

REVISÃO SISTEMÁTICA DAS TECNOLOGIAS DE REMEDIAÇÃO APLICADAS A ORGANOFOSFORADOS EM COMPARTIMENTOS AMBIENTAIS NOS ÚLTIMOS CINCO ANOS

Itala de Cássia Sousa Reis¹, Nathália Silva Batista², Gerson Freitas Vieira Neto³, José Carlos Eduardo Frazão Vieira⁴, Casi Santos dos Santos⁵, Audirene Amorim Santana⁶

¹ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, itala.cassia@discente.ufma.br.

² Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, nathalia.sb@discente.ufma.br

³ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil,

gerson.freitas@discente.ufma.br

⁴ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, jcef.vieira@discente.ufma.br

⁵ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, casiufma@gmail.com

⁶ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, audirene.santana@ufma.br

Resumo: Este estudo apresenta uma revisão sistemática das estratégias atuais de remediação de contaminantes derivados de compostos organofosforados, com base em artigos publicados entre 2019 e 2024, disponíveis na base de dados da CAPES. Foram incluídos artigos em inglês, de acesso aberto, com abordagem experimental, envolvendo compartimentos ambientais e estratégias de remediação física, química ou biológica. A triagem resultou em 14 artigos que atenderam aos critérios de inclusão. A maioria dos estudos utilizou amostras de água e investigou diferentes tecnologias de remediação. Destacaram-se abordagens sustentáveis, como biorremediação com microalgas e bactérias, uso de nanopartículas de ferro de valência zero (nZVI) e processos de oxidação avançada. Estratégias híbridas mostraram-se promissoras por combinarem eficiência de remoção com redução de subprodutos tóxicos. A escolha do método ideal deve considerar o tipo de organofosforado, a matriz ambiental e as condições operacionais.

Palavras-chave: Remediação Ambiental, Poluentes Orgânicos, Contaminação ambiental.

A SYSTEMATIC REVIEW OF REMEDIATION TECHNOLOGIES FOR ORGANOPHOSPHATES IN ENVIRONMENTAL COMPARTMENTS OVER THE PAST FIVE YEARS

Itala de Cássia Sousa Reis¹, Nathália Silva Batista², Gerson Freitas Vieira Neto³, José Carlos Eduardo Frazão Vieira⁴, Casi Santos dos Santos⁵, Audirene Amorim Santana⁶

¹ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, itala.cassia@discente.ufma.br.

² Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, nathalia.sb@discente.ufma.br

³ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil,

gerson.freitas@discente.ufma.br

⁴ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, jcef.vieira@discente.ufma.br

⁵ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, casiufma@gmail.com

⁶ Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, Brasil, audirene.santana@ufma.br

Summary: This study presents a systematic review of current remediation strategies for contaminants derived from organophosphate compounds, based on articles published between 2019 and 2024 and available in the CAPES database. Inclusion criteria comprised open-access articles in English, with experimental approaches involving environmental compartments and physical, chemical, or biological remediation strategies. A total of 14 articles met the eligibility criteria. Most studies focused on water samples and explored various remediation technologies. Sustainable approaches were prominent, particularly bioremediation using microalgae and bacteria, the application of zero-valent iron nanoparticles (nZVI), and advanced oxidation processes. Hybrid strategies proved promising by combining high removal efficiency with reduced formation of toxic by-products. The choice of remediation method should consider the type of organophosphate, the environmental matrix, and operational conditions.

Keywords: Environmental remediation; Organic pollutants; Environmental contamination.

