

CAPÍTULO 4

Controle biológico como solução agroecológica na redução do uso de agrotóxicos

Felipe da Silva Gomes, Barbara Petri Massariol, Bianca Perciliano Fim, Gracieli Lorenzoni, Aline Marchiori Crespo, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-33-6.c4>

Resumo

O controle biológico é uma abordagem agroecológica essencial para o manejo sustentável de pragas, oferecendo uma alternativa ao uso intensivo de agrotóxicos. Essa estratégia utiliza organismos vivos, como predadores, parasitoides e patógenos, para controlar populações de pragas, contribuindo para a redução dos impactos negativos no solo, na água, no ar e na biodiversidade. Além de preservar a diversidade biológica e evitar o desenvolvimento de resistência em pragas, o controle biológico protege a saúde humana ao minimizar a exposição a químicos tóxicos, promove economia para os agricultores, melhora a qualidade dos alimentos e está alinhado aos princípios da agroecologia, fortalecendo sistemas agrícolas mais equilibrados e resilientes. O presente capítulo tem como objetivos apresentar os conceitos fundamentais do controle biológico, discutir suas aplicações práticas e destacar sua importância no contexto de sistemas agroecológicos, enfatizando os benefícios ambientais, sociais e econômicos dessa prática como solução sustentável na redução do uso de agrotóxicos.

Palavras-chave: Manejo de pragas. Redução de impactos ambientais. Economia agrícola. Saúde humana e ambiental. Agroecologia. Elevação da biodiversidade. Produção sustentável.

1. Introdução

Atualmente, os extensos monocultivos, que priorizam a produção em larga escala utilizando fertilizantes inorgânicos, sistemas de irrigação intensiva e material genético de alto rendimento, têm gerado desequilíbrios significativos no ecossistema. Essa prática acarreta diversos problemas, principalmente devido ao uso intensivo de agrotóxicos na agricultura (Zanuncio Junior *et al.*, 2018; Caetano, 2019). A preocupação com os impactos negativos causados pela modernização agrícola e o uso indiscriminado de agrotóxicos tem sido amplamente debatida desde os anos da década de 1970 (Miollo *et al.*, 2022).

A aplicação inadequada de agrotóxicos está diretamente associada a uma série de repercussões ambientais e sociais, incluindo a contaminação de alimentos, solo, água e fauna. Além disso, há registros de intoxicação de agricultores, desenvolvimento de resistência de patógenos, pragas e plantas invasoras a determinados produtos químicos, desequilíbrios biológicos que comprometem a ciclagem de nutrientes e matéria orgânica, eliminação de organismos benéficos e uma expressiva redução da biodiversidade (Altieri *et al.*, 2007; Zanuncio Junior *et al.*, 2018; Gonçalves, 2020; Souza; Castilho, 2022; Coelho; Maroto; Souza, 2023).

Nesse contexto, tanto na pesquisa científica quanto nas políticas públicas, os sistemas agroecológicos emergem como uma alternativa viável ao modelo agrícola convencional. Esses sistemas se destacam por seu potencial de produção sustentável, abrangendo uma ampla diversidade de espécies vegetais e animais. Os benefícios incluem a redução da dependência de insumos externos, o aumento da renda de pequenos agricultores e a melhoria das interações ecológicas, como o incremento da fertilidade do solo e a preservação da biodiversidade da fauna e flora (Souza; Castilho, 2022; Coelho; Maroto; Souza, 2023; Effgen *et al.*, 2024).

Para restaurar o equilíbrio dos sistemas agrícolas, o manejo agroecológico de pragas se apresenta como uma solução eficaz, promovendo a redução das populações de insetos-praga e o aumento das populações de inimigos naturais. No entanto, apesar de sua eficácia, ainda há riscos de proliferação de pragas, reforçando a necessidade de que o controle seja realizado de forma sustentável (Zanuncio Junior *et al.*, 2018).

O objetivo deste estudo é propor uma alternativa ao uso de agrotóxicos no controle de pragas e doenças em cultivos agrícolas, utilizando o controle biológico em sistemas agroecológicos como uma estratégia sustentável e eficiente.

2. Controle biológico

O principal método de manejo de doenças e pragas na produção agrícola ainda é o uso de fungicidas e inseticidas sintéticos. O grupo dos agrotóxicos foi responsável por 16% dos 597.498 registros de intoxicações exógenas no Sistema de Informação de Agravos de Notificação (Sinan), de acordo com Lara *et al.* (2019). Segundo Velho *et al.* (2019), muitos agricultores ainda se opõem ou desconhecem outras alternativas de produção, o que tem levado ao aumento do uso de defensivos agrícolas a cada ano na tentativa de minimizar as perdas causadas por pragas, colocando o Brasil entre os maiores consumidores mundiais de agrotóxicos (Figura 1).

