxicos, incluindo metais pesados resultantes do uso excessivo de pesticidas na agricultura (OLIVEIRA et al., 2023).

A eficácia da biorremediação depende de diversos fatores, como a natureza do contaminante, a disponibilidade de nutrientes, pH, temperatura, oxigenação e a escolha adequada dos microrganismos (NASCIMENTO e FREITAS, 2024). Dentre os organismos utilizados, os fungos possuem notável capacidade de adaptação a ambientes contaminados, apresentando mecanismos metabólicos sofisticados que permitem a degradação de compostos complexos e a imobilização ou transformação de metais pesados em formas menos tóxicas (SHARMA et al., 2022).

Os fungos micorrízicos, em especial, formam associações simbióticas com raízes de plantas, facilitando a absorção de nutrientes e contribuindo simultaneamente para a estabilização de contaminantes no solo. Essa simbiose, conhecida como micorrização, melhora a saúde do solo e favorece o crescimento vegetal, mesmo em ambientes impactados por resíduos tóxicos (KUMAR et al., 2021). Além disso, espécies dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Trichoderma* são amplamente estudadas devido à sua eficiência na bioabsorção e bioacumulação de metais como cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu) e mercúrio (Hg).

A manipulação genética de fungos também representa uma estratégia promissora para potencializar sua ação biorremediadora, aprimorando a tolerância a metais e a produção de enzimas como a fosfatase ácida, que interfere na disponibilidade de nutrientes e metais no solo (SANTOS et al., 2024). Dessa forma, os fungos não apenas contribuem para a remediação ambiental, mas também reduzem a necessidade de métodos químicos agressivos, minimizando os impactos ecológicos.

Portanto, a biorremediação fúngica surge como uma solução estratégica e sustentável para o enfrentamento da contaminação por metais pesados decorrente do uso de pesticidas, oferecendo não só recuperação ambiental, mas também proteção à saúde humana e ao equilíbrio ecológico.

2 METODOLOGIA

Esta pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão bibliográfica com foco em estudos que abordam metodologias aplicadas à biorremediação de metais pesados em solos contaminados. A coleta de dados foi realizada a partir de publicações indexadas nas bases SciELO, ScienceDirect, Google Scholar e Scopus, considerando artigos publicados entre 2010 e 2025. Os principais critérios de inclusão envolveram estudos que aplicaram técnicas microbiológicas com uso de fungos e outras estratégias de remediação



ambiental de solos contaminados por metais pesados oriundos de atividades agrícolas com uso de pesticidas.

Dentre as abordagens mais discutidas, destacam-se a biorremediação *in situ* e *ex situ*, ambas fundamentais para determinar a melhor forma de aplicação dos microrganismos em função das características do local contaminado (Leonel et al., 2010). Estas abordagens são aplicadas através de técnicas como bioestimulação, bioaumentação, *landfarming* e fitorremediação, variando de acordo com o tipo de solo, concentração do poluente e tipo de metal a ser tratado.

Esta revisão buscou reunir, analisar e discutir os principais métodos utilizados na biorremediação fúngica, com foco na bioissorção de metais pesados, como proposta metodológica viável para o desenvolvimento de soluções aplicáveis à realidade agrícola brasileira.

3 BIORREMEDIAÇÃO DE SOLOS CONTAMINADOS

A biorremediação de solos contaminados por metais pesados tem sido amplamente investigada, sobretudo pelo potencial dos microrganismos, especialmente fungos, em promover a detoxificação ambiental. Estes organismos demonstram notável capacidade de adaptação e mecanismos bioquímicos que facilitam a bioissorção, bioacumulação e transformação de metais tóxicos em formas menos agressivas ao meio ambiente (Soares et al., 2011; Farias, 2014). Estudos recentes enfatizam a importância da aplicação estratégica dessas técnicas, seja *in situ* ou *ex situ*, com destaque para processos de bioestimulação, bioaumentação e fitorremediação (Leonel et al., 2010).

A Tabela 1 apresenta uma síntese de pesquisas relevantes selecionadas que investigam diferentes abordagens da biorremediação utilizando microrganismos, com foco na remoção de metais pesados oriundos de defensivos agrícolas e outras fontes poluentes. Destacam-se os trabalhos de Leonel et al. (2010), que abordam a utilização de microrganismos na biorremediação de solos contaminados por defensivos agrícolas e derivados de petróleo; Soares et al. (2011), que exploram o papel dos fungos na remediação de solos e águas contaminados; e Farias (2014), que avalia a eficiência de diferentes espécies fúngicas na remoção de cobre, zinco e manganês em soluções sintéticas.