INTRODUÇÃO

Os compostos organofosforados (OFs) foram inicialmente desenvolvidos no século XIX, no entanto, sua utilização em larga escala só se consolidou após a Segunda Guerra Mundial. Na década de 1930, esses compostos começaram a ser empregados como inseticidas em função de sua eficácia no controle de pragas. Todavia, suas potentes propriedades neurotóxicas despertaram o interesse de pesquisadores militares alemães, que passaram a investigá-los como potenciais agentes de guerra química.²

Adicionalmente, os organofosforados constituem uma classe diversa de substâncias químicas derivadas da reação de esterificação entre o ácido fosfórico e álcoois. No cenário atual, seu uso é amplamente difundido na formulação de pesticidas e herbicidas. Segundo dados do Sistema de Informações sobre Agrotóxicos da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), há, no Brasil, 38 ingredientes ativos registrados pertencentes a essa classe. Entre os principais, destacam-se acefato, bromofós, clorpirifós, diazinona, diclorvós, etoprofós, fenclorfós, fentiona, malationa, metamidofós, parationa metílica, pirimifós e temefós.^{1,4}

A toxicidade dos organofosforados decorre, principalmente, da inibição da enzima acetilcolinesterase, resultando no acúmulo de acetilcolina nas sinapses. Esse mecanismo interfere na neurotransmissão e afeta tanto insetos quanto mamíferos, conferindo aos OFs uma ação inseticida altamente eficaz.^{3,5}

No organismo humano, esses compostos podem ser absorvidos por diversas vias e se distribuem amplamente pelos tecidos. São encontrados em concentrações elevadas no tecido adiposo, fígado, rins, estômago e intestinos, e, em menor grau, no sistema nervoso central e na musculatura. A eliminação ocorre de forma rápida, sobretudo pela urina, com pequenas quantidades sendo excretadas pelas fezes. A maior parte da excreção acontece nas primeiras 24 horas após a exposição, sendo praticamente completa em até 48 horas.^{6,7}

No ambiente, os organofosforados apresentam degradação variável, com tempo de decomposição que pode variar entre 1 e 12 semanas, dependendo das condições ecológicas.^{6,7} No entanto, em ambientes aquáticos, seus resíduos e subprodutos tendem a persistir por períodos mais longos, atingindo concentrações potencialmente prejudiciais à saúde humana.⁸

Além disso, ao entrarem em contato com diferentes compartimentos ambientais — como solo, água e ar —, os OFs podem se acumular no solo e nos organismos vivos. Sua

solubilidade moderada em água favorece a permanência no solo, com possibilidade de contaminação de aquíferos por meio da lixiviação. Diante de sua alta mobilidade, toxicidade significativa e ampla utilização na agricultura, torna-se evidente a necessidade de um monitoramento contínuo e rigoroso desses contaminantes em todo o território nacional. ⁹⁻¹¹

MATERIAL E MÉTODOS

A busca bibliográfica foi realizada exclusivamente na plataforma da CAPES, considerando publicações entre os anos de 2019 e 2024. Foram utilizados os termos de busca "organophosphates" AND ("treatment" OR "remediation" OR "removal"), com os operadores booleanos devidamente aplicados para refinar os resultados e garantir a recuperação de estudos relacionados à remediação de compostos organofosforados. Todas as referências selecionadas foram organizadas com o auxílio do software de gerenciamento Mendeley. Os critérios de inclusão adotados foram: (i) artigos publicados em inglês; (ii) estudos experimentais; (iii) organofosforados presentes em compartimentos ambientais (solo, água ou ar); (iv) estratégias de remediação física, química ou biológica; e (v) acesso aberto. Foram excluídos da análise: (i) teses, dissertações, resumos de eventos, artigos de opinião ou revisões; (ii) estudos voltados aos efeitos tóxicos em humanos ou animais; e (iii) publicações duplicadas ou com dados insuficientes.

