

A pertinência da avaliação dos efeitos adversos potenciais dos biopesticidas sobre as abelhas

The relevance of evaluating the potential adverse effects of biopesticides on bees

La relevancia de evaluar los efectos adversos potenciales de los biopesticidas en las abejas

Rubens Onofre Nodari^{1*}, Marcia Regina Fanta² e Sonia Corina Hess³

¹ Programa de Pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina. Ph.D. em Genética pela Universidade da Califórnia em Davis. Florianópolis/SC – Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8884-2426>. E-mail: rubens.nodari@ufsc.br;

² Programa de Pós-graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina. Doutora em Recursos Genéticos Vegetais, pela UFSC. Florianópolis/SC – Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1664-134X>. E-mail: marcia.fanta@gmail.com;

³ Universidade Federal de Santa Catarina. Doutora em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina. Curitiba/SC - Brasil Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6137-5445>. E-mail: soniahess@gmail.com.

Recebido em: 13 abr. 2025. Aceito em: 11 jun. 2025. Publicado em: 01 out. 2025

Resumo

É crescente o uso de bioinsumos nas atividades agropecuárias do Brasil, como os “agentes de controle biológico” (Lei nº 15.070/2024), também denominados de pesticidas biológicos ou biopesticidas. Embora utilizados indiscriminadamente, pouco se conhece dos seus possíveis riscos em organismo não-alvos. Assim, o objetivo do trabalho foi investigar os dados relativos ao comércio dos biopesticidas, reguladores de crescimento e microbiológicos, entre outros; seus fabricantes; os efeitos sobre as abelhas dos biopesticidas já registrados e a pertinência da avaliação dos possíveis efeitos adversos sobre as abelhas. Os estudos já realizados indicam a ocorrência de riscos dos biopesticidas aos polinizadores e aos ecossistemas. Da presente investigação emergem duas necessidades: a primeira é a urgente análise e a ampliação de normas legais que instituem e disciplinem a avaliação de risco de biopesticidas; a segunda, é a cautela no uso dos biopesticidas, em particular na produção orgânica e agroecológica, até que seus riscos sejam avaliados.

Palavras-chave: Agentes de controle biológico, Polinizadores, Avaliação de risco, Organismos não-alvos.

Abstract

The use of biological products in Brazilian agriculture, such as “biological control agents” (Law No. 15,070/2024), also known as biological pesticides or biopesticides, is on the rise. Although they are used indiscriminately, little is known about their possible risks to nontarget organisms. Thus, this study aimed to collect and analyze data that included biopesticides production, including growth regulators and microbiologicals, specific manufacturers, the adverse effects of currently registered biopesticides on bees and the relevance of assessing potential adverse effects on bees. We also comment on the relevance of such studies in the context of conserving wild bee populations. Studies have already reported the risks biopesticides pose to pollinators and ecosystems, calling for the 1) evaluation and expansion of legal standards that establish and regulate the risk assessment of pesticides and 2) the exercise of caution in the use of biopesticides, particularly in organic and agroecological production, until their risks are assessed.

Keywords: Biological control agents, Pollinators, Risk assessment, Non-target organisms.

Resumen

El uso de bioinsumos en las actividades agrícolas en Brasil está aumentando, como los “agentes de control biológico” (Ley nº 15.070/2024), también llamados pesticidas biológicos o biopesticidas. Aunque se utilizan indiscriminadamente, se sabe poco acerca de sus posibles riesgos para organismos no objetivo. Así, el objetivo del trabajo fue investigar datos relacionados con el comercio de biopesticidas, reguladores de crecimiento y microbiológicos, entre otros; sus fabricantes, los efectos sobre las abejas de los biopesticidas ya registrados; y la relevancia de la evaluación de los potenciales efectos adversos sobre las abejas. Estudios ya realizados indican la existencia de riesgos por los biopesticidas para los polinizadores y los ecosistemas. De esta investigación se desprenden dos necesidades: la primera es el desarrollo urgente evaluar y ampliar normas legales que establezcan y regulen la evaluación de riesgos de los biopesticidas; La segunda es la cautela en el uso de biopesticidas, particularmente en la producción orgánica y agroecológica, hasta que se evalúen sus riesgos.

Palabras-clave: Agentes de control biológico, Polinizadores, Evaluación de riesgos, Organismos no blanco.

INTRODUÇÃO

Com a publicação da Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024, passaram a ser regulamentados todos os bioinsumos utilizados na atividade agropecuária, incluídos os bioestimuladores ou inibidores de crescimento ou desempenho, semioquímicos, bioquímicos, fitoquímicos, metabólitos, macromoléculas orgânicas, agentes biológicos de controle, condicionadores de solo, biofertilizantes e inoculantes. Isto também inclui macroorganismos que funcionem como agentes biológicos de controle e microrganismos para distintas modalidades. Faz-se importante salientar que a referida lei permite a mistura de produtos biológicos com agrotóxicos sintéticos também no processo de produção destes produtos.

Embora amplamente utilizada no Brasil, a expressão biopesticida não consta nas normas legais brasileiras. Contudo, consta a expressão “agentes biológicos de controle” no item 2 do § 2º, do Art. 1º da Lei nº 15.070 de 2024. Assim, agrotóxicos (pesticidas) biológicos, extratos vegetais e microbiológicos estariam contemplados nessa lei.

Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (US-EPA, 1982) definiu biopesticidas (ou pesticidas biológicos) como pesticidas derivados de materiais naturais (por exemplo, animais, plantas, bactérias e certos minerais). Nesta definição, os biopesticidas incluem substâncias naturais que controlam pragas (pesticidas bioquímicos), microrganismos que controlam pragas (pesticidas microbianos) e substâncias pesticidas produzidas por plantas, contendo material genético adicionado (planta-protetores incorporados).

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) definem biopesticida como: “um termo genérico geralmente aplicado a uma substância derivada da natureza, como um microrganismo ou planta ou semioquímico, que pode ser formulado e aplicado de maneira semelhante a um pesticida químico convencional e que é normalmente usado para controle de pragas a curto prazo” (FAO, 2017).

Devido à sua origem natural, os biopesticidas são considerados, às vezes, como menos danosos à biodiversidade do que os agrotóxicos sintéticos (Haddi *et al.*, 2020), em

particular aos insetos benéficos, como as abelhas. Por isso, o seu uso tem sido encorajado na proteção de cultivos. Embora poucos estudos tenham sido divulgados até o momento, abordando possíveis riscos dos biopesticidas aos polinizadores e aos ecossistemas, nas revisões de literatura feita por Cappa *et al.* (2019; 2022) indicou-se que os biopesticidas causam uma infinidade de efeitos subletais nos insetos benéficos.

Por outro lado, tem sido demonstrado que o uso indiscriminado e excessivo de agrotóxicos sintéticos tem efeitos deletérios sobre os seres humanos, os ecossistemas e a biodiversidade (Augusto *et al.*, 2024; Hess *et al.*, 2021). Além disso, há uma preocupação com o declínio da população de abelhas a nível mundial, com consequências consideráveis sobre os serviços de polinização que elas realizam para a produção dos cultivos e a integridade dos ecossistemas terrestres (Faita; Chaves; Nodari, 2021). Como uma alternativa aos métodos tradicionais de proteção de cultivos, os biopesticidas ou biológicos têm crescido em relevância.

Simultaneamente, está em curso a diminuição geral dos polinizadores, em particular das abelhas, e tal declínio afeta negativamente espécies de plantas silvestres e cultivadas (Potts *et al.*, 2010). Giannini *et al.* (2015) revisaram a dependência das plantas por polinizadores e estimaram o valor econômico anual da polinização para cada cultivo. Das 114 principais plantas utilizadas para produção de alimento, 87 necessitam da polinização animal (Klein *et al.*, 2007). Para um terço delas, a dependência por polinizadores é grande ou essencial (Giannini *et al.*, 2015). Em uma eventual crise de polinizadores, a produção no Brasil seria comprometida em 40 a 100%, evidenciando a vulnerabilidade da economia brasileira, que é baseada na agricultura dependente de polinização (Novais *et al.*, 2016). Essa crise iminente afetaria o Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, reduzindo a contribuição agrícola em até 19,36%, correspondente a aproximadamente 14,56 bilhões de dólares por ano. Rodger *et al.* (2021) constataram que, sem polinizadores, metade de todas as plantas em floração sofreriam um declínio na fertilidade de mais de 80%, enquanto um terço não produziria sementes.

As abelhas (Apoideae), são o grupo de polinizadores mais importantes, responsáveis pela polinização de 80% dos cultivos agrícolas (Wolowski *et al.*, 2019). Diferentes de outros animais que realizam este serviço ecossistêmico, elas dependem exclusivamente de

recursos florais em todas suas fases de vida (Michener, 2007). Atualmente são conhecidas cerca de 21.500 espécies de abelhas, das quais, aproximadamente, 90% são de hábitos solitários e silvestres, com um número reduzido de espécies manejadas para a polinização e a produção de mel (Potts *et al.*, 2016). Entre as abelhas manejadas, destaca-se a *Apis mellifera*, considerada a principal polinizadora (em função da quantidade de abelhas por enxames) (Roubik, 2002), além de espécies solitárias e eusociais sem ferrão (Potts *et al.*, 2016).

Atualmente, são descritas 605 espécies, a maior diversidade ocorrendo nas Américas, com aproximadamente 420 espécies descritas, sendo 330 só no Brasil (Engel *et al.*, 2023). Existem, aproximadamente, 2.000 espécies de abelhas no Brasil (Moure *et al.*, 2008). Destas, 95 espécies de abelhas nativas sem ferrão têm potencial para a criação racional, segundo o Catálogo Nacional de Abelhas-Nativas-Sem-Ferrão (ICMBIO, 2021), além da abelha africanizada (*A. mellifera*). As abelhas sem ferrão estão distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais do mundo (Michener, 2007).

As abelhas eusociais exibem um comportamento coletivo, em que as colônias funcionam como um superorganismo (Moritz; Fuchs, 1998). Deste modo, os estudos desenvolvidos com abelhas eusociais precisam considerar a complexidade de interações entre castas e diferentes gerações, uma vez que grupos de indivíduos mantidos em laboratório não reproduzem o que ocorre na colônia e em suas relações com o ambiente (Faita; Chaves; Nodari, 2021). Assim, para fins de conservação de abelhas eusociais, a colônia deve ser o foco.

O objetivo do presente trabalho foi coletar e analisar dados relativos ao comércio dos biopesticidas biológicos e microbiológicos, entre outros, com uso autorizado no Brasil, seus fabricantes e os seus efeitos sobre abelhas, bem como a necessidade da avaliação de risco dos biopesticidas antes do registro e uso. Também comentamos sobre a relevância de tais estudos no contexto da conservação de populações de abelhas silvestres

METODOLOGIA

As fontes consultadas foram as bases de dados: 1) do AGROFIT, vinculado ao Ministério

da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, para obtenção dos produtos agrotóxicos e agentes de controle (biopesticidas) biológicos e microbiológicos, registrados com uso autorizado no Brasil; 2) da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), para obtenção dos ingredientes de agrotóxicos e agentes de controle (biopesticidas) biológicos e microbiológicos, registrados com uso autorizado no Brasil e normas de avaliação da inocuidade dos referidos produtos; 3) do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), para obtenção de dados relativos ao comércio dos agrotóxicos e pesticidas biológicos e microbiológicos, entre outros; 4) do Portal da Legislação (<https://www4.planalto.gov.br/legislacao>), para obtenção de normas de avaliação da inocuidade ou avaliação de risco dos pesticidas biológicos e microbiológicos; e 5) *Web of Science*, *Scopus* e *Google Scholar* para identificar e consultar os artigos científicos em que foram avaliados os “efeitos de biopesticidas sobre abelhas” ou “efeito de pesticida biológico sobre abelhas”, ou “efeito do controle biológico sobre abelhas” ou “efeito dos agentes de controle biológico sobre abelhas”, dos produtos de maior consumo e já registrados no Brasil e obtidos da fonte (1). As buscas na base de dados (5) foram feitas durante o mês de março de 2025 e as demais bases de dados estão indicadas nas referências bibliográficas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comercialização de pesticidas microbiológicos no Brasil entre 2019 e 2023

Os relatórios de comercialização de agrotóxicos divulgados pelo IBAMA (2024) revelam que entre 2019 e 2023 a quantidade de pesticidas microbiológicos vendidos no Brasil aumentou em 674,2%, passando de 493 toneladas em 2019 a 3.817 toneladas em 2023. Ao mesmo tempo, a produção nacional daqueles insumos teve incremento de 1.404,0% (de 327 a 4.918 toneladas) (**Figura 1**). Os estados onde houve maior comercialização de pesticidas microbiológicos em 2023 foram Mato Grosso (773 toneladas), São Paulo (728), Paraná (475) e Goiás (446).

Os dados da Figura 1 ensejam pelo menos dois aspectos: O primeiro é a taxa de crescimento da produção e venda, que aumentaram 15 vezes e 7,7 vezes, respectivamente, em cinco anos. Considerando que pesticidas biológicos e microbiológicos também têm

sido feitos e utilizados nas propriedades, o uso tem aumentado muito nos últimos cinco anos. O segundo aspecto refere-se ao fato de que o uso destes produtos tem sido considerado uma alternativa ao uso de agrotóxicos sintéticos. A extensa literatura tem demonstrado que os agrotóxicos sintéticos causam muitas doenças, algumas mortais, em humanos e danos críticos ao meio ambiente (Ayilara *et al.*, 2023). Os mesmos autores afirmaram ainda que, ao contrário dos agrotóxicos sintéticos, os pesticidas microbiológicos têm ação específica, podendo ser facilmente obtidos sem a necessidade de produtos químicos caros e são ambientalmente sustentáveis, sem efeitos residuais. Contudo, os referidos autores não demonstram cientificamente que os biopesticidas são, ou não, ambientalmente sustentáveis. Exemplificando, a palavra “abelhas” aparece no texto. Um único estudo citado sobre abelhas foi baseado em protocolos de análises da OECD, que são objetos de discussão na Seção A: pertinência da avaliação de potenciais danos dos biopesticidas em abelhas e outros organismos não-alvo.

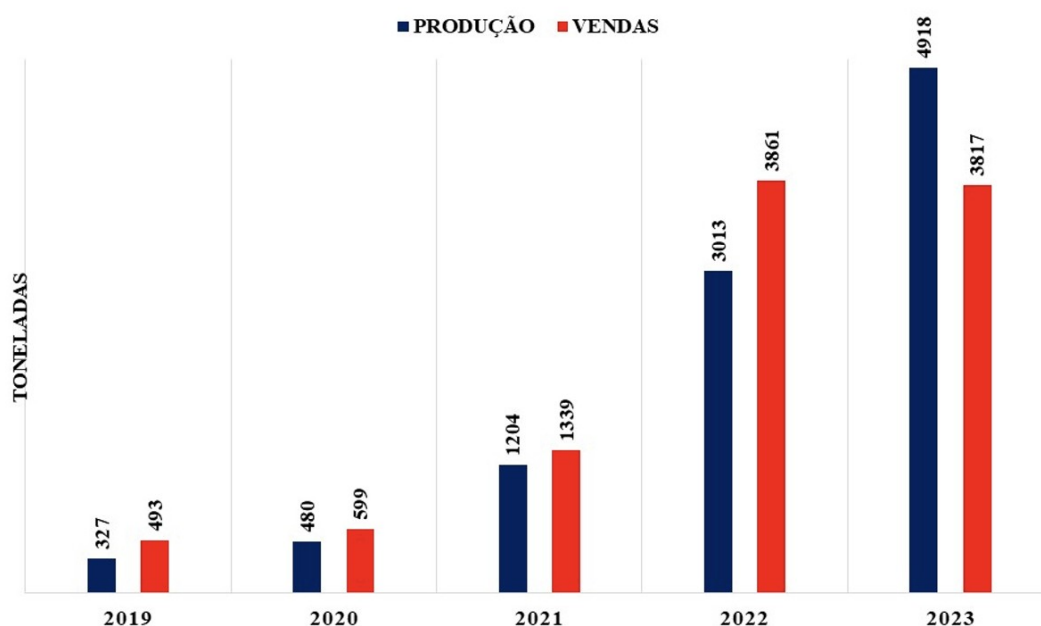


Figura 1 – Evolução da quantidade de pesticidas microbiológicos produzidos e comercializados no Brasil (em toneladas) entre 2019 e 2023. Source: IBAMA, 2024

Panorama dos agentes biológicos de controle de pragas com uso autorizado no Brasil

O registro de agrotóxicos contendo ingredientes ativos biológicos ou microbiológicos para o controle de pragas nos anos de 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 e 2024 totalizaram, respectivamente, 41, 29, 79, 129, 96 e 98 produtos (AGROFIT, 2024).

Em novembro de 2024 havia 559 ingredientes ativos de agrotóxicos com uso autorizado no Brasil. Dentre esses, 368 (65,8%) eram produtos químicos, 95 (17,0%) agentes microbiológicos ou biológicos e 95 (17,0%), feromônios sintéticos, reguladores de crescimento e cairomônios sintéticos (ANVISA, 2025a, 2025b). Os agentes biológicos e microbiológicos de controle de pragas, incluindo cepas, isolados e linhagens de microorganismos totalizavam 209 ingredientes ativos, que apresentavam atividades inseticidas (78) e/ou fungicidas e/ou nematicidas (49) e/ou acaricidas (12) e/ou bactericidas (5) (ANVISA, 2025a, 2025b; AGROFIT, 2024). Dentre aqueles agentes de controle, 28 não estavam presentes em nenhum produto comercial registrado no AGROFIT, enquanto os demais faziam parte de algum dos 606 agrotóxicos comerciais com ingredientes ativos biológicos autorizados para uso no país, listados no AGROFIT como inseticidas (399) e/ou fungicidas (157) e/ou acaricidas (109) e/ou nematicidas (89) e/ou bactericidas (13) (AGROFIT, 2024).

Dentre os agentes biológicos de controle de pragas, os que estavam presentes no maior número de produtos registrados no AGROFIT em novembro de 2024 eram: *Azadiracta indica* (A. Juss, 1830); *Bacillus amyloliquefaciens* (ex. Fukomoto, 1943) (Priest *et al.*, 1987), cepas e isolados; *Bacillus subtilis* (Ehrenberg, 1835) (Cohn, 1872), cepas, linhagens e isolados; *Bacillus thuringiensis* (Berliner, 1915), cepas e isolados; *Bacillus velezensis* (Ruiz-García *et al.*, 2005), cepas, estirpes e isolados; *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) (Vuill., 1912), cepas e isolados; *Cordyceps fumosorosea*, sinônimo *Isaria fumosorosea*, (Wize, 1904) (Kepler, B. Shrestha & Spatafora, 2017), cepas; *Cotesia flavipes* (Cameron, 1891); *Metarhizium anisopliae* (Metschn.) (Sorokīn, 1883), cepas e isolados; *Trichoderma harzianum* (Rifai, 1969), cepas e isolados; *Trichoderma viride* (Pers., 1794), isolados; e *Trichogramma pretiosum* (Riley, 1879) (AGROFIT, 2024). Dentre esses, destacam-se seis que tiveram mais de 100 toneladas comercializadas em 2022 (IBAMA, 2025): *Bacillus amyloliquefaciens*, fungicida e nematicida (1.879 t);

Trichoderma harzianum, nematicida (972 t); *Bacillus subtilis*, fungicida, nematicida, inseticida (246 t); *Bacillus thuringiensis*, inseticida, acaricida (160 t); *Isaria fumosorosea*, inseticida (159 t); e *Beauveria bassiana*, inseticida, acaricida (110 t). Na União Europeia, as espécies *Cotesia flavipes*; *Trichoderma harzianum*; *Trichoderma viride* e *Trichogramma pretiosum* não constam entre os pesticidas com uso autorizado (UNIÃO EUROPEIA, 2025).

As empresas detentoras dos registros de mais de 10 biopesticidas contendo ingredientes ativos biológicos ou microbiológicos que constavam no sistema AGROFIT em novembro de 2024 eram: Total Biotecnologia Industria e Comercio S.A. (grupo Biofirst) – Curitiba/PR, 46 produtos; Koppert do Brasil Holding Ltda. (grupo Koppert) – Piracicaba/SP, 43 produtos; Simbiose Indústria e Comércio de Fertilizantes e Insumos Microbiológicos Ltda. – Cruz Alta/RS, 33 produtos; Ballagro Agro Tecnologia Ltda. – Bom Jesus dos Perdões/SP, 21 produtos; Vittia Fertilizantes e Biológicos S.A. – São Joaquim da Barra/SP, 18 produtos; Agrobiológica Sustentabilidade S.A. (Cropcare Holding) – Jaguariúna/SP, 15 produtos; Lallemand Soluções Biológicas Ltda. (Lallemand Inc.) – Piracicaba/SP, 14 produtos; Solubio Tecnologias Agrícolas S.A. – Jataí/GO, 14 produtos; Vital Brasil Chemical Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda. – Barretos/SP, 14 produtos; Promip Manejo Integrado de Pragas Ltda. – Engenheiro Coelho/SP, 12 produtos; Agrivalle Brasil Indústria e Comércio de Produtos Agrícolas S.A. – Indaiatuba/SP, 11 produtos; Topbio Insumos Biológicos Indústria e Comércio Ltda. – Tibau/RN, 11 produtos; Bionat Soluções Biológicas Ltda (Essere Group, holding) – Olímpia/SP, 10 produtos; TZ Biotec Ltda. – Ribeirão Preto/SP, 10 produtos (AGROFIT, 2024). Dentre aquelas 14 empresas, 71,4% (10) estão localizadas no estado de São Paulo, e 7,1% em cada um dos estados do Paraná, Rio Grande do Sul, Goiás e Rio Grande do Norte (uma empresa). Portanto, embora alguns microrganismos sejam desenvolvidos fora do Brasil, todas as empresas têm instalações no país, o que demonstra a existência de capacidade técnica e operacional para a produção e/ou comercialização nacional de tais insumos para substituir ou minimizar a intensidade de uso de ingredientes ativos sintéticos.

Atividades biológicas adversas dos biopesticidas sobre abelhas

As atividades biológicas e o número de produtos registrados no AGROFIT contendo os ingredientes ativos biológicos listados no tópico anterior estão descritos para os 12 ingredientes biológicos de agentes de controle com maior número de produtos comerciais registrados no Brasil, assim como estudos que indicam efeitos tóxicos desses ingredientes sobre abelhas (Tabela 1). Os dados relativos aos efeitos tóxicos dos pesticidas biológicos sobre as abelhas são particularmente preocupantes ao se considerar a sua crescente aplicação em extensas áreas no Brasil, inclusive, por via aérea. É o caso da aplicação de inseticidas à base de *Metarhizium anisopliae*, suas cepas e isolados em plantações de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo (Nodari; Hess, 2023).

Dos 12 ingredientes biológicos de agentes de controle já registrados no Brasil listados na Tabela 1, existem dados da literatura científica comprovando os efeitos adversos em abelhas para sete deles. Além disso, é discrepante o número de estudos para os diversos produtos já registrados (Tabela 1). Comparativamente ao efeito individual de cada produto, o uso combinado de dois ou mais produtos também pode apresentar sinergismo ou até antagonismo. No caso da exposição das abelhas à combinação de pesticidas microbiológicos contendo *Bacillus thuringiensis aizawai* ABTS-1857 e *B. amyloliquefaciens* QST 713, resultou em sinergismos, pois houve redução drástica da vida útil média de 4,5 dias, em comparação com 8,0 e 8,5 dias após a exposição aos produtos individuais, respectivamente (Alkassab *et al.*, 2024). A exposição das abelhas à mistura dos fungicidas sintéticos Zignal® e Captan SC® promoveu uma maior redução na densidade da população de abelhas adultas, no número de ninhadas abertas e fechadas e na quantidade de alimento armazenado em comparação ao uso isolado dos dois fungicidas (Chaves *et al.*, 2023). Estes resultados são um indicativo de que os biopesticidas devem ser testados isolados ou em misturas quanto à sua inocuidade aos organismos não-alvos antes da sua liberação para uso.

Por outro lado, as abelhas do gênero *Apis* podem ser utilizadas para dispersar espécies no processo do controle biológico, como *Trichoderma harzianum* no manejo de *Botrytis cinerea* em morango no campo (Shafir *et al.*, 2006; Qiu *et al.*, 2021).

Além dos efeitos sobre abelhas, a literatura científica também já comprovou efeitos em outros organismos não-alvos. Por exemplo, *Beauveria bassiana*, que tem um hábito predatório generalista e é um importante agente de biocontrole (Brock *et al.*, 2021), pode alterar a atividade individual, reduzir a sobrevivência de operárias expostas, isoladas ou em colônias, prejudicar a capacidade reprodutiva das fundadoras e induzir a remoção de ninhadas expostas, levando à falha prematura das colônias da vespa *Polistes dominula* (Cappa *et al.*, 2024). Em outro exemplo, todas as concentrações testadas do biopesticida Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) afetaram a reprodução e o tamanho de *Daphnia magna* (Maranho *et al.*, 2014), importante componente do plâncton, componente da dieta de invertebrados e vertebrados aquáticos (Antunes; Castro, 2017). Estes resultados indicam que os biopesticidas prejudicam organismos que pertencem a distintas redes tróficas, causando desequilíbrios com efeitos desconhecidos.

É relevante mencionar que tanto a comunidade científica quanto a sociedade civil organizada e preocupada com a conservação de espécies vêm sugerindo o uso de abelhas e outros organismos como indicadores de contaminação ambiental. Por exemplo, as espécies *A. mellifera* (Cunningham *et al.*, 2022) e *Scaptotrigona* aff. *depilis* (Rosa *et al.*, 2015), esta nativa do Brasil, são consideradas como potenciais indicadores de contaminação ambiental por agrotóxicos.

Além do uso de biopesticidas na agricultura, há ainda chance de seu uso em áreas urbanas. Os moradores urbanos são mais propensos a usar biopesticidas de forma inadequada em jardins, parques, quintais e chácaras, entre outros. Portanto, os polinizadores têm chances de serem contaminados pelos ingredientes ativos desses biopesticidas nas áreas urbanas, caso venham a ser utilizados, a exemplo do que ocorre com os agrotóxicos químicos já em uso (Siviter *et al.*, 2023). Estes autores detectaram resíduos de 13 diferentes agrotóxicos, alguns em concentrações conhecidas, por terem impactos subletais em polinizadores de oito gêneros, incluindo abelhas.

Tabela 1 – Agentes biológicos de controle de pragas ou doenças de plantas, de maior número de produtos comerciais com uso autorizado no Brasil, suas atividades biológicas, número de produtos registrados e estudos em que foram aferidos efeitos tóxicos sobre abelhas

Ingrediente ativo*	Organismo Origem	Atividades biológicas*	Nº de produtos *	Abelhas afetadas por efeitos tóxicos do ingrediente ativo
<i>Azadirachta indica</i> , azadirachtin	Planta	Fungicida e inseticida	17	<i>Melipona quadrifasciata</i> (Barbosa <i>et al.</i> , 2015); <i>Partamona helleri</i> (Bernardes <i>et al.</i> , 2018); <i>Apis cerana</i> (Challa; Firake; Behere, 2019); <i>A. mellifera</i> (Gomes <i>et al.</i> , 2020); <i>A. cerana cerana</i> (Zhao <i>et al.</i> , 2022).
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , suas cepas e isolados	Bactéria	fungicida e/ou nematocida e/ou acaricida	45	<i>A. mellifera</i> (Sabo <i>et al.</i> , 2020)
<i>Bacillus subtilis</i> , suas cepas, linhagens e isolados	Bactéria	Bactericida e/ou fungicida e/ou nematocida e/ou inseticida e/ou ativador de planta	42	<i>Bombus terrestris</i> (Mommaerts <i>et al.</i> , 2009); <i>B. impatiens</i> (Ramanaidu; Cutler, 2013).
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Bactéria	Inseticida e/ou nematocida	61	<i>A. mellifera</i> (Steinigeweg <i>et al.</i> , 2021, 2023).
<i>Bacillus velezensis</i> , suas cepas, estirpes e isolados	Bactéria	Fungicida e/ou nematocida	25	Sem registro
<i>Beauveria bassiana</i> , suas cepas e isolados	Fungo ascomiceto	Inseticida e/ou acaricida	118	<i>B. terrestris</i> (Mommaerts <i>et al.</i> , 2009; Demirozer <i>et al.</i> , 2022); <i>B. impatiens</i> (Ramanaidu; Cutler, 2013); <i>A. mellifera</i> e <i>Meliponula ferruginea</i> (Omuse <i>et al.</i> , 2022); <i>Tetragonisca angustula</i> , <i>Scaptotrigona mexicana</i> e <i>M. beecheii</i> (Toledo-Hernández <i>et al.</i> , 2016); <i>S. aff. depilis</i> (Santos, 2023); <i>A. mellifera</i> (Cappa <i>et al.</i> , 2019; Carlesso <i>et al.</i> , 2020; Telles Amandio <i>et al.</i> , 2024); <i>T. angustula</i> (Almeida <i>et al.</i> , 2022); <i>S. depilis</i> e <i>T. angustula</i> (Leite <i>et al.</i> , 2022); <i>M. quadrifasciata</i> , <i>Plebeia droryana</i> e <i>S. bipunctata</i> (Faita; Pereira; Poltronieri, 2024).
<i>Cordyceps fumosorosea</i> (<i>Isaria fumosorosea</i> , <i>Paecilomyces fumosorosea</i>) e cepas	Fungo ascomiceto	Inseticida, nematocida	8	<i>T. angustula</i> , <i>S. mexicana</i> e <i>M. beecheii</i> (Toledo-Hernández <i>et al.</i> , 2016); <i>M. quadrifasciata</i> , <i>P. droryana</i> e <i>S. bipunctata</i> (Faita; Pereira; Poltronieri, 2024).
<i>Cotesia flavipes</i>	Vespa/ animal	Inseticida (broca-da-cana)	28	Sem registro

Ingrediente ativo*	Organismo Origem	Atividades biológicas*	Nº de produtos *	Abelhas afetadas por efeitos tóxicos do ingrediente ativo
<i>Metarhizium anisopliae</i> , suas cepas e isolados	Fungo ascomiceto	Inseticida	111	<i>A. mellifera</i> e <i>M. ferruginea</i> (Omuse <i>et al.</i> , 2022); <i>T. angustula</i> , <i>S. mexicana</i> e <i>M. beecheii</i> (Toledo-Hernández <i>et al.</i> , 2016); <i>S. depilis</i> e <i>T. angustula</i> (Leite <i>et al.</i> , 2022); <i>M. quadrifasciata</i> , <i>P. droryana</i> e <i>S. bipunctata</i> (Faita; Pereira; Poltronieri, 2024).
<i>Trichoderma harzianum</i> , suas cepas e isolados	Fungo ascomicet o	Fungicida e/ou nematocida	74	Sem registro
<i>Trichoderma viride</i>	Fungo ascomicet o	Fungicida	30	Sem registro
<i>Trichogramma pretiosum</i>	Fungo ascomicet o	Inseticida	12	Sem registro

*Fonte: AGROFIT, 2025

No mercado internacional, existem biopesticidas ainda não registrados no Brasil. Exemplo disso é o biopesticida à base de espinosinas A e B, extraídas da bactéria *Saccharopolyspora spinosa*, extremamente tóxicas para *A. mellifera* (Cappa *et al.*, 2022). A exposição de abelhas a espinosinas causa transcrições de genes que codificam proteínas de importantes vias fisiológicas, como sinalização neuronal, regulação do sistema imunológico, fosforilação oxidativa, metabolismo e regulação endócrina (Christen *et al.*, 2019). Contudo, os autores deste estudo conduzido na Alemanha verificaram que os danos foram bem menores quando as abelhas foram expostas com pólen contendo espinosinas no verão comparativamente à primavera.

A pertinência da avaliação de potenciais danos dos biopesticidas em abelhas e outros organismos não-alvo

Por serem considerados menos tóxicos ou até naturais, os biopesticidas não têm despertado a mesma preocupação, quando comparados com as demais substâncias potencialmente causadoras de agravos à saúde humana e de degradação ambiental, utilizadas na agropecuária. Segundo a FAO e a OMS, para os agentes microbianos de controle de pragas ou produtos microbianos de controle de pragas patogênicos de insetos, devem ser fornecidas informações provenientes de literatura de boa qualidade ou estudos

sobre a patogenicidade de agentes microbianos de controle de pragas para abelhas, em compartimentos ambientais relevantes (FAO, 2017).

As duas agências (FAO e OMS) indicaram que espécies não nativas de agentes microbianos ou produtos microbianos de controle de pragas patogênicas de insetos, representam um risco maior porque organismos não-alvo podem nunca ter sido expostos a elas. Por conseguinte, devem ser fornecidas informações dos mesmos (conforme apropriado) sobre o potencial de efeitos do microrganismo em organismos não-alvos encontrados nos compartimentos relevantes do solo, do ar e/ou da água (FAO, 2017).

Os testes são limitados aos protocolos existentes para pesticidas químicos sintéticos (OECD, 1998a, 1998b; 2013; 2017), cujos efeitos subletais foram documentados tardiamente, uma vez que as alterações fisiológicas e/ou comportamentais não são adequadamente consideradas (Cappa *et al.*, 2022). Por outro lado, os mesmos autores advogam que a revisão de literatura demonstra que os biopesticidas causam uma infinidade de efeitos subletais nos insetos polinizadores, o que é corroborado pelos dados apresentados na Tabela 1.

Na União Europeia (UE), os biopesticidas não são tratados como uma categoria separada, mas sim regulamentados pelo quadro geral dos Produtos Fitofarmacêuticos (PFF), principalmente pelo Regulamento (CE) n.º 1107/2009 (UNIÃO EUROPÉIA, 2009). Isso inclui requisitos específicos de dados para substâncias e produtos microbianos ativos, conforme detalhado nos Regulamentos da UE n.º 283/2013 (UNIÃO EUROPÉIA, 2013) e n.º 284/2013 (UNIÃO EUROPÉIA, 2013). A EU também possui um sistema de aprovação de dois níveis, em que o microrganismo ativo é inicialmente aprovado a nível da UE, seguido pelas aprovações individuais dos Estados-Membros.

Nos Estados Unidos, os biopesticidas são agrupados em três classes: pesticidas microbianos, protetores incorporados em plantas e pesticidas bioquímicos. A Agência de Proteção Ambiental (USEPA) determinou que organismos de controle de pragas, como insetos predadores, nematoides e parasitas macroscópicos, bem como feromônios e compostos idênticos ou substancialmente semelhantes, rotulados para uso exclusivo em armadilhas de feromônio e armadilhas de feromônio nas quais esses produtos químicos

são os únicos ingredientes ativos, estão isentos dos requisitos da FIFRA (40 CFR 152.20(a)) que é aplicada para os agrotóxicos sintéticos (USEPA, 1996).

No Brasil, a Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024 (BRASIL, 2024) não estabelece para os bioinsumos para uso agrícola, pecuário, aquícola e florestal, nenhum dispositivo ou obrigação de avaliação de risco, tanto dos produtos já registrados, como também daqueles que vierem a ser registrados. A palavra risco só é mencionada uma vez na referida Lei, no Art. 9º, que estabelece que o órgão federal de defesa agropecuária poderá estabelecer isenções para produtos de baixo risco em ato normativo próprio. Contudo, se não há obrigação para realizar a avaliação de risco, como classificar um produto, como “baixo risco”?

Entretanto, a Lei de Biosinsumos acima referida, que inclui os agentes de controle biológico (aqui denominados de biopesticidas), soma-se a outras normas legais, que nos últimos 15 anos, vem incentivando o uso de novos produtos químicos ou biológicos sem a adequada e pertinente avaliação dos efeitos adversos em organismos não-alvo, como é o caso das abelhas. Neste sentido, dois aspectos são relevantes. O primeiro é a necessidade urgente da elaboração de normas legais que instituem e disciplinem a avaliação de risco de biopesticidas. Em segundo, é necessário cautela no uso dos biopesticidas, em particular na produção orgânica e agroecológica, enquanto os danos destes produtos aos organismos não-alvos não estiverem adequadamente avaliados.

CONCLUSÕES

É crescente o uso de biopesticidas ou agentes de biológico de controle no país como alternativa ao uso de agrotóxicos, cuja produção aumentou 15 vezes no período 2019-2023. Na literatura científica foram encontrados estudos comprovando danos em abelhas para sete dos 12 ingredientes biológicos de agentes de controle mais comuns, registrados até novembro de 2024 no Brasil.

Os estudos existentes de distintos ingredientes biológicos de biopesticidas já autorizados no país foram feitos com um número reduzido de espécies de abelhas existentes no país (14 de cerca de 2000). Desta forma, o conhecimento científico sobre os efeitos dos

biopesticidas deve ser considerado insuficiente para generalizar as conclusões dos estudos publicados.

Particularmente, foi constatado que os biopesticidas com função inseticida podem ter vários modos de ação, sendo relevante mencionar os efeitos subletais, que têm sido de pequena ou inexistente preocupação pela cadeia produtiva comercial. Além disso, toxinas de *Bacillus thuringiensis* (Bt), incorporadas em plantas transgênicas, não têm uma descrição completa de seus modos de ação, o que pode causar efeitos subletais em organismos não-alvo, em particular das abelhas nativas. Além disso, os efeitos de um mesmo biopesticida podem variar sobre diferentes polinizadores.

Desta forma, este cenário indica a necessidade imperativa de estudos adicionais sobre os possíveis impactos destes biopesticidas em organismos não-alvos e, em especial, aos polinizadores, tanto para os biopesticidas já em uso, quanto aos que ainda venham a obter registro, visando o controle biológico. Para isso, normas regulatórias devem ser elaboradas e implementadas o mais breve possível, evitando-se os danos já descritos, bem como aqueles ainda desconhecidos.

Para que um novo agrotóxico convencional seja lançado no mercado, as normas legais exigem que o produto deve ser testado em vários processos, tais como toxicidade, seletividade e efeitos potenciais na saúde humana e no meio ambiente. Contudo, a maioria dos produtos biopesticidas estão isentos de tais exigências, não sendo submetidos aos estudos de avaliação de risco.

AGRADECIMENTO

Os autores manifestam seu agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas concedidas a MRF e RON.

Copyright (©) 2025 - Rubens Onofre Nodari; Marcia Regina Faíta; Sonia Corina Hess

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Monografias autorizadas**: lista em ordem alfabética. Brasília, DF: ANVISA, 2025b. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/setorregulado/regularizacao/agrotoxicos/monografias/monografias-autorizadas-por-letra>. Acesso em 14 fev. 2025.
- _____. **Monografias de agrotóxicos**. Brasília, DF: ANVISA, 2025a. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/acesoainformacao/dadosabertos/informacoes-analiticas/monografias-de-agrotoxicos>. Acesso em 14 fev. 2025.
- AGROFIT. Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). Consulta aberta. Brasília, DF: MAPA, c2024. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 02 jan. 2025.
- ALKASSAB, Abdulrahim *et al.* Exposure of honey bees to mixtures of microbial biopesticides and their effects on bee survival under laboratory conditions. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, p. 26618–26627, 2024. Doi: 10.1007/s11356-024-32753-9.
- ALMEIDA, Felipe *et al.* Side effects of a fungus-based biopesticide on stingless bee guarding behaviour. **Chemosphere**, v. 287 (Pt 2), e132147, 2022. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.132147.
- ANTUNES, Sara C.; CASTRO, Bruno B. Pulgas-de-água (*Daphnia* spp.). **Revista de Ciência Elementar**, v. 5, n. 4, e050, 2017. Doi: 10.24927/rce2017.050.
- AUGUSTO, Lia *et al.* (Org.). **Dossiê danos dos agrotóxicos na saúde reprodutiva: conhecer e agir em defesa da vida**. Rio de Janeiro: ABRASCO/ENSP, 2024. 200p.
- AYILARA, Modupe S. *et al.* Biopesticides as a promising alternative to synthetic pesticides: A case for microbial pesticides, phytopesticides, and nanobiopesticides. *Frontiers in Microbiology*, v. 14, e1040901, 2023. Doi: 10.3389/fmicb.2023.1040901
- BARBOSA, Wagner *et al.* Biopesticide-induced behavioral and morphological alterations in the stingless bee *Melipona quadrifasciata*. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 34, n. 9, p. 2149-2158, 2015. Doi: 10.1002/etc.3053.
- BERNARDES, Rodrigo *et al.* The reduced-risk insecticide azadirachtin poses a toxicological hazard to stingless bee *Partamona helleri* (Friese, 1900) queens. **Chemosphere**, v. 201, p. 550-556, 2018. Doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.03.030.
- BRASIL. Lei Nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/Lei/L15070.htm#art40. Acesso em: 30 dez. 2024.
- BROCK, Ryan E.; CINI, Alessandro; SUMNER, Seirian. Ecosystem services provided by aculeate wasps. **Biological Reviews**. 96, 1645–1675. 2021. Doi: 10.1111/brv.12719.
- CAPPA, Federico; BARACCHI, David; CERVO, Rita. Biopesticides and insect pollinators: Detrimental effects, outdated guidelines, and future directions, **Science of The Total Environment**, v. 837, e155714, 2022. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155714.
- CAPPA, Federico *et al.* Adverse effects of the fungal biopesticide *Beauveria bassiana* on a predatory social wasp, **Science of The Total Environment**, v. 908, e168202, 2024. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.168202.
- CAPPA, Federido *et al.* Natural biocide disrupts nestmate recognition in honeybees. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, e3171, 2019. Doi: 10.1038/s41598-019-38963-3.
- CARLESSO, Daniele *et al.* Exposure to a biopesticide interferes with sucrose responsiveness and learning in honey bees. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, e19929, 2020. Doi: 10.1038/s41598-020-76852-2.
- CHALLA, Giriah K.; FIRAKE, Dnyaneshwar M.; BEHERE, Genesh T. Bio-pesticide applications may impair the pollination services and survival of foragers of honey bee, *Apis cerana* Fabricius in oilseed brassica. **Environmental Pollution**, v. 249, p. 598-609, 2019. Doi: 10.1016/j.envpol.2019.03.048.

CHAVES, Adriana; FAITA, Marcia R.; NODARI, Rubens O. Effects of fungicides on the ultrastructure of the hypopharyngeal glands and the strength of the hives of *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 (Hymenoptera: Apidae). **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 459, e116340, 2023. Doi: 10.1016/j.taap.2022.116340.

CHRISTEN, Verena, *et al.* Biopesticide spinosad induces transcriptional alterations in genes associated with energy production in honey bees (*Apis mellifera*) at sublethal concentrations. **Journal of Hazardous Materials**, v. 378, e120736, 2019. DOI:10.1016/j.jhazmat.2019.06.013

CUNNINGHAM, Margan M. *et al.* Honey bees as biomonitors of environmental contaminants, pathogens, and climate change. **Ecological Indicators**, 134, 108457, 2022. Doi:10.1016/j.ecolind.2021.108457.

DEMIROZER, Ozan; UZUN, Asye; GOSTERIT, Ayhan. Lethal and sublethal effects of different biopesticides on *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae). **Apidologie**, 53, 24, 2022. Doi: 10.1007/s13592-022-00933-6.

ENGEL, Michael S. *et al.* Stingless bee classification and biology (Hymenoptera, Apidae): a review, with an updated key to genera and subgenera. **Zookeys**, 1172:239-312, 2023. Doi: 10.3897/zookeys.1172.104944.

FAITA, Marcia R.; CHAVES, Adriana; NODARI, Rubens O. The expansion of agribusiness: harmful impacts of deforestation, pesticides and transgenics on bees. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v.57, p.79-105, 2021. Doi: 10.5380/dma.v57i0.76157.

FAITA, Marcia R.; PEREIRA, Erick; POLTRONIERI, Alex S. Effect of entomopathogenic fungus-formulated bioinsecticides on stingless bees (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) in the laboratory. **Journal of Apicultural Research**, v. 63, n. 5, p. 924-931, 2024.

GIANNINI, Tereza C. *et al.* Crop pollinators in Brazil: a review of reported interactions. **Apidologie**, v. 46, n. 2, p. 209-223, 2015. Doi: 10.1007/s13592-014-0316-z.

GOMES, Ingrid N. *et al.* Honeybee survival and flight capacity are compromised by insecticides used for controlling melon pests in Brazil. **Ecotoxicology**, v. 29, n. 1, p. 97-107, 2020. Doi: 10.1007/s10646-019-02145-8.

HADDI, Khalid *et al.* Rethinking biorational insecticides for pest management: unintended effects and consequences. **Pest Management Science**, v. 76, n. 7, p. 2286-2293, 2020. Doi: 10.1002/ps.5837.

HESS, Sonia C.; NODARI, Rubens O.; LOPES-FERREIRA, Monica. Agrotóxicos: críticas à regulação que permite o envenenamento do país. **Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPR)**, v. 57, p. 106-134, 2021. Doi: 10.5380/dma.v57i0.76169

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). **Relatórios de comercialização de agrotóxicos**. Brasília: IBAMA, c2024. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos>. Acesso em 14 fev. 2025.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO). Portaria nº 665, de 3 de novembro de 2021. **ICMbio institui catálogo nacional de abelhas nativas sem ferrão**. p. 1-2, 2021, Disponível em: <https://jusdecisum.com.br/icmbio-institui-catalogo-nacional-de-abelhas-nativas-sem-ferrao/>. Acesso em: 14 fev. 2025.

KLEIN, Alexandra-Maria *et al.* Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 274, n. 1608, p.303-313, 2007. Doi: 10.1098/rspb.2006.3721.

LEITE, Mariana O. G. *et al.* Laboratory risk assessment of three entomopathogenic fungi used for pest control toward social bee pollinators. **Microorganisms**, v. 10, n. 9, e1800, 2022. Doi: 10.3390/microorganisms10091800.

MARANHO, L. A. *et al.* Testing the Neem Biopesticide (*Azadirachta indica* A. Juss) for Acute Toxicity with *Danio rerio* and for Chronic Toxicity with *Daphnia magna*. **JAST**, v. 16, n. 1. P. 105-111, 2014. Disponível em: <http://jast.modares.ac.ir/article-23-6440-en.html>. Acesso em: 14 fev. 2025.

- MICHENER, Charles D. **The bees of the world**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2007. 953p.
- MOMMAERTS, Veerle *et al.* A laboratory evaluation to determine the compatibility of microbiological control agents with the pollinator *Bombus terrestris*. **Pest Management Science**, v. 65, n. 9, p. 949-955, 2009. Doi: 10.1002/ps.1778.
- MORITZ, Robin F. A.; FUCHS, Stefan. Organization of honeybee colonies: characteristics and consequences of a superorganism concept. **Apidologie**, v. 29, n. 1-2, p. 7-21, 1998. Doi: 10.1051/apido:19980101.
- MOURE, Jesus S., URBAN, Danúncia; MELO, Gabriel A. R. (Orgs). (2008). **Catálogo de Abelhas (Hymenoptera, Apoidea) na Região Neotropical** - versão online. Disponível em <https://moure.cria.org.br/catalogue>. Acesso em: 24/05/2025.
- NODARI, Rubens O.; HESS, Sonia C. A pulverização aérea de agrotóxicos desordenada em cinco microrregiões com altas taxas de mortalidade por neoplasias e suicídio, Estado de São Paulo, Brasil. **Ciencia Digna**, v. 3, p. 39-52, 2023.
- NOVAIS, Samuel M. *et al.* Effects of a possible pollinator crisis on food crop production in Brazil. **Plos One**, v. 11, n. 11, p. e0167292, 2016. Doi: 10.1371/journal.pone.0167292.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). **OECD guidelines for the testing of chemicals section 2: Effects on biotic systems test No 213 test. Honeybees. Acute oral toxicity test**. Paris, France: Organization for Economic Cooperation and Development. 1998a. Acesso em: 14 fev. 2025.
- _____. **OECD guidelines for the testing of chemicals section 2: Effects on biotic systems test No 214 test. Honeybees. Acute contact toxicity test**. Paris, France: Organization for Economic Cooperation and Development, 1998b. Acesso em: 14 fev. 2025.
- _____. **OECD guidelines for the testing of chemicals section 2: Effects on biotic systems test No 237 test. Honey Bee (Apis Mellifera) Larval Toxicity Test, Single Exposure**. Paris, France: Organization for Economic Cooperation and Development, 2013. Acesso em: 14 fev. 2025.
- _____. **OECD guidelines for the testing of chemicals section 2: Effects on biotic systems test No 245 test. Honey Bee (Apis mellifera L.), Chronic Oral Toxicity Test (10-Day Feeding)**. Paris, France: Organization for Economic Cooperation and Development. 2017. Acesso em: 14 fev. 2025.
- OMUSE, Evanson R. *et al.* Susceptibility of the western honey bee *Apis mellifera* and the african stingless bee *Meliponula ferruginea* (Hymenoptera: Apidae) to the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana*. **Journal of Economic Entomology**, v. 115, n. 1, p. 46-55, 2022. Doi: 10.1093/jee/toab211.
- Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO). **Guidelines for the registration of microbial, botanical and semiochemical pest control agents for plant protection and public health uses**. Genebra: WHO, 2017. 86p.
- POTTS, Simon G. *et al.* Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends In Ecology & Evolution**, v. 25, n. 6, p. 345-353, 2010. Doi: 10.1016/j.tree.2010.01.007.
- POTTS, Simon G.; IMPERATRIZ-FONSECA, Vera; NGO, Hien T. (eds). **Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). The assessment report on pollinators, pollination and food production**. Bonn: Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 2016. 552p. Disponível em: https://ipbes.net/sites/default/files/downloads/pdf/individual_chapters_pollination_20170305.pdf. Acesso em: 14 fev. 2025.
- QIU, Yi-Lei *et al.* Application of indigenous honeybees in dispersing *Trichoderma harzianum* spores for control of the strawberry grey mould. **Biocontrol Science and Technology**, v. 31, n. 4, p. 418-429, 2021. Doi: 10.1080/09583157.2020.1865269
- RAMANAIDU, Krilen; CUTLER, G. Christopher. Different toxic and hormetic responses of *Bombus impatiens* to *Beauveria bassiana*, *Bacillus subtilis* and spirotetramat. **Pest Management Science**, v. 69, n. 8, p. 949-954, 2013. Doi: 10.1002/ps.3456.

RODGER, James G. *et al.* Widespread vulnerability of flowering plant seed production to pollinator declines. **Science Advances**, v. 7, n. 42, p. 15, 2021. Doi:10.1126/sciadv.abd3524.

ROSA, Annelise S. *et al.* The stingless bee species, *Scaptotrigona aff. depilis*, as a potential indicator of environmental pesticide contamination. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 34, n. 8, p. 1851-1853, 2015. Doi: 10.1002/etc.2998.

ROUBIK, David W. Feral African Bees Augment Neotropical Coffee Yield. In KEVAN, Peter G.; IMPERATRIZ-FONSECA, Vera L. (Eds.), POLLINATING BEES - THE CONSERVATION LINK BETWEEN AGRICULTURE AND NATURE. Proceedings of the Workshop on the Conservation and Sustainable Use of Pollinators in Agriculture, with an Emphasis on Bees, 2019, São Paulo. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2022, p.255-266.

SANTOS, Sircio A. **Impacto de um biopesticida na sobrevivência, perfil químico cuticular e reconhecimento social na abelha *Scaptotrigona aff. depilis* (Hymenoptera, Apidae, Meliponini)**. 2023. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2023. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/59/59131/tde-03072023-135726/>. Acesso em: 31 dez. 2024.

SABO, Ratislav *et al.* Sublethal effects of commercial plant protection product containing spores *Bacillus amyloliquefaciens* QST 713 (formerly *subtilis*) on winter adult honeybees. **Apidologie**, v. 51, p. 226-239, 2020. Doi: 10.1007/s13592-019-00705-9.

SHAFIR, Sharoni *et al.* Honey bee dispersal of the biocontrol agent *Trichoderma harzianum* T39: effectiveness in suppressing *Botrytis cinerea* on strawberry under field conditions. **European Journal of Plant Pathology**, 116, 119–128, 2006. Doi: 10.1007/s10658-006-9047-y.

SIVITER, Harry *et al.* Wild bees are exposed to low levels of pesticides in urban grasslands and community gardens. **Science of The Total Environment**, v. 858, e159839, 2023. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159839.

STEINIGEWEG, Charlotte *et al.* Assessment of the impacts of microbial plant protection products containing *Bacillus thuringiensis* on the survival of adults and larvae of the honeybee (*Apis mellifera*). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 23, p. 29773-29780, 2021. Doi: 10.1007/s11356-021-12446-3.

_____. Impact of a microbial pest control product containing *Bacillus thuringiensis* on brood development and gut microbiota of *Apis mellifera* worker honey bees. **Microbial Ecology**, v. 85, n. 4, p. 1300-1307, 2023. Doi: 10.1007/s00248-022-02004-w.

TELLES AMANDIO, Dylan T., FAITA, Márcia R., POLTRONIERI, Alex S. Effect of commercial bioinsecticides formulated from entomopathogenic fungi on *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). **Journal of Apicultural Research**, v. 64, n. 3, p. 879-887, 2024. Doi: 10.1080/00218839.2023.2295154.

TOLEDO-HERNÁNDEZ, Ricardo A. *et al.* Effect of three entomopathogenic fungi on three species of stingless bees (Hymenoptera: Apidae) under laboratory conditions. **Journal of Economic Entomology**, v. 109, n. 3, p. 1015-1019, 2016. Doi: 10.1093/jee/tow064.

UNIÃO EUROPEIA. Regulamento (CE) n.º 1107/2009 do Parlamento Europeu. Official Journal of the European Union, 300/1, 2009. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2009/1107/oj>. Acesso em 15 mar. 2025.

UNIÃO EUROPEIA. Regulamento (UE) n.º 283/2013. Official Journal of the European Union, L 93/1, 2013. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/ALL/?uri=CELEX%3A32013R0283>. Acesso em 15 mar. 2025.

UNIÃO EUROPEIA. Regulamento (UE) n.º 284/2013. Official Journal of the European Union, L 93/85, 2013. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=celex:32013R0284>. Acesso em 15 mar. 2025.

UNIÃO EUROPEIA. *Active substances, safeners and synergists*. 2025. Disponível em: <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/start/screen/active-substances>. Acesso em: 18 jan 2025

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Pesticide Registration Manual: Chapter 3 - Additional Considerations for Biopesticide Products**. 1996. Disponível em <https://www.epa.gov/pesticide-registration/pesticide-registration-manual-chapter-3-additional-considerations>. Acesso em 15 mar. 2025.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Pesticide Assessment Guidelines**–Subdivision M: Biorational Pesticides. Research Triangle Park, NC: EPA, 1982. 317p.