

## Biopesticidas: desafios para a investigação.

### CATEGORIA

Artigo

Sara Rodrigues\*, Bárbara S. Diogo\*, Sara C. Antunes\*, Ivan Lourenço‡

\* CIIMAR/ U. Porto | † Casa do Casal Sociedade Agrícola, Lda.

### CITAÇÃO

Rodrigues, S. et al. (2023)

Biopesticidas: desafios para a investigação,

Rev. Ciência Elem., V11(02):019.

[doi.org/10.24927/rce2023.019](https://doi.org/10.24927/rce2023.019)

### EDITOR

João Nuno Tavares

Universidade do Porto

### EDITOR CONVIDADO

Paulo Ribeiro-Claro

Universidade de Aveiro

### RECEBIDO EM

26 de maio de 2022

### ACEITE EM

23 de setembro de 2022

### PUBLICADO EM

15 de julho de 2023

### COPYRIGHT

© Casa das Ciências 2023.

Este artigo é de acesso livre,

distribuído sob licença Creative

Commons com a designação

[CC-BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/), que permite

a utilização e a partilha para fins

não comerciais, desde que citado

o autor e a fonte original do artigo.

Biopesticidas são formulações feitas a partir de materiais naturais (animais, plantas, bactérias ou minerais) que se destinam a matar ou controlar pragas (insetos), através de mecanismos de ação mais específicos, e ambientalmente amigáveis, em alternativa ao uso de pesticidas sintéticos. O uso de biopesticidas é crucial em programas de proteção integrada (PPI), por serem considerados produtos fitofarmacêuticos (PFFs) biológicos (bioPFFs) que protegem culturas contra pragas, através de uma abordagem eficiente, mais natural e ambientalmente sensível. No entanto, a avaliação e validação de novas metodologias deve ser considerada para estimar adequadamente a potencial toxicidade dos bioPFFs, com respostas biológicas que envolvam vários níveis de organização biológica.

A agricultura representa um dos setores mais importantes da economia de um país. Com o crescimento da população humana, associado ao aumento do consumo de alimentos *per capita*, tem ocorrido um aumento das necessidades alimentares. Por conseguinte, observou-se uma expansão das áreas agrícolas e, conseqüentemente, uma maior utilização de produtos fitofarmacêuticos (PFFs), onde se incluem os pesticidas sintéticos, para combater várias pragas agrícolas<sup>1, 2, 3</sup>. Desde a década de 90 que se tem observado uma crescente preocupação com uma produção agrícola mais sustentável e equilibrada com ciclos naturais dos ecossistemas, o que levou a uma crescente tendência de substituição de PFFs sintéticos por biopesticidas (bioPFFs)<sup>4, 5, 6, 7, 8</sup>. Desde 2015 que a América do Norte constitui o maior mercado de bioPFFs, enquanto a Europa ocupa a segunda posição nesta utilização<sup>9</sup>. Se o mercado de vendas dos bioPFFs continuar a crescer, espera-se que o número de vendas destas alternativas ecologicamente mais sustentáveis iguale o mercado de vendas dos seus homólogos sintéticos, nos próximos 20 a 30 anos (FIGURA 1)<sup>10</sup>.

Os bioPFFs, por serem de origem natural ou biológica são considerados mais “amigos do ambiente”<sup>11</sup>, e dividem-se em três categorias: i) substâncias naturais que controlam pragas — pesticidas bioquímicos; ii) microrganismos (bactérias, fungos, vírus ou protozoários) que controlam pragas — pesticidas microbianos; e iii) substâncias pesticidas produzidas por plantas contendo material genético adicionado — protetores incorporados em plantas<sup>11, 12</sup>.

Após autorização pelos Estados-Membros da União Europeia (UE) os bioPFFs têm sido cada vez mais utilizados na agricultura convencional e orgânica (biológica), pelo que o seu impacto ambiental pode estar a ser desvalorizado, mesmo que atualmente já reconhecido<sup>7, 13</sup>. Por outro lado, as áreas dedicadas à agricultura orgânica têm aumentado, pelo seu reconhecimento em termos de segurança alimentar global (na UE, a área disponível para agricultura orgânica aumentou 46% entre 2012 e 2019; EUROSTAT); contudo tendo em conta o crescente aumento populacional e necessidades alimentares, esta não é ainda, considerada sustentável.