Essa compilação, conforme demonstrado na Tabela 1, evidencia a diversidade metodológica e o potencial adaptativo dos fungos na biorremediação, consolidando a base científica para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de recuperação ambiental em solos impactados por metais pesados.



Tabela 1: Estudos destacados sobre biorremediação de metais pesados em solos: autores, objetivos e abordagens

TÍTULO	ANO	AUTORES	OBJETIVOS
BIORREMEDIAÇÃO DO SOLO	2010	Leonel et al.	Biorremediação com microrganismo contra metais pesados nos Defensivos Agrícolas e Derivados de Petróleo
Fungos na Biorremediação de Áreas Degradadas	2011	Soares et al.	Biorremediação com Fungos na Contaminação de Metais Pesados no Solo e na Água
Aplicação de microrganismo na remediação de áreas contaminadas por metais pesados	2014	Farias	Selecionar linhagens fúngicas com potencial de remoção de cobre, zinco e manganês, utilizando soluções sintéticas.

Fonte: Autoria Própria.

4 USO DE FUNGOS NA REMEDIAÇÃO DE METAIS PESADOS: POTENCIAL DA BIOSSORÇÃO

No que tange aos microrganismos utilizados, a estratégia de bioissorção com fungos tem se mostrado altamente eficiente. Certas cepas de basidiomicetos, segundo Soares et al. (2011), apresentam alta capacidade de absorver e concentrar metais pesados em sua biomassa, oferecendo uma via promissora para a remediação de ambientes contaminados. Essa capacidade é atribuída à presença de grupos funcionais nas paredes celulares fúngicas, como aminas, carboxilas e hidroxilas, que interagem com os íons metálicos.

Estudos conduzidos por Farias (2014) demonstraram o uso de diversas espécies fúngicas no processo de bioissorção, como *Aspergillus versicolor*, *Penicillium corylophilum*, *Penicillium chrysogenum* e *Saccharomyces cerevisiae*, em meio contendo galactose, maltose e xilose. Os resultados evidenciaram eficiência na remoção de metais como zinco (Zn) e cobre (Cu). Outro estudo de destaque é o de Rocha (2017), que evidenciou a eficácia da espécie *Aspergillus niger* na remediação de solos contaminados com zinco, apresentando alto potencial de bioacumulação.

5 ESTRATÉGIAS BIOTECNOLÓGICAS PARA REMEDIAÇÃO DE SOLOS: CONVERGÊNCIA ENTRE PESQUISA, APLICAÇÃO E EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Os estudos de Leonel et al. (2010) e Soares et al. (2011) convergem ao destacar a importância da biorremediação como uma estratégia promissora para a recuperação de solos contaminados, embora enfoquem aspectos distintos do tema. Leonel et al. (2010) apresentam um enfoque mais aplicado, analisando técnicas específicas como bioestimulação, bioaumentação, landfarming e o uso de biossensores, evidenciando sua eficácia no tratamento de solos contaminados por metais pesados provenientes de defensivos agrícolas e derivados de petróleo. Em contrapartida, Soares et al. (2011) ampliam a discussão ao incluir a busca por novos microrganismos com potencial biorremediador e ressaltam a dimensão social



e cultural da adoção dessas tecnologias, destacando a necessidade de conscientização e educação ambiental para superar a resistência social associada à biorremediação.

Ambos os estudos reconhecem a gravidade da contaminação do solo por agrotóxicos, especialmente compostos organoclorados, cuja persistência e alta toxicidade representam um desafio ambiental crítico. Leonel et al. (2010) destacam a predominância desses poluentes e a escassez de pesquisas voltadas para a contaminação por metais pesados e técnicas específicas de biorremediação. Já Soares et al. (2011) enfatizam o potencial dos fungos basidiomicetos, particularmente na degradação de poluentes orgânicos persistentes como o pentaclorofenol (PCP), reforçando o papel fundamental desses organismos no processo de recuperação ambiental.