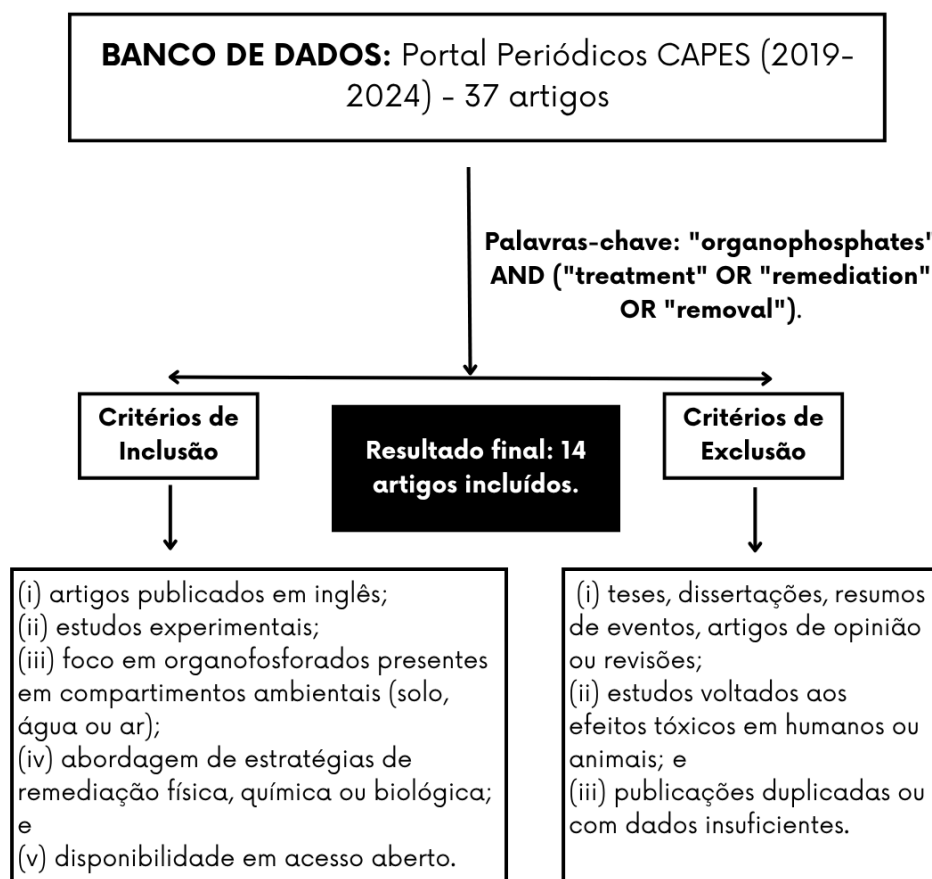
De cada artigo selecionado, foram extraídas as seguintes informações: título, ano de publicação, periódico (revista), compartimento ambiental investigado (solo, água ou ar), tipo e nome do organofosforado (pesticida ou retardante de chama), tipo de remediação empregada (física, química ou biológica) e a eficiência do método avaliado. A Figura 1 apresenta um resumo ilustrativo dos principais métodos e resultados encontrados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca resultou em um total de 37 artigos, dos quais apenas 14 atenderam aos critérios de inclusão estabelecidos. A Figura 1 apresenta um resumo ilustrativo dos métodos aplicados e dos principais resultados obtidos. Entre os artigos selecionados, os anos de 2022 e 2024 se destacaram com o maior número de publicações, contabilizando quatro artigos em cada ano

(Figura 2). Em relação aos periódicos (Tabela 1), apenas um artigo foi publicado em revista nacional, enquanto os demais foram divulgados em periódicos internacionais.

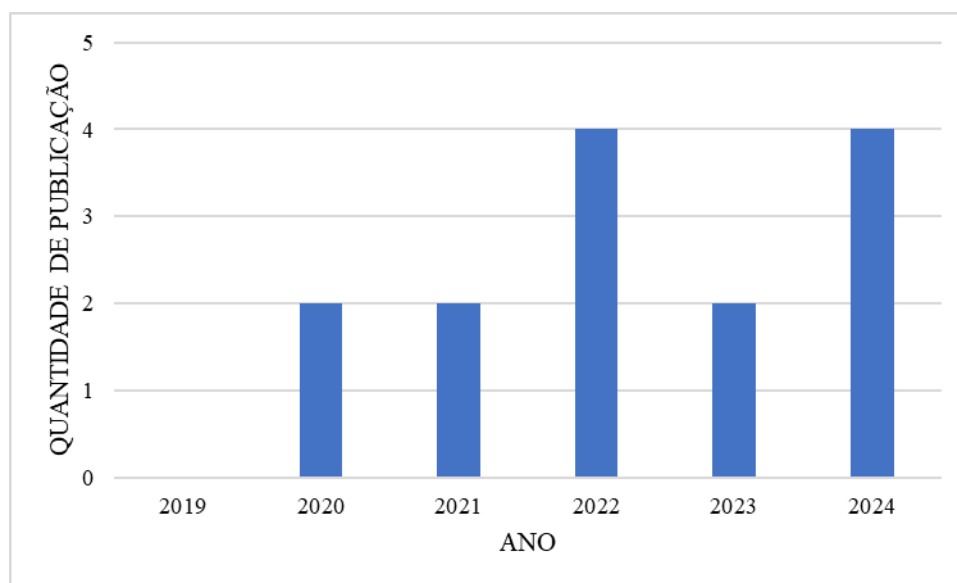
Figura 1. Resumo dos métodos e resultados dos dados buscados



Fonte: Autoria própria, 2025

A contaminação ambiental por compostos organofosforados (OPs), incluindo pesticidas e retardantes de chama, tem incentivado diversas abordagens de remediação em ambientes como água e solo¹²⁻¹⁷ demonstram uma tendência crescente na busca por soluções que integrem eficiência de degradação, sustentabilidade e viabilidade operacional. De acordo com os estudos, a maioria das pesquisas é realizada com amostras de água, uma vez que a contaminação hídrica costuma demandar atenção mais imediata do que a do solo, devido ao seu impacto direto na saúde pública e aos desafios relacionados ao fornecimento de água potável para grandes populações.²⁶⁻²⁷

Figura 2. Publicações entre 2019-2024



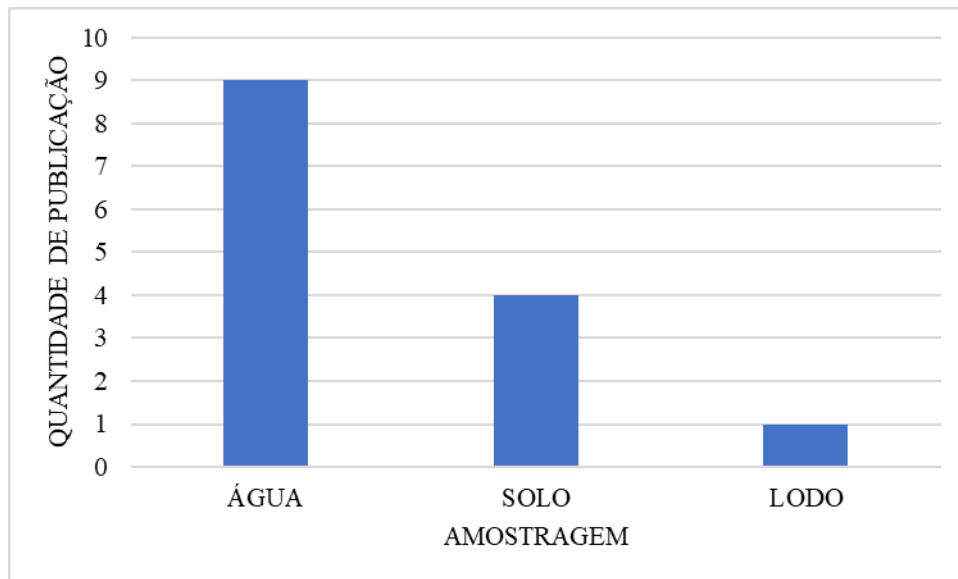
Autoria própria, 2025

Tabela 1. Lista de Periódicos que foram publicados os artigos dentre 2019-2024

REVISTA (PERIÓDICO)
Bioresource Technology Reports
Chemosphere
Science of The Total Environment
ACS Central Science
Environmental Pollution
Sustentabilidade
Catalysts
Applied Surface Science
Jurnal Natural
Frontiers in Chemistry
International Journal of Environmental Research and Public Health
Journal of microbiology, biotechnology and food sciences
C — Journal of Carbon Research
Heliyon

Fonte: Autoria própria, 2025

Figura 3. Quantidade de publicações em cada tipo de amostra



Fonte: Autoria própria, 2025

As abordagens de remediação investigadas nos estudos variam entre processos biológicos, químicos, físicos e híbridos, cada um com vantagens e limitações específicas. A Tabela 2 apresenta os tipos de remediação abordados em cada artigo, bem como a eficiência dos métodos utilizados.

Tabela 2. Demonstração dos métodos de remediação e sua eficiência em cada estudo

TIPO DE OPs	TIPO DE REMEDIAÇÃO	EFICIÊNCIA DO MÉTODO	REFERÊNCIAS
Pesticida	Biológica	Este trabalho demonstrou que culturas de <i>C. subellipsoidea</i> em crescimento ativo são capazes de degradar organofosforados em estados anabólicos e catabólicos.	18
Retardante de chama	Químico	Este trabalho oferece um guia teórico para pesquisas futuras sobre a degradação do TCEP, especialmente nos processos de oxidação avançada.	20
Retardante de chama	Biológico e Químico	Concluiu-se que a digestão anaeróbica não é um tratamento eficaz para a remoção desses produtos químicos. A pirólise a 500 °C foi considerada a melhor abordagem, uma vez que foi	12

		alcançada uma remoção de >99% da concentração de ΣOPFRs,	
Pesticida	Biológica	O primeiro micróbio (Escherichia coli) degrada o pesticida, enquanto o segundo (Shewanella oneidensis) gera corrente em resposta ao produto de degradação sem a necessidade de estímulo eletroquímico externo ou marcadores.	19
Retardante de chama	Biológica	Os resultados mostraram que o TCEP pode ser reduzido simultaneamente por processos abióticos e bióticos, pois foi reduzido em 73,9% e 65,5% ao longo do experimento de 120 dias em húmus e subsolo de aterro , respectivamente.	13
Pesticida	Química	Os resultados demonstraram que as Nanopartículas de ferro de valência zero são capazes de degradar Paraoxon em água.	21
Pesticida	Química	Os resultados indicaram que os nanocompósitos de BO/WO (óxido de bismuto bromo e óxido de tungstênio), alcançaram separação e transporte eficientes de pares elétron-lacuna fotogerados, aumentando significativamente o grau de degradação de pesticidas organofosforados.	15
Pesticida	Química	Nanopétalas de Co ₃ O ₄ (óxido de cobalto(II,III)) em fotoanodos de Si (sílica), polarizados com polarização moderada e sob iluminação de luz visível, podem degradar fenitrothion (FNT) eficientemente.	22
Pesticida	Biológica	Os resultados podem ser usados para desenvolver estratégias de biorremediação que empreguem micróbios nativos para limpar e restaurar solos agrícolas contaminados com Organofosforado	23

Pesticida	Física	Este estudo demonstra o potencial dos ECNFs (nanofibras de carbono eletrofiadas) para servir como adsorventes eficazes, contribuindo para a mitigação da contaminação por pesticidas em ambientes agrícolas.	14
Pesticida	Química	Este estudo avaliou a eficiência de degradação do dissulfoton usando uma reação semelhante a Fenton catalisada por nanopartículas de magnetita. A eficiência de remoção do dissulfoton foi determinada em 94% em condições ótimas.	24
Pesticida	Biológica	A degradação de forato por rizobactérias foi quantificada posteriormente por meio de análise de HPLC, apresentando 42% de degradação (em 48 horas) em concentrações 10 a 15 vezes maiores (300 ppm) em comparação ao forato residual relatado em solos.	25
Pesticida	Física	Esses resultados sugerem que os carbonos porosos derivados de celulose apresentados neste estudo são adsorventes de CHP muito eficientes, tornando-os um material atraente para várias aplicações.	16
Retardantes de chama	Química	O EDTA-cisteína-β-ciclodextrina apresentou possibilidades promissoras de aplicação prática para a remediação de Organosforados de amostras de sedimento e solo por meio do processo de adsorção.	17

Fonte: Autoria própria, 2025

No ambiente aquático, por exemplo ¹⁸, demonstraram que culturas da microalga *Coccomyxa subellipsoidea*, em crescimento ativo, foram eficazes na degradação de pesticidas como paraoxon, malation e diazinon. O estudo destacou a importância das vias metabólicas tanto anabólicas quanto catabólicas, reforçando que a atividade fotossintética da microalga desempenha papel fundamental na mineralização desses compostos. A pesquisa também apontou que a eficiência está relacionada à densidade celular e à presença de luz, sugerindo que a remediação fotobiológica pode ser otimizável com ajustes ambientais.

De forma semelhante,¹⁹ propuseram uma tecnologia inovadora baseada em sistemas eletroquímicos microbianos utilizando as bactérias *Escherichia coli* e *Shewanella oneidensis*. O diferencial do estudo está na demonstração de que os microrganismos não apenas degradam compostos como paraoxon e paration, mas também geram corrente elétrica como subproduto do metabolismo, eliminando a necessidade de estímulos externos. A discussão dos autores enfatiza que tal tecnologia tem potencial para ser aplicada em áreas remotas, aliando remediação e geração de energia.

No campo das estratégias químicas,²⁰ investigaram a degradação do retardante de chama fosfato de tris(2-cloroetil) (TCEP) por meio de processos avançados de oxidação, utilizando modelagem baseada na Teoria do Funcional da Densidade (DFT). O estudo elucidou os mecanismos moleculares de degradação em meio aquoso e destacou que a eficiência do processo depende de parâmetros como pH, presença de oxidantes e características eletrônicas do composto. A modelagem DFT contribuiu para prever intermediários tóxicos e ajustar as condições para máxima mineralização.

Ainda em ambientes aquáticos,²¹ demonstraram a eficácia das nanopartículas de ferro de valência zero (nZVI) na degradação do paraoxon. Os experimentos revelaram taxas de remoção superiores a 90%, atribuídas à elevada área superficial das nanopartículas e à rápida transferência de elétrons. Os autores discutem que, embora eficaz, o uso de nZVI requer atenção à estabilidade coloidal e à regeneração do agente reativo, além de potenciais impactos ecotoxicológicos.

Para solos de aterro,²² evidenciaram que o TCEP foi significativamente atenuado por processos simultâneos bióticos e abióticos, com reduções de 73,9% no húmus e 65,5% no subsolo ao longo de 120 dias. A discussão do estudo aponta que os microrganismos presentes atuam em sinergia com reações de adsorção e oxidação natural, e que o tempo de residência e a atividade microbiológica do solo são fatores críticos para a eficiência do processo.

Além dos estudos experimentais, revisões relevantes também têm contribuído para o avanço do conhecimento. Uma revisão de 2022 destacou o panorama global da ocorrência, distribuição e estratégias de remediação de OPs em diferentes matrizes, sugerindo que a persistência desses compostos está diretamente associada à baixa biodegradabilidade e à resistência à fotólise. Outra revisão, publicada em 2021, abordou o uso de metaloenzimas

artificiais como ferramentas promissoras para a degradação seletiva de organofosforados, discutindo como o design enzimático racional pode ampliar a especificidade e a eficiência catalítica.

Os resultados apontam que técnicas biológicas, especialmente aquelas que utilizam microalgas, bactérias e sistemas consorciados, vêm demonstrando elevada efetividade na biorremediação, com destaque para sua capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais e baixo custo operacional. Por outro lado, estratégias químicas, como o uso de nanopartículas e processos de oxidação avançada, têm se mostrado altamente eficientes, principalmente em ambientes aquáticos, com destaque para a rapidez de resposta e elevada taxa de remoção.

A escolha do método mais adequado depende do tipo de organofosforado, da matriz ambiental e das condições operacionais, sendo comum a combinação de abordagens como indicado por ^{13, 15-16} para otimizar a eficiência do processo. Ambos os autores discutem que, embora soluções híbridas apresentem maior complexidade técnica, elas oferecem a possibilidade de atacar os compostos por múltiplas frentes, garantindo maior abrangência na remediação e menor risco de subprodutos tóxicos.

Em suma, os avanços na remediação de OPs têm sido significativos, e os estudos discutidos reforçam a importância de abordagens integradas e ajustadas ao contexto ambiental específico, aliando conhecimento molecular, biotecnológico e engenharias aplicadas à sustentabilidade.

CONCLUSÃO

A remediação de compostos organofosforados tem avançado com o uso de técnicas biológicas, químicas e híbridas. Estudos recentes demonstram que microalgas, bactérias e nanopartículas são eficazes na degradação desses poluentes, com destaque para a aplicação em ambientes aquáticos e solos contaminados. A escolha do método mais adequado depende do tipo de contaminante e da matriz ambiental, sendo as abordagens combinadas as mais promissoras para otimizar a eficiência e garantir a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- [1] Verheyen J, Stoks R. Flutuações diárias de temperatura atuais e futuras tornam-se um pesticida mais tóxico: efeitos contrastantes na história de vida e na fisiologia. *Poluição Ambiental*. maio de 2019; 248 :209-218.
- [2] Kloske M, Witkiewicz Z. Novichoks - O grupo A de agentes de guerra química organofosforados. *Chemosphere*. abr de 2019; 221 :672-682.
- [3] Robb, E. L.; Regina, A. C.; Baker, M. B. *Organophosphate Toxicity*. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2025.
- [4] <http://4.anvisa.gov.br/AGROSIA>, acessada em junho 2025.
- [5] Veiga, M. M.; Silva, D. M.; Veiga, L. B. E.; Castro-Faria, M. V.; *Cad. Saúde Pública* 2006, 22, 2391.
- [6] Oga, S.; *Fundamentos de toxicologia*, 2ª ed., Atheneu: São Paulo, 2003.
- [7] Larini, L.; *Toxicologia dos praguicidas*, Manole: São Paulo, 1999
- [8] Silva, F. C.; Matos, A. R.; Carvalho, C. R.; Cardeal, Z. L.; *Quim. Nova* 1999, 22, 197.
- [9] Kestwal, R. M.; Bagal - Kestwal, D.; Chiang, B. H. Fenugreek hydrogel agarose composite entrapped gold nanoparticles for acetylcholinesterase based biosensor for carbamates detection. *Analytica Chimica Acta*. 2015, 886, 143-150.
- [10] Silva, F. G. S. *Biossensores seletivos para detecção de pesticidas anticolinesterases em águas e alimentos*. Monografia de conclusão de curso, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2014.
- [11] Nunes, G. S.; Santos, C. L.; Silva, H. S. V. P.; Andrade, G. V. Avaliação da contaminação de corpos d'água adjacentes a áreas agrícolas na ilha de São Luís (MA) por agrotóxicos. *Pesticidas: r. ecotoxicol. e meio ambiente*, 2012, 22, 85 -95.
- [12] Castro, G.; Silva, L. T.; Barbosa, J. F.; Andrade, C. A. Analysis, occurrence and removal efficiencies of organophosphate flame retardants (OPFRs) in sludge undergoing anaerobic digestion followed by diverse thermal treatments. *Science of the Total Environment*, 2023.
- [13] Zhu, M.; Zhang, Y.; Wang, Y.; Liu, J. Dynamic processes in conjunction with microbial response to unveil the attenuation mechanisms of tris (2-chloroethyl) phosphate (TCEP) in non-sanitary landfill soils. *Environmental Pollution*, 2023.
- [14] Adesanmi, B. O.; Oladipo, A. A.; Bello, O. S. Adsorptive removal of organophosphate pesticides from aqueous solution using electrospun carbon nanofibers. *Frontiers in Chemistry*, 2024.
- [15] Meng, A.; Zhao, Y.; Liu, H.; Zhang, D. Efficient and Robust Photodegradation of Dichlorvos Pesticide by BiOBr/WO₂.72 Nanocomposites with Type-I Heterojunction under Visible Light Irradiation. *Catalysts*, 2024

- [16] Tasic, T.; Jovanovic, M.; Nikolic, D.; Vukovic, G. Highly porous cellulose-based carbon fibers as effective adsorbents for chlorpyrifos removal: Insights and applications. *CJournal of Carbon Research*, 2024.
- [17] Bika, S. H.; Sibeko, N. F.; Ntwampe, S. K. Synthesis of EDTA-cysteine- β -cyclodextrin for the removal of organophosphate flame retardants (OPFR) from sediments and soil samples from the Buffalo River Estuary, Eastern Cape of South Africa. *Heliyon*, 2024.
- [18] Nicodemus, T. J.; Moutloali, R. M.; Mahlalela, M. Reactive Oxygen Species (ROS) mediated degradation of organophosphate pesticides by the green microalgae *Coccomyxa subellipsoidea*. *Bioresource Technology Reports*, 2020.
- [19] Karbelkar, A. A.; Jadhav, D. A.; Gadhave, A. D.; et al. A microbial electrochemical technology to detect and degrade organophosphate pesticides. *ACS Central Science*, 2021.
- [20] Xia, H.; Zhang, Q.; Zhou, S. Degradation mechanism of tris (2-chloroethyl) phosphate (TCEP) as an emerging contaminant in advanced oxidation processes: A DFT modelling approach. *Chemosphere*, 2021.
- [21] Okello, V. A., K'Owino, I. O., Masika, K., & Shikuku, V. O. Reduction and degradation of paraoxon in water using zero-valent iron nanoparticles. *Sustainability*, 14(15), 9451. 2022.
- [22] Kalinic, B.; Radetic, T.; Djokic, V.; et al. Diffusion-driven formation of Co_3O_4 nanopetals layers for photoelectrochemical degradation of organophosphate pesticides. *Applied Surface Science*, 2022.
- [23] RAKHMAWATI, ANNA et al. Assessing soil bacterial community response to organophosphate pesticides in agricultural field of Yogyakarta, Java, Indonesia. *Jurnal Natural*, v. 23, n. 3, p. 139-151, 2023.
- [24] VERONESI, Mayne et al. Degradation of Praguicide Disulfoton Using Nanocompost and Evaluation of Toxicological Effects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 20, n. 1, p. 786, 2022.
- [25] SATTIRAJU, Krishna Sundari; YADAV, Pratibha Sundari. Native plant growth promoting rhizobacteria with remarkable phorate metabolising abilities at concentrations multi-fold higher than residual concentration present in soil. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, v. 10, n. 1, p. 54-60, 2020.
- [26] KURNIAWAN, Tonni Agustiono et al. Remediation technologies for contaminated groundwater due to arsenic (As), mercury (Hg), and/or fluoride (F): A critical review and way forward to contribute to carbon neutrality. *Separation and Purification Technology*, v. 314, p. 123474, 2023.
- [27] ZHANG, Shu et al. Groundwater remediation from the past to the future: A bibliometric analysis. *Water Research*, v. 119, p. 114-125, 2017.

Em caso de dúvidas, manter contato com a equipe organizadora:

gruporeact.app@gmail.com