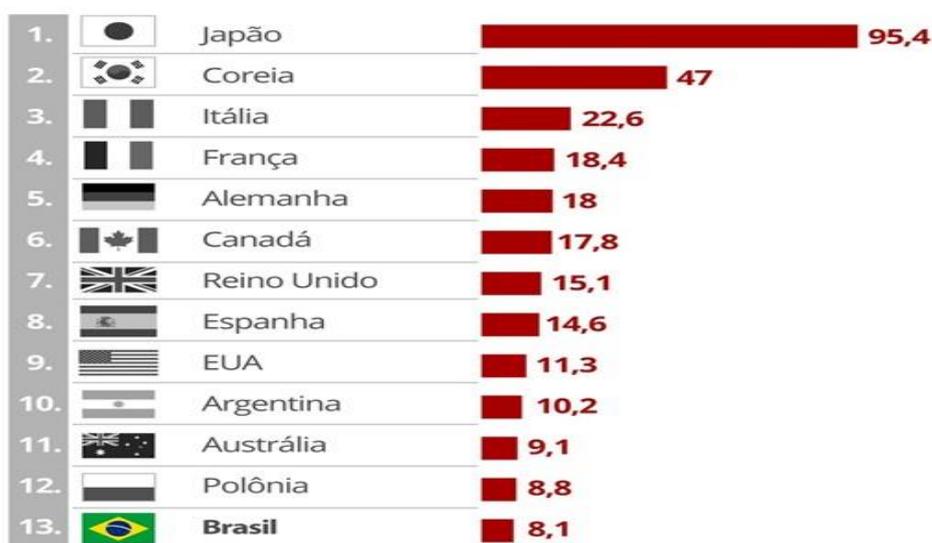


Figura 1. Gasto com agrotóxico por produção em 2017 (em US\$ por tonelada de alimento produzido). Fonte: Unesp Botucatu/Andef, 2019.

Os inseticidas são agentes químicos desenvolvidos para eliminar insetos. Contudo, sua utilização frequentemente afeta não apenas as pragas-alvo, mas também insetos benéficos, como polinizadores e inimigos naturais, essenciais para o controle biológico na agricultura. O efeito não seletivo desses produtos

pode agravar as infestações ao invés de controlá-las. Além disso, o uso excessivo de inseticidas provoca diversos problemas ambientais, incluindo erosão do solo, perda de nutrientes e alterações na microbiota do solo, uma população de microrganismos fundamental para o controle natural de pragas, já que abriga fungos e bactérias que regulam populações de insetos (Coelho; Maroto; Souza, 2023; Effgen *et al.*, 2024).

Plantas em ambientes equilibrados têm maior capacidade de lidar com pragas e doenças sem comprometer a produtividade agrícola. Em sistemas agroecológicos, o ambiente não favorece o crescimento descontrolado de pragas, garantindo maior equilíbrio ecológico. Esses sistemas promovem técnicas conservacionistas, como preparo do solo sustentável, rotação de culturas, adubação verde e controle biológico de pragas e doenças, além de um uso eficiente e inteligente dos recursos naturais (Caetano, 2019; Coelho; Maroto; Souza, 2023).

O controle biológico, também conhecido como biocontrole ou bioproteção, é uma estratégia de manejo de pragas que utiliza organismos vivos, como inimigos naturais, patógenos, semioquímicos e substâncias naturais. Esse método se destaca por, frequentemente, apresentar poucos ou nenhum efeito colateral em comparação com outras abordagens de controle na agricultura (Figura 2).



Figura 2. Agentes de controle biológico, como as joaninhas, são frequentemente usados para o controle de insetos praga como os pulgões. Fonte: <https://bioprotectionportal.com/>, 2024.

Durante décadas, os produtores agrícolas dependeram amplamente do uso de pesticidas químicos. Contudo, os problemas associados a esses produtos se tornaram cada vez mais evidentes. Entre os principais desafios estão os impactos negativos na saúde humana, o desenvolvimento de resistência das pragas aos químicos e os danos ao meio ambiente.

Diante dessas questões, os benefícios proporcionados pelo controle biológico se tornaram cada vez mais claros, consolidando-se como uma alternativa sustentável e eficaz para o manejo de pragas na agricultura. Assim, o manejo ecológico de pragas (MEP) surgiu como uma resposta da agricultura orgânica à demanda por alimentos livres de agrotóxicos e produtos químicos. O MEP promove o manejo de agroecossistemas saudáveis e naturais, incorporando princípios ecológicos ao manejo integrado de pragas (MIP), que conecta a dinâmica populacional de pragas ao ambiente agrícola (Michereff Filho *et al.*, 2013; Zampieri *et al.*, 2021).

Os benefícios do controle biológico em sistemas agroecológicos dependem do *design* e da composição de espécies nesses sistemas. Apesar disso, o controle biológico se mostra uma alternativa eficaz para reduzir a presença e a persistência de organismos considerados pragas (Souza; Castilho, 2022). Para implementar um programa sustentável de manejo integrado de pragas, é necessário considerar princípios econômicos, ecológicos e toxicológicos. O princípio econômico relaciona-se à adoção de tecnologias de baixo custo, garantindo produtividade superior aos investimentos. Já os princípios ecológicos e toxicológicos envolvem o uso do controle biológico para mitigar danos ambientais e controlar populações de pragas (Busoli *et al.*, 2012; Pimenta Júnior *et al.*, 2021).

Práticas conservacionistas são fundamentais para reduzir os impactos negativos da agricultura. O controle biológico é um método ecológico que utiliza inimigos naturais, como parasitoides, insetos predadores e microrganismos (fungos, bactérias e até vírus), para combater pragas agrícolas (Zampieri *et al.*, 2021) (Figura 3). Esse método é mais seguro em comparação aos agrotóxicos, pois não contamina alimentos nem prejudica o meio ambiente e a saúde humana (Embrapa, 2018). Como observado por Zanuncio Junior *et al.* (2018), “os insetos estão presentes na natureza com o objetivo de manter o equilíbrio biológico”.

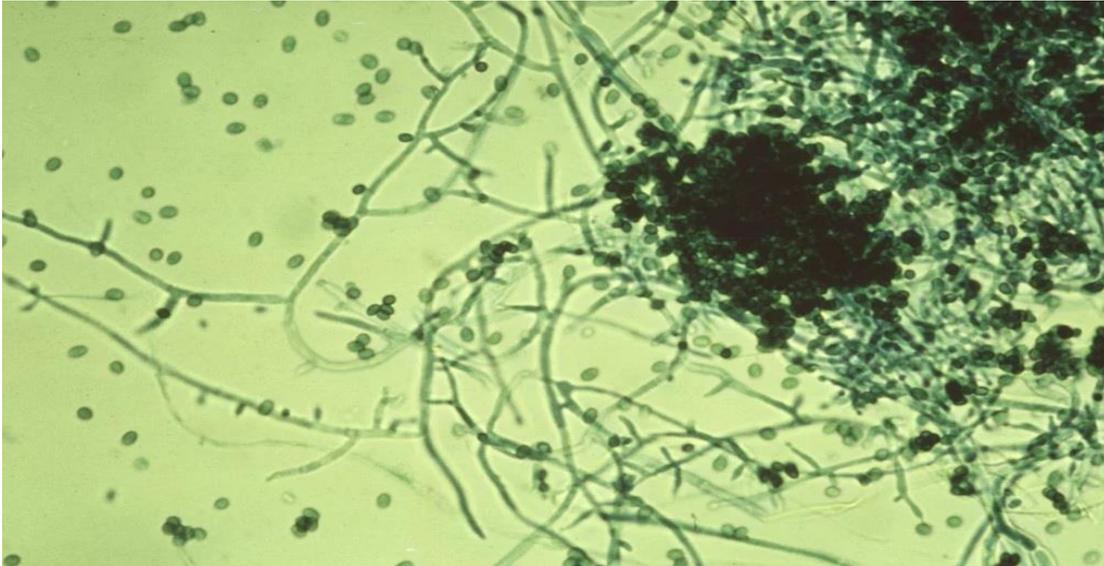


Figura 3. *Trichoderma viride*, fungo que pode atuar como biofungicida, pode ser utilizado como método de controle biológico para suprimir doenças causadas por fungos patogênicos de plantas. Foto de CABI. Fonte: <https://bioprotectionportal.com/>, 2024.

3. Principais tipos de controle biológico

O controle biológico pode ser classificado em três tipos principais: **controle biológico aumentativo**, **controle biológico de conservação** e **controle biológico clássico** (Figura 4).

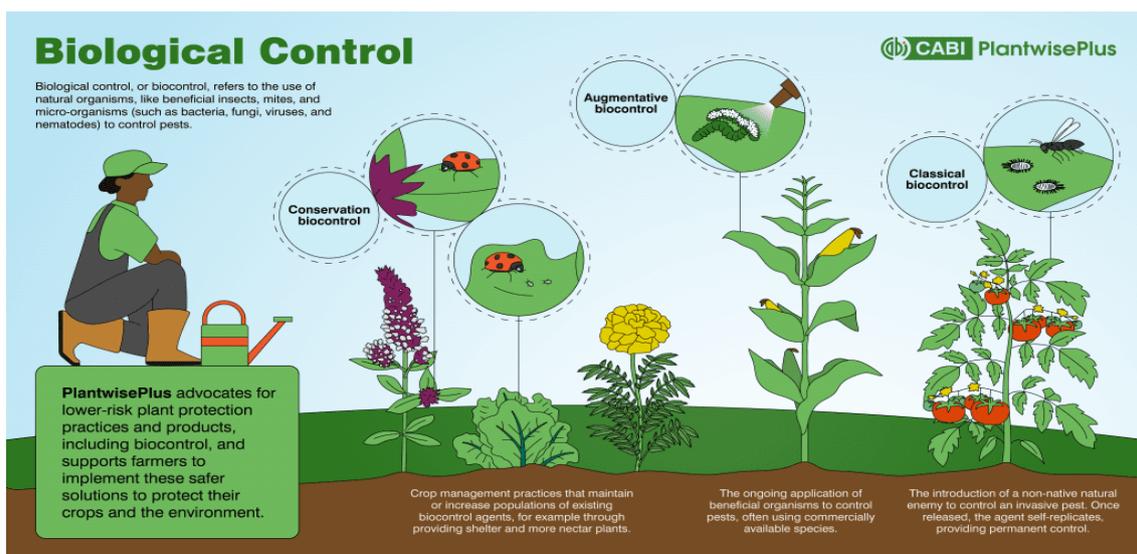


Figura 4. Principais tipos de controle biológico para culturas: conservacionista, aumentativo e clássico. Fonte: <https://bioprotectionportal.com/>. Crédito: CABI, 2024.

Cada uma dessas abordagens apresenta características distintas, estratégias específicas e contextos de aplicação (ABC BIO, 2015; Brasil, 2020; França, 2020; Gonçalves, 2020; Mello; Dias, 2020; Hashemi *et al.*, 2021; Caetano, 2022).

➤ Controle Biológico Aumentativo

O controle biológico aumentativo consiste no aumento populacional de inimigos naturais ou agentes patogênicos em um determinado ambiente, de forma planejada e oportuna, para controlar pragas e doenças (Figura 5).



Figura 5. Agricultor pulverizando um campo com um produto fitofarmacêutico.

Fonte: <https://bioprotectionportal.com/>. Crédito: Sundaram via Pixahive, 2024.

- ✓ **Como funciona:** Inimigos naturais, como predadores, parasitoides ou microrganismos benéficos, são introduzidos em maior quantidade no ambiente para combater pragas de maneira eficaz.
- ✓ **Exemplo de aplicação:** O uso de biopesticidas contendo microrganismos como *Bacillus thuringiensis* (Bt) ou fungos entomopatogênicos para o controle de insetos pragas.
- ✓ **Vantagem:** Geralmente é uma estratégia de curto prazo, eficaz para situações onde há um surto de pragas que precisa ser rapidamente controlado.

➤ Controle Biológico de Conservação

Essa abordagem foca na preservação e no estímulo ao aumento de inimigos naturais já presentes no ecossistema (Figura 6).



Figura 6. Campo de trigo com borda florida - fornece fonte de alimento para inimigos naturais e polinizadores. Crédito: PxAqui, 2024. Fonte: <https://bioprotectionportal.com/>.

✓ **Como funciona:** As práticas agrícolas são ajustadas para criar condições favoráveis à sobrevivência e reprodução de predadores, parasitoides e patógenos. Isso pode incluir o fornecimento de fontes de alimento, como pólen e néctar, ou a redução do uso de agrotóxicos que impactem negativamente esses organismos benéficos.

✓ **Exemplo de aplicação:** A implementação de corredores ecológicos para facilitar o movimento de predadores naturais ou o plantio de culturas de cobertura que ofereçam abrigo e alimento.

✓ **Vantagem:** Promove a sustentabilidade ao utilizar organismos nativos e minimizar a necessidade de insumos externos.

➤ Controle Biológico Clássico

Também conhecido como biocontrole de importação, o controle biológico clássico envolve a introdução deliberada de inimigos naturais de outros locais para combater pragas específicas (Figura 7).



Figura 7. *Diadromus pulchellus* atacando uma pupa de mariposa de alho-poró.

Fonte: <https://bioprotectionportal.com/>, 2024.

✓ **Como funciona:** Um organismo que atua como predador ou parasitoide da praga em seu habitat natural é introduzido no ambiente onde a praga está causando danos. Em alguns casos, agentes patogênicos também são introduzidos.

✓ **Exemplo de aplicação:** A introdução do besouro *Rodolia cardinalis* para controlar a cochonilha-das-cítricas (*Icerya purchasi*) em plantações de citros.

✓ **Vantagem:** Costuma ser uma solução de longo prazo, uma vez que os inimigos naturais introduzidos podem se estabelecer permanentemente e controlar a praga ao longo do tempo.

🧩 Participação de diferentes agentes

A aplicação dessas estratégias pode envolver diversos atores:

✓ **Produtores:** São responsáveis por implementar as práticas de biocontrole nas lavouras.

✓ **Cientistas:** Desenvolvem e testam os métodos e organismos utilizados no biocontrole.

✓ **Governos:** Regulamentam a introdução de organismos estrangeiros, apoiam a pesquisa e promovem políticas de incentivo ao uso do controle biológico.

Cada abordagem apresenta vantagens e limitações que devem ser avaliadas de acordo com o tipo de cultura, a praga a ser controlada e as condições ambientais. A integração dessas estratégias pode potencializar os resultados, contribuindo para uma agricultura mais sustentável e menos dependente de químicos.

➤ **Escolha correta do tipo adequado de biocontrole**

A adoção dos diferentes tipos de controle biológico – aumentativo, de conservação e clássico – é um passo essencial para promover uma agricultura mais segura e sustentável (Figura 8).



Figura 8. O controle biológico de pragas, ou “bioproteção” - muitos benefícios que podem ajudar a superar os desafios associados ao uso de pesticidas químicos. © CABI. Fonte: <https://bioprotectionportal.com/>, 2024.

Para os produtores, os métodos de controle aumentativo e de conservação se destacam como estratégias complementares e eficazes. O biocontrole aumentativo oferece uma solução ágil para o combate a pragas e doenças, permitindo a introdução e multiplicação rápida de inimigos naturais e agentes patogênicos em momentos críticos. Já o biocontrole de conservação se concentra em criar e manter um ambiente favorável para esses inimigos naturais, garantindo sua sobrevivência e eficácia ao longo do tempo.

A integração dessas duas abordagens em suas práticas agrícolas pode trazer inúmeros benefícios, como a redução do uso de insumos químicos, o equilíbrio ecológico e a melhoria da saúde do solo e das culturas. Ao adotar essas estratégias de forma planejada, é possível potencializar o manejo sustentável das lavouras e fortalecer a resiliência do agroecossistema.

4. Mecanismos de controle biológico

O controle biológico pode ocorrer por diversos mecanismos, como competição, parasitismo, produção de antibióticos, indução de resistência no hospedeiro, predação, promoção do crescimento, entre outros. É comum que mais de um tipo de mecanismo de ação esteja envolvido em um processo de controle de pragas (França, 2020).

Segundo Gonçalves (2020), em agroecossistemas diversificados, vários fatores contribuem para a redução da incidência de pragas. Um aspecto importante é o aumento da presença de inimigos naturais, possibilitado pela oferta de fontes de alimento, como néctar e pólen, além de presas e hospedeiros alternativos. É essencial, também, garantir abrigo e conforto térmico para os insetos benéficos. Outro fator relevante é a dificuldade que as pragas enfrentam para localizar plantas hospedeiras devido à confusão visual ou olfativa e à presença de barreiras mecânicas.

Caetano (2022) enfatiza que o controle biológico é uma alternativa altamente eficaz, especialmente para sistemas agroecológicos e culturas alimentícias. Ele permite uma produção mais saudável e sustentável, reduzindo a necessidade de agrotóxicos e os impactos ambientais, além de melhorar a qualidade dos alimentos, o que beneficia a saúde dos consumidores.

Apesar dessas perspectivas positivas, o estágio atual das pesquisas ainda não possibilita o abandono completo dos métodos químicos. O controle biológico se posiciona como uma estratégia complementar à substituição parcial dos mecanismos sintéticos. Conforme França (2020), essa substituição parcial implica a combinação de várias técnicas de manejo, sendo que a integração de diferentes métodos apresenta maior probabilidade de sucesso em comparação

ao uso isolado de um único método. Assim, o controle biológico associado a outras práticas, como o manejo adequado e racional, mostra-se promissor.

Entretanto, no Brasil, a comercialização de produtos biológicos enfrenta desafios significativos. Barreiras burocráticas e regulamentações complexas dificultam o avanço desses produtos (ABC BIO, 2015; Hashemi *et al.*, 2021). Além disso, a desconfiança sobre sua eficácia decorre do baixo nível de orientação aos agricultores e do manuseio inadequado, resultando em desempenho limitado e insatisfação dos produtores.

A qualidade dos produtos disponíveis nem sempre atende aos padrões necessários, reforçando a resistência à adoção do biocontrole. Nesse contexto, a capacitação de agentes comerciais e extensionistas são fundamentais para assegurar o uso técnico adequado, gerando resultados positivos nas lavouras e aumentando a confiança dos agricultores nos produtos biológicos.

Apesar das lacunas existentes, como a necessidade de compreender melhor as interações entre organismos e planejar o uso integrado, o controle biológico tem demonstrado potencial crescente. Para superar os desafios, é fundamental o envolvimento de governos, indústrias e pesquisadores, promovendo estudos e iniciativas que facilitem a adoção dessa técnica (Mello *et al.*, 2020).

Embora existam entraves, o controle biológico tende a ocupar um espaço cada vez maior na agricultura, consolidando-se como uma prática comum em sistemas de produção agrícola e contribuindo para uma agricultura mais equilibrada e sustentável. Isso porque se percebe que o controle biológico se destaca como uma prática sustentável e eficiente, essencial para sistemas agrícolas que buscam aliar produtividade com conservação ambiental.

5. Métodos e agentes do controle biológico

O controle biológico, amplamente reconhecido como uma ferramenta essencial para a agroecologia, baseia-se no uso de organismos vivos para reduzir populações de pragas, promovendo uma alternativa sustentável ao uso de agrotóxicos (Van Lenteren *et al.*, 2018). Os agentes biológicos mais utilizados

são predadores, parasitoides e microrganismos, cada um com funções específicas e aplicações estratégicas em diferentes culturas:

➤ **Predadores** são organismos que atacam diretamente suas presas, alimentando-se delas e reduzindo suas populações. Por exemplo, insetos da família Coccinellidae, como as joaninhas, são amplamente reconhecidos pelo controle de pulgões, enquanto ácaros predadores da família Phytoseiidae têm se mostrado eficazes no controle de ácaros fitófagos (Heinz; Parra; Zucchi, 2022). A técnica de liberação massiva desses predadores tem sido aplicada em diversos cultivos, como hortaliças e frutíferas, com resultados promissores na redução de pragas de forma econômica e ambientalmente sustentável.

➤ **Parasitoides**, por sua vez, possuem um comportamento diferente. Eles depositam seus ovos sobre ou dentro do corpo do hospedeiro, cuja morte é inevitável após o desenvolvimento da prole. Espécies do gênero *Trichogramma* são amplamente empregadas no controle de lepidópteros-praga, como as lagartas que afetam culturas de soja e milho (Paron; Parra, 2020). A liberação inundativa de parasitoides tem se tornado uma prática crescente devido à sua eficácia e especificidade, especialmente em sistemas de manejo integrado de pragas.

➤ **Microrganismos entomopatogênicos**, como fungos, bactérias, vírus e nematoides, também desempenham papéis cruciais no controle biológico. A bactéria *Bacillus thuringiensis* é amplamente utilizada no controle de larvas de insetos, sendo uma alternativa eficiente e segura para a saúde humana e ambiental (Ramakrishna et al., 2019). De forma semelhante, o fungo *Beauveria bassiana* tem mostrado grande eficácia no controle de besouros e outros insetos-praga em cultivos de grande relevância econômica (Lopes et al., 2021).

Além de selecionar os agentes biológicos mais apropriados, a **integração de técnicas no manejo** é fundamental. O manejo integrado de pragas (MIP) combina o uso de controle biológico com práticas culturais, físicas e, quando necessário, químicas, para alcançar uma redução sustentável e econômica das pragas agrícolas (Dara, 2019). Estratégias como o monitoramento populacional e a conservação de habitats para agentes naturais são essenciais para a eficácia do MIP e para a manutenção dos serviços ecossistêmicos.

A aplicação dos métodos de controle biológico é sensível a fatores ambientais e culturais específicos. Segundo Van Lenteren *et al.* (2018), a adoção de práticas como a liberação direcionada de agentes biológicos, a criação de corredores ecológicos e a rotação de culturas potencializa o impacto desses agentes no controle de pragas. Dessa forma, o controle biológico não apenas reduz a dependência de agrotóxicos, mas também contribui para a resiliência dos agroecossistemas.

6. Casos de controle biológico

Nos últimos anos, o campo de pesquisa e desenvolvimento de produtos para o controle biológico cresceu significativamente, especialmente em contextos como a produção de materiais orgânicos, onde este é o principal ou único método viável de manejo.

Segundo o levantamento realizado por Velho *et al.* (2019), entre os principais agentes de controle biológico de pragas, destacam-se: *Baculovirus*, utilizado no controle da lagarta da soja; *Beauveria bassiana*, no combate a ácaros e broca do café; *Metarhizium anisopliae*, eficaz contra trips, cigarrinhas e cupins; *Bacillus thuringiensis*, indicado para diversas espécies de lagartas; *Lecanicillium spp.*, para controle da cochonilha verde; e *Isaria spp.*, utilizado contra mosca-branca.

➤ **Beauveria bassiana: Uma Alternativa Sustentável para o Controle de Pragas Agrícolas** (Alves et al., 1998; ELEVAGRO, 2024)

O fungo *Beauveria bassiana* é um microrganismo que ocorre naturalmente no solo e possui grande potencial no controle biológico de pragas. Ele é capaz de infectar e matar mais de 700 espécies de insetos-praga, proporcionando uma alternativa seletiva e sustentável para a proteção de diversas culturas agrícolas, como milho, soja, algodão, café, banana e cana-de-açúcar.

O mecanismo de ação do fungo envolve a produção de esporos que aderem à superfície do corpo dos insetos. Esses esporos germinam e penetram na cutícula, se multiplicando no interior do hospedeiro. O processo resulta na

destruição dos órgãos vitais do inseto e na liberação de toxinas, levando à sua morte (Figura 9).

O uso de *Beauveria bassiana* traz diversas vantagens, como a redução dos danos causados pelas pragas, controle eficiente e seletivo de pragas, a minimização do uso e custos com defensivos químicos, preservação de inimigos naturais e do equilíbrio ecológico, contribuição para práticas agrícolas mais sustentáveis e a contribuição para o manejo integrado de pragas (MIP). Além disso, sua aplicação contribui para a sustentabilidade ambiental e a saúde do trabalhador rural.

A aplicação do fungo nas lavouras pode ser feita por meio de formulações líquidas ou sólidas, utilizando pulverizadores convencionais. Para melhores resultados, é essencial seguir as recomendações técnicas quanto à dosagem, condições ambientais ideais e manejo integrado.

O *Beauveria bassiana* tem se consolidado como uma importante ferramenta para agricultores que buscam soluções eficazes e ecológicas para o manejo de pragas, promovendo a produtividade com menor impacto ambiental.

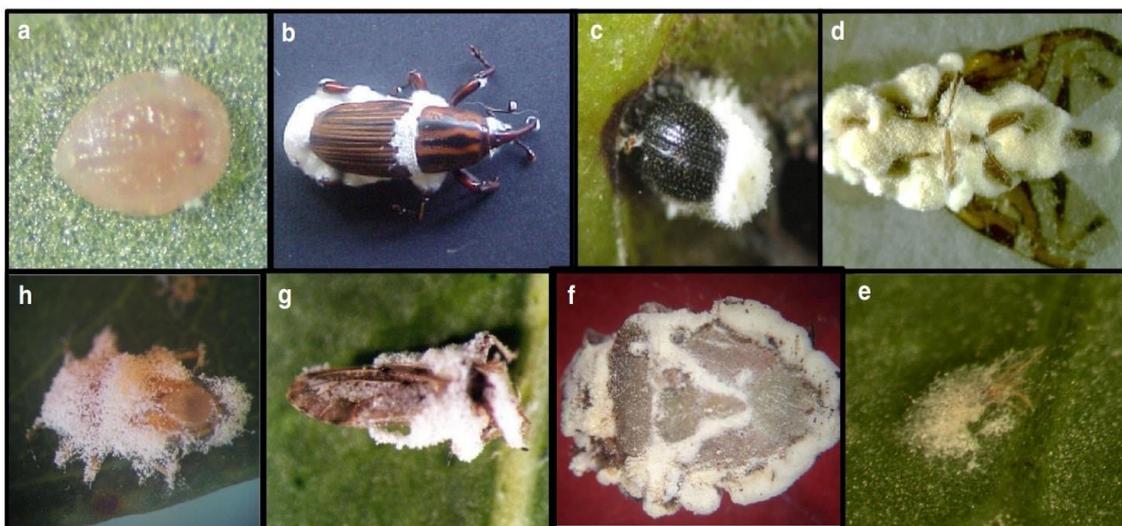


Figura 9. *Beauveria bassiana* no controle de pragas. Fonte: ELEVAGRO, 2024.

No controle biológico de doenças, Velho *et al.* (2019) destacam o uso de microrganismos como: bactérias, entre elas *Bacillus subtilis*, eficiente contra várias doenças; *Pseudomonas putida* e *P. fluorescens*, no manejo de murchas bacterianas em tomate; *Streptomyces spp.*, para controle de meloidoginoses; e

Agrobacterium radiobacter, empregado contra a galha da coroa. Quanto aos fungos, são amplamente reconhecidos: *Trichoderma spp.*, para patógenos de solo; *Gliocladium roseum*, no controle do mofo cinzento; *Talaromyces flavus*, contra *Verticillium spp.*; *Pythium oligandrum*; e *Ampelomyces quisqualis*, entre outros.

Pimenta *et al.* (2020) analisaram a utilização de joaninhas (Coleoptera: Coccinellidae) em diferentes sistemas de cultivo – desde os de baixa complexidade até os mais complexos e agroecológicos – para o controle de pulgões em hortaliças orgânicas. O estudo buscou avaliar a fauna de insetos predadores, contribuindo para a compreensão da estrutura ecológica do plantio e auxiliando na seleção de inimigos naturais mais aptos para programas de controle biológico. Os resultados mostraram que sistemas simples favorecem a diversidade de joaninhas, enquanto sistemas mais complexos apresentaram maior abundância de joaninhas predadoras de pulgões (afdiófagas), que atacam hortaliças. Isso demonstra que sistemas equilibrados e diversos possuem maior resistência ao ataque de xilófagos.

Segundo Parra *et al.* (2002), a utilização da família Coccinellidae marcou o primeiro caso de sucesso registrado em controle biológico. A introdução da espécie *Rodolia cardinalis* na Califórnia, em 1888, para o controle do pulgão branco *Icerya purchasi* Maskell, foi bem-sucedida em apenas dois anos. Esse marco deu início à crescente utilização de insetos em estratégias de manejo integrado de pragas (MIP).

7. Benefícios do controle biológico na sustentabilidade agrícola

O controle biológico tem se consolidado como uma abordagem essencial para a sustentabilidade agrícola, destacando-se por sua capacidade de promover o equilíbrio ecológico e reduzir a dependência de insumos químicos. A utilização de inimigos naturais, como predadores, parasitoides e microrganismos, representa uma estratégia eficiente no manejo integrado de pragas, minimizando os impactos negativos associados ao uso de agrotóxicos.

Um dos principais benefícios do controle biológico é sua contribuição para a preservação ambiental. Ao substituir ou reduzir o uso de agrotóxicos, essa prática diminui a contaminação do solo, da água e dos alimentos, preservando ecossistemas naturais e fomentando a biodiversidade agrícola (Parra, 2014). A biodiversidade é essencial para a resiliência dos sistemas produtivos, protegendo as culturas contra pragas emergentes e promovendo maior estabilidade ecológica (Zucchi *et al.*, 2011).

Além dos benefícios ambientais, o controle biológico apresenta vantagens econômicas significativas. Embora a implementação inicial possa exigir investimentos, a redução no uso de agrotóxicos e o menor risco de perdas devido a pragas frequentemente compensam esses custos no médio e longo prazo. A aplicação de agentes biológicos também evita problemas como o desenvolvimento de resistência nas populações de pragas, um desafio comum no manejo químico intensivo (Pratissoli; Parra, 2000).

A saúde do solo é outro aspecto beneficiado pela adoção do controle biológico. Estudos demonstram que microrganismos benéficos, usados como agentes de controle, podem melhorar a fertilidade do solo e aumentar a disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas. Isso resulta em maior produtividade e qualidade das culturas, alinhando-se aos princípios da agroecologia (Van Lenteren; Bueno, 2003).

Por fim, a redução dos riscos à saúde humana é um benefício inquestionável do controle biológico. A diminuição da exposição a agrotóxicos protege trabalhadores rurais e consumidores, contribuindo para uma produção agrícola mais segura e sustentável. Nesse contexto, o controle biológico não apenas promove práticas agrícolas mais responsáveis, mas também fortalece a aceitação social e comercial dos produtos agrícolas (Moraes; Flechtmann, 2011).

Assim, o controle biológico se estabelece como uma ferramenta indispensável para a transição agroecológica. Seus benefícios ambientais, econômicos e sociais reforçam seu papel na construção de sistemas agrícolas mais sustentáveis e resilientes, consolidando-se como uma alternativa eficaz na redução do uso de agrotóxicos.

8. Considerações

A prática da agricultura agroecológica, com sua ênfase na harmonia entre os seres humanos e o meio ambiente, oferece uma alternativa robusta ao modelo convencional de produção agrícola, especialmente no que tange ao manejo de pragas. No contexto agroecológico, o objetivo primordial é promover o equilíbrio biológico dos sistemas agrícolas, priorizando a redução dos impactos ambientais negativos causados pelo uso indiscriminado de agrotóxicos. Embora o manejo ecológico de pragas tenha mostrado resultados promissores, sua adoção em larga escala ainda enfrenta desafios consideráveis, exigindo esforços contínuos de conscientização, capacitação e apoio técnico.

Um dos pilares do manejo ecológico bem-sucedido é a análise específica de cada situação de cultivo, a fim de identificar a praga ou patógeno alvo e determinar os agentes biocontroladores mais eficazes. A diversificação vegetal, que constitui um princípio fundamental da agroecologia, surge como uma estratégia vital para a prevenção da proliferação de pragas, pois cria um ambiente favorável à multiplicação de inimigos naturais e ao equilíbrio ecológico do sistema agrícola. A diversidade de plantas no sistema produtivo não apenas dificulta a propagação de pragas, mas também fortalece a resiliência do ecossistema, tornando-o menos vulnerável a surtos e a flutuações ambientais adversas.

A adoção da diversificação vegetal, portanto, representa uma estratégia multifacetada. Ela contribui para a saúde do solo, melhora a retenção de água e nutrientes, e oferece abrigo e alimento para predadores e parasitoides naturais. Esses inimigos naturais desempenham um papel fundamental no controle biológico, reduzindo a dependência de agrotóxicos e fortalecendo o equilíbrio ecológico do cultivo. Além disso, ao reduzir a necessidade de insumos externos, como pesticidas e fertilizantes químicos, a diversificação vegetal também se traduz em uma significativa redução dos custos de produção para os agricultores. Com menores gastos com agrotóxicos, os agricultores podem investir em práticas mais sustentáveis e, ao mesmo tempo, aumentar sua rentabilidade no longo prazo.

No entanto, a transição para práticas agroecológicas eficazes exige mais do que a implementação de técnicas de manejo de pragas. Exige, sobretudo, um

esforço contínuo para proporcionar aos agricultores as ferramentas, o conhecimento e o suporte necessário para compreender as complexas interações ecológicas que regem seus cultivos. A capacitação técnica e a conscientização sobre os benefícios econômicos e ambientais da agroecologia são essenciais para que esses agricultores possam se beneficiar plenamente da diversificação vegetal e do controle biológico. É fundamental que, ao adotar tais práticas, os agricultores compreendam os ganhos de longo prazo, tanto em termos de redução de custos quanto da preservação da biodiversidade e da saúde do ecossistema.

Do ponto de vista ambiental, a agricultura convencional, dependente de agrotóxicos e monoculturas, tem gerado impactos negativos profundos, como a diminuição da biodiversidade, a degradação do solo, a contaminação da água e a resistência das pragas aos pesticidas. A transição para a agroecologia, com sua ênfase na biodiversidade e na resiliência dos sistemas agrícolas, oferece uma resposta eficaz a esses problemas, mitigando os danos ambientais e promovendo uma produção agrícola mais sustentável.

À medida que mais agricultores se conscientizam dos benefícios da agroecologia, incluindo a redução dos custos de produção e os ganhos em saúde ambiental e econômica, é possível esperar uma adoção mais ampla dessas práticas. A sustentabilidade dos sistemas agrícolas, tanto do ponto de vista econômico quanto ecológico, depende da capacidade dos agricultores em adotar essas alternativas, reconhecendo que a verdadeira produtividade está na saúde e equilíbrio dos agroecossistemas, e não na dependência de químicos e monoculturas. Portanto, ao fortalecer a educação e o apoio técnico aos agricultores, será possível fomentar uma transição mais rápida e eficaz para métodos de manejo de pragas que promovam a sustentabilidade, a biodiversidade e a resiliência dos sistemas agrícolas.

9. Referências

ABC BIO, Associação Brasileira das Empresas de Controle Biológico. **Panorama e desafios do controle biológico no Brasil**. São Paulo, 2015.

ABCBIO. Associação Brasileira das Empresas de Controle Biológico. **Cenário e desafios do controle biológico no Brasil**. São Paulo: ABCBIO, 2015. Disponível em: <https://www.abcbio.org.br>. Acesso em: 16 jan. 2025.

ALTIERI, M. A.; PONTI, L.; NICHOLLS, C. I. Manejando insetos-praga com a diversificação de plantas. **Agriculturas**, v. 4, n. 1, 2007.

ALVES, H. T.; SÃO JOSÉ, A. R.; DOS ANJOS, D. N.; BOMFIM, M. P.; NOVAIS, Q. S