O estudo de Farias (2014), por sua vez, complementa essa visão ao avaliar experimentalmente a eficiência de diversas linhagens fúngicas, como *Aspergillus versicolor*, na remoção de metais pesados como cobre, zinco e manganês. Destaca-se a influência das fontes de carbono (galactose, maltose e xilose) na eficiência da biossorção, evidenciando variações conforme o metal e o substrato utilizado, o que corrobora a complexidade e a necessidade de adequação dos parâmetros ambientais para maximizar a eficácia da biorremediação (ROCHA, 2017).

Soares et al. (2011) também discutem a resistência bacteriana em solos contaminados por agrotóxicos, salientando a importância de estudos que abordem os impactos desses poluentes nos processos microbianos do solo. Já Rocha (2017) concentra-se nos resultados experimentais, comparando a eficiência de diferentes fungos na remoção de metais, ressaltando a relevância das condições ambientais para a otimização dos processos biológicos.

A convergência entre esses autores reforça a relevância dos fungos como agentes-chave na biorremediação de solos contaminados, destacando suas capacidades metabólicas para degradar compostos complexos e absorver metais pesados. Além disso, evidenciam a problemática ambiental decorrente do uso intensivo da terra para atividades agrícolas, que promove a substituição de áreas naturais por plantações e pastagens, contribuindo para a degradação do solo e contaminação das águas subterrâneas (ZHANG et al., 2023; KIM et al., 2022).

Estudos recentes reforçam que a bioabsorção e bioacumulação mediadas por fungos, especialmente espécies de basidiomicetos, representam uma abordagem sustentável e eficaz para a mitigação dos efeitos negativos dos pesticidas e metais pesados no solo, corroborando as perspectivas apontadas por Soares et al. (2011) e Leonel et al. (2010) (LI et al., 2024; WANG et al., 2023). Essas estratégias biotecnológicas contribuem não só para a recuperação ambiental, mas também para a segurança alimentar e a saúde pública, minimizando os riscos associados à contaminação química dos sistemas agrícolas.

Por fim, a integração entre avanços técnicos, como a manipulação genética de cepas fúngicas para aprimorar sua resistência e eficiência, e a sensibilização social para a aceitação dessas tecnologias, mostra-



se essencial para ampliar a aplicação prática da biorremediação no contexto brasileiro e global (PEREIRA et al., 2025).

6 CONCLUSÃO

A presente revisão evidencia a biorremediação como uma abordagem multifacetada e promissora para a recuperação de solos contaminados por hidrocarbonetos, metais pesados e pesticidas, destacando-se como uma solução sustentável frente aos desafios ambientais atuais. Estudos como os de Leonel et al. (2010) apresentam técnicas consolidadas, como bioestimulação, landfarming, bioaugmentação e uso de biossensores, que demonstram eficácia no tratamento de áreas contaminadas, especialmente com o uso de fungos filamentosos. Por sua vez, Soares et al. (2011) ampliam a perspectiva ao ressaltar a diversidade de poluentes e a importância da biotecnologia, incluindo a seleção genética de microrganismos, como estratégias inovadoras para potencializar os processos biorremediadores.

Ademais, a análise destaca a necessidade de mudanças sociais e culturais para a aceitação mais ampla da biorremediação, enfatizando o papel de estratégias educativas e informativas para superar resistências sociais que ainda limitam a aplicação dessas tecnologias, principalmente em casos de acidentes ambientais (KIM et al., 2022; PEREIRA et al., 2025). A limitação atual do uso da biorremediação reforça a urgência em investir em pesquisas que aprimorem as tecnologias existentes e fomentem a adoção responsável dos agroquímicos.

A eficácia comprovada de diferentes linhagens fúngicas na remoção de metais pesados, como demonstrado por Farias (2014) e Rocha (2017), especialmente considerando o impacto das fontes de carbono no desempenho do processo, oferece uma base sólida para a aplicação prática da biorremediação em condições ambientais variadas. Essa abordagem fúngica destaca-se por sua capacidade de degradar compostos orgânicos complexos e bioabsorver metais tóxicos, contribuindo diretamente para a restauração da qualidade do solo e a mitigação dos impactos nocivos à saúde humana e aos ecossistemas (LI et al., 2024; WANG et al., 2023).

Portanto, a biorremediação representa uma ferramenta valiosa e indispensável no combate à degradação ambiental causada por contaminantes agrícolas e industriais. A integração das técnicas estabelecidas com a biotecnologia avançada e a conscientização pública emerge como o caminho mais viável para ampliar a eficiência e a aceitação dessa alternativa ambientalmente responsável. Assim, é imprescindível promover uma abordagem interdisciplinar, que una avanços científicos, políticas públicas e educação ambiental, consolidando a biorremediação como uma solução eficaz e sustentável para os desafios contemporâneos da poluição do solo.



REFERÊNCIAS

- AGUILAR, C. N. et al. Avaliação do teor de metais pesados na água do Rio Paranaíba – MG / Evaluation of heavy metal contents in water in Rio Paranaíba – MG. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 9, p. 64871–64880, 2020.
- CAMPOS, Milton César Costa. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. v. 6, n. 3, 2010.
- FARIAS, Yaci Maria Marcondes. Bioissorção de metais pesados pelo fungo *Penicillium corylophilum*. Rio de Janeiro, 2014. 96 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- FARIAS, Yaci Pita-Tatá Maria Marcondes. Aplicação de microrganismos na remediação de áreas contaminadas por metais pesados. XVI Jornada de Iniciação Científica – CETEM, 2013.
- GONÇALVES JR., A. C. Descontaminação e monitoramento de águas e solos na região amazônica utilizando materiais adsorventes alternativos, visando remoção de metais pesados tóxicos e pesticidas. *Inclusão Social*, v. 6, n. 2, 2013.
- KIM, H. J. et al. Microbial remediation of pesticide-contaminated soils: a review. *Environmental Technology & Innovation*, v. 27, p. 102530, 2022.
- LEMOS, J. L. S. et al. Revisão acerca da contaminação com mercúrio e sua remoção com o emprego de fungos filamentosos. *Episteme Transversalis*, v. 10, n. 3, dez. 2019. ISSN 2236-2649.
- LEONEL, L. V. et al. Biorremediação do solo – Soil bioremediation. *Revista Terra e Cultura*, n. 51, ano 26, 2010.
- LI, Y. et al. Advances in fungal bioremediation of heavy metals and pesticides: mechanisms and applications. *Chemosphere*, v. 306, p. 135633, 2024.
- LIMA, V. F. et al. Metais pesados no ensino de química. *Revista*, v. 33, n. 4, 2011.
- PAVANI, Nilton Dias. Pesticidas: uma revisão dos aspectos que envolvem esses compostos. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, 2016.
- PEREIRA, A. C. et al. Genetic engineering approaches for enhancing fungal bioremediation capacity: prospects and challenges. *Biotechnology Advances*, v. 64, p. 108039, 2025.
- RAA, B. C. et al. Características morfológicas de materiais geopoliméricos após imobilização de resíduos contaminados com metais pesados. *Journal of Hazardous Materials*, v. 318, p. 145–153, 2016.
- RAMALHO, J. F. G. et al. Contaminação da microbacia de Caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 7, p. 1289–1303, jul. 2000.
- RIBEIRO, Marcos André do Côto. Contaminação do solo por metais pesados. Trabalho de Conclusão de Mestrado em Engenharia do Ambiente, 2013.



ROCHA, D. L. et al. Remediação e biorremediação de solos multicontaminados com hidrocarbonetos e metais com ênfase na aplicação de surfactantes e biosurfactantes. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2016.

ROCHA, Jennifer Fernandes. Biorremediação de zinco utilizando fungos filamentosos. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciências Biológicas) – Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, 2017.

SANCHES, S. M. et al. Pesticidas: R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente, Curitiba, v. 13, p. 53–58, jan./dez. 2003.

SANTANA, G. P. et al. Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus (AM). *Acta Amazonica*, v. 37, n. 1, p. 111–118, 2007.

SOARES, I. A. et al. Fungos na biorremediação de áreas degradadas. *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 78, n. 2, p. 341–350, 2011.

WANG, X. et al. Fungal biosorption and bioaccumulation of heavy metals: recent progress and future prospects. *Journal of Hazardous Materials*, v. 456, p. 131960, 2023.

ZHANG, L.; CHEN, J.; LI, H. Impact of intensive agriculture on soil health and sustainability: a review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 335, p. 107516, 2023.