[rce.casadasciencias.org](https://www.rce.casadasciencias.org)



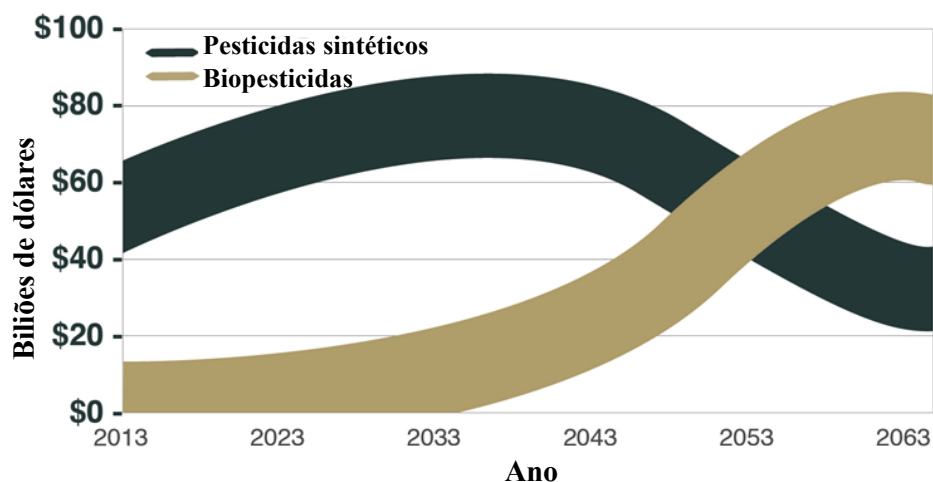


FIGURA 1. Estatísticas e previsões para o mercado global de pesticidas sintéticos e biopesticidas até 2063.  
Nota: 100 bilhões de dólares (10<sup>9</sup>, americanos) = 100 mil milhões de dólares (10<sup>10</sup>, europeu).

A organização com responsabilidades mais importantes na área de bioPFFs é a *Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico* (OCDE), através de seu *Grupo de Especialistas em Biopesticidas* (anteriormente conhecido como *BioPesticides Steering Group*)<sup>10</sup>. Este grupo lidera as ações para promover uma abordagem coerente dos limites reguladores de biopesticidas, de forma a estabelecer documentos de orientação e, ao mesmo tempo, facilitar a comunicação, disseminação e partilha de conhecimento, entre os vários intervenientes da área. Outras organizações importantes nesta temática incluem a *Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação* (FAO), a *Organização Mundial da Saúde* (OMS), a *Organização Internacional de Controle Biológico* (IOBC) e a *Organização Europeia e Mediterrânea de Proteção Vegetal* (EPPO)<sup>10</sup>.

No entanto, o líder mundial na regulamentação de biopesticidas é a *Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos* (EPA), por meio da divisão de *Biopesticidas e Prevenção da Poluição*, criada em 1994, para o registo e autorização dos mesmos. Apenas mais tarde, em 2000, o Departamento de Agricultura dos EUA criou os centros regionais para *Programas de Proteção Integrada* (PPI). A nível Europeu, em 2002, foi criada a *Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar* (EFSA) (Regulamento (CE) n.º 178/2002), que tem como missão ser uma fonte independente de aconselhamento científico, avaliação e comunicação dos riscos na utilização de biopesticidas associados à cadeia alimentar. Em 2009, os estados membros da UE adotaram a diretiva EC 2009/128 sobre o uso sustentável de PFFs, visando reduzir os riscos e impactes do uso de pesticidas sintéticos, na saúde humana e no meio ambiente, promovendo também o uso de PPI.

Os bioPFFs são compostos importantes em PPI, uma vez que contribuem para a redução do risco de resistência a PFFs sintéticos<sup>14</sup>, do risco de exposição para produtores agrícolas, bem como para uma maior segurança alimentar (em termos de resíduos destes compostos nos alimentos)<sup>15</sup>. Atualmente, cerca de 1400 bioPFFs estão aprovados em todo o mundo<sup>9</sup>, embora um número muito menor de autorizações seja considerado na Europa (cerca de 60 produtos) devido ao exigente sistema regulador<sup>16, 17, 18</sup>. A procura de biopesticidas está em constante desenvolvimento, pois constituem alternativas mais benéficas em termos de segurança ambiental, para substituir muitas substâncias ativas, que potencialmente serão excluídas a médio e longo prazo, considerando os requisitos impostos pelas entidades reguladoras. No entanto, a sua extensa aplicação ao longo dos anos, pode estar a resultar na sua acumulação nos diversos com-

partimentos ambientais, afetando, para além dos insetos (polinizadores), organismos terrestres, aquáticos, e até os produtos finais (alimentos)<sup>3</sup> (FIGURA 2). Apesar de serem na sua maioria fotodegradáveis, os resíduos de bioPFFs podem afetar os vários ecossistemas, pois já foi demonstrado que podem adsorver a matéria orgânica e solo/sedimento, devido à ausência de luz<sup>13,19</sup>. Além disso, as várias formulações comerciais contêm estabilizantes (excipientes) que podem retardar a hidrólise e as taxas de fotodegradação<sup>1,10</sup>.

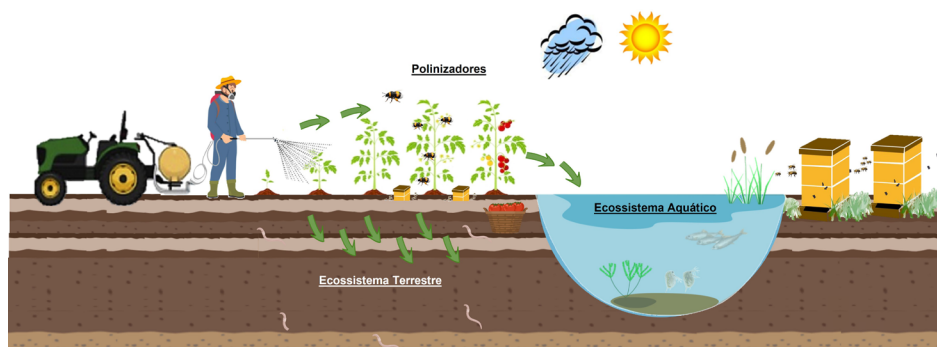


FIGURA 2. Representação esquemática das principais vias responsáveis pelo impacto de biopesticidas nos diferentes compartimentos ambientais.

Ao longo dos anos, um aumento global da utilização de bioPFFs sobre PFFs sintéticos tem sido observado<sup>20</sup>, (FIGURA 1), sendo que os bioinseticidas representam metade da participação total deste mercado<sup>9</sup>. As primeiras utilizações de bioPFFs datam de 1800, onde esporos de fungos foram usados para controlar pragas de insetos<sup>10</sup>. No entanto, o primeiro bioinseticida reconhecido pelo mercado de biopesticidas (na Índia), foi a nicotina, no século XVII, para controlar o besouro da ameixa, em estufas<sup>10</sup>. De seguida surgiram as piretrinas (extraídas de flores do género *Chrysanthemum*) que foram usadas em sprays domésticos e industriais<sup>10</sup>. Com 80% das vendas globais, as piretrinas naturais são líderes mundiais no mercado de bioinseticidas, devido à sua elevada eficiência, sendo utilizadas em mais de 2000 formulações comerciais, com várias aplicações (agricultura, veterinária e aquacultura)<sup>1,21</sup>. De acordo com o relatório AGROW (*New Developments in Crop Protection Product Formulation*) sobre biopesticidas, divulgado em 2019, a maior participação no mercado de vendas de biopesticidas em 2020 incidiu sobre os bioinseticidas (47%)<sup>10</sup>.

### Formulações de biopesticidas – desafios para a investigação e perspectivas futuras.

Alguns estudos sugerem que alguns biopesticidas podem ser tão eficientes (como pesticidas sintéticos (dimetoato, piretróides e neonicotinóides, como o imidaclopride)<sup>22,23</sup>. Se os biopesticidas são eficientes contra pragas, possivelmente também são bioativos ao atingir o solo e compartimentos aquáticos, uma vez que algumas vias metabólicas e funções fisiológicas são conservadas evolutivamente, entre organismos (alvo e não-alvo)<sup>1</sup>. Portanto, é essencial obter mais informação sobre a potencial toxicidade ambiental dos biopesticidas. Mais ainda quando estes têm apenas de cumprir requisitos mínimos para autorização e comercialização de PFFs pela UE (regulamentos da Comissão da UE – n.º 1107/2009; n.º 283/2013; n.º 284/2013) tais como avaliação da inibição do crescimento, reprodução, mortalidade; valores de toxicidade (NOEC – Concentração sem efeito tóxico observado; LOEC – Concentração mais baixa com efeito tóxico observado; e ECx – concentração de efeito na qual ocorreu x% efeito tóxico) podendo ser insuficientes para uma avaliação de risco ambiental (ARA) adequada e consistente.

Neste sentido, várias linhas de investigação têm de ser definidas (FIGURA 3) numa avaliação integrada que inclua parâmetros mais sensíveis e ferramentas de alerta precoce (parâmetros sub-individuais: biomarcadores moleculares, celulares), para evitar e prevenir danos em níveis organizacionais mais elevados (respostas individuais ou populacionais que se refletem pela inibição do crescimento, reprodução ou mortalidade).

Estudos prévios sugerem que uma ARA adequada para bioPFFs pode ser obtida através do seu refinamento com base em investigações ecotoxicológicas interdisciplinares<sup>24, 25, 26, 27</sup>, incluindo áreas como biologia molecular e celular, bioquímica, genética, agronomia, fisiologia, ecologia, toxicologia e ciências ambientais (FIGURA 3). No entanto, as informações obtidas nessas diferentes áreas de pesquisa ainda são muito escassas e dispersas, o que não nos permite entender o real impacto dos bioPFFs nos ecossistemas. Tem sido altamente recomendada a avaliação e validação de novas ferramentas ecotoxicológicas, com organismos não-alvo (peixes, invertebrados de água doce, polinizadores), para avaliar adequadamente a potencial toxicidade dos bioPFFs (FIGURA 3), com respostas biológicas que vão desde os níveis moleculares até ao nível do organismo/população<sup>24, 25, 26, 27</sup>.

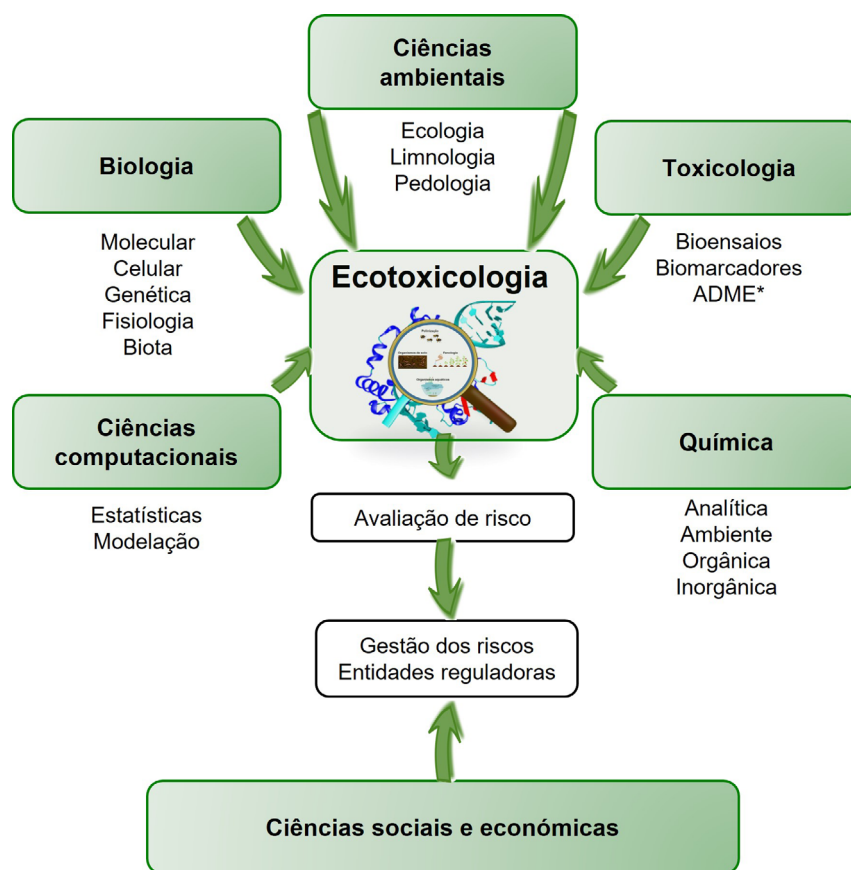


FIGURA 3. Investigação interdisciplinar essencial para a avaliação e gestão de riscos, e consequentes decisões regulatórias, através da avaliação de impactos dos biopesticidas para os diferentes ecossistemas<sup>26</sup>.

No entanto, existem várias críticas sobre o processo de validação e aprovação de bioPFFs, observando-se que diferentes partes interessadas (produtores, indústria, legisladores) têm opiniões diferentes<sup>28</sup>. A conclusão é que apesar da UE recomendar um quadro regulamentar para a sua estratégia de proteção das culturas, com requisitos bem definidos, é necessária uma caracterização mais completa e consistente dos bioPFFs, com metodologias e análises de-

sultados mais claras, com melhor monitorização dos processos de validação e atualização das ferramentas de avaliação de toxicidade. Nesta perspetiva, os avanços do conhecimento científico devem garantir a sustentabilidade e equilíbrio dos compartimentos ambientais (solo, água e ar), a médio e a longo prazo.

## REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup> MOSSA, A.T. H. et al., *Safety of natural insecticides: toxic effects on experimental animals*, BioMed Research International, 2018. DOI: [10.1155/2018/4308054](https://doi.org/10.1155/2018/4308054).
- <sup>2</sup> CHALLA, G. K. et al., *Bio-Pesticide applications may impair the pollination services and survival of foragers of honey bee, Apis Cerana Fabricius in Oilseed Brassica*, Environ Pollut, 249, 598–609. 2019. DOI: [10.1016/j.envpol.2019.03.048](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.048).
- <sup>3</sup> MOJIRI, A. et al., *Pesticides in aquatic environments and their removal by adsorption methods*, Chemosphere, 253, 126646. 2020. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2020.126646](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126646).
- <sup>4</sup> HERTLEIN, M. B. et al., *A review of spinosad as a natural product for larval mosquito control*, J Am Mosq Control Assoc, 26, 67–87. 2010. DOI: [10.2987/09-5936.1](https://doi.org/10.2987/09-5936.1).
- <sup>5</sup> BIONDI, A. et al., *The non-target impact of spinosyns on beneficial arthropods*, Pest Manag Sci, 68, 1523–1536. 2012. DOI: [10.1002/ps.3396](https://doi.org/10.1002/ps.3396).
- <sup>6</sup> HASSAN, E. & GÖKÇE, A., *Advances in Plant Biopesticides*, Springer, New Delhi, pp. 361–379 ISBN: 9788132220060. 2014.
- <sup>7</sup> LIU, Y. et al., *A 1961–2010 Record of fertilizer use, pesticide application and cereal yields: a review*, Agronomy for Sustainable Development, 35, 83–93. 2015. DOI: [10.1007/s13593-014-0259-9](https://doi.org/10.1007/s13593-014-0259-9).
- <sup>8</sup> PINO-OTÍN, M. R. et al., *Ecotoxicity of a new biopesticide produced by Lavandula luisieri on non-target soil organisms from different trophic levels*, Science of the Total Environment, 671, 83–93. 2019. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.03.293](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.293).
- <sup>9</sup> ACHEUK, F. et al., *Status and prospects of botanical biopesticides in Europe and Mediterranean countries*, Biomolecules, 12, 311. 2022. DOI: [10.3390/biom12020311](https://doi.org/10.3390/biom12020311).
- <sup>10</sup> BUTU, M. et al., *Biopesticides Volume 2: Advances in Bio-inoculants*, Woodhead Publishing, pp. 19–29. 2022. DOI: [10.1016/B978-0-12-823355-9.00010-9](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823355-9.00010-9).
- <sup>11</sup> *Biopesticides*.
- <sup>12</sup> KUMAR, S., *Biopesticides: A need for food and environmental safety*, Biofertilizers & Biopesticides.
- <sup>13</sup> ANTWI, F. B. & REDDY, G. V. P., *Toxicological effects of pyrethroids on non-target aquatic insects*, Environmental Toxicology and Pharmacology, 40, 3, 915–923. 2015. DOI: [10.1016/j.etap.2015.09.023](https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.09.023).
- <sup>14</sup> PRETTY, J. & PERVEZ, Z., *Integrated pest management for sustainable intensification of agriculture in Asia and Africa*, Insects, 6, 152–182. 2015. DOI: [10.3390/insects6010152](https://doi.org/10.3390/insects6010152).
- <sup>15</sup> VALLAD, G. E., *Use of Biopesticides for the Management of Vegetable Diseases of Plant Pathology*, UF/IFAS Gulf Coast REC.
- <sup>16</sup> *EU Pesticides Database*.
- <sup>17</sup> MISHRA, J. et al., *Biopesticides: where we stand?*, Springer, New Delhi, pp. 37–75 ISBN: 9788132220688. 2015.
- <sup>18</sup> ERBACH, G., *Pesticide legislation in the EU towards sustainable use of plant protection products*, Library Briefing – Library of the European Parliament, 1–6. 2012.
- <sup>19</sup> OGUH, C. E. et al., *Natural pesticides (biopesticides) and uses in pest management – a critical review*, Asian Journal of Biotechnology and Genetic Engineering, 2, 3, 1–18. 2019.
- <sup>20</sup> *Primal Group of Companies*, *Charting the rise of neem in agriculture – Primal Group*.
- <sup>21</sup> ISMAN, M. B., *Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world*, Annu. Rev. Entomol, 51, 45–66. 2006. DOI: [10.1146/annurev.ento.51.110104.151146](https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151146).
- <sup>22</sup> ZANUNCIO, J. C. et al., *Toxic effects of the neem oil (Azadirachta indica) formulation on the stink bug predator, Podisus nigrispinus (Heteroptera: Pentatomidae)*, Scientific Reports, 6, 1–8. 2016. DOI: [10.1038/srep30261](https://doi.org/10.1038/srep30261).
- <sup>23</sup> GONÇALVES, M. F. et al., *Efficacy of spinosad bait sprays to control Bactrocera oleae and impact on non-target arthropods*, Phytoparasitica, 40, 17–28. 2011. DOI: [10.1007/s12600-011-0195-z](https://doi.org/10.1007/s12600-011-0195-z).
- <sup>24</sup> ARENA, M. et al., *Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance azadirachtin (Margosa Extract)*, EFSA Journal, 16, 9. 2018. DOI: [10.2903/J.EFSA.2018.5234](https://doi.org/10.2903/J.EFSA.2018.5234).
- <sup>25</sup> ARENA, M. et al., *Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance spinosad*, EFSA Journal, 16, 5. 2018. DOI: [10.2903/J.EFSA.2018.5252](https://doi.org/10.2903/J.EFSA.2018.5252).
- <sup>26</sup> AMIARD-TRIQUET, C. et al., *Aquatic Ecotoxicology: Advancing Tools for Dealing with Emerging Risks*, Predictive ecotoxicology and environmental assessment, 463–496. 2015. DOI: [10.1016/B978-0-12-800949-9.00019-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800949-9.00019-X).
- <sup>27</sup> OECD, *Environment Directorate. Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, Pesticides and Biotechnology*. Report of the 9th Biopesticides Expert Group Seminar on Test Methods for Micro-Organisms Series on Pesticides. 2019.
- <sup>28</sup> BUCKWELL, A. et al., *Crop Protection & the EU Food System: Where Are They Going? Rise Foundation*, Brussels. 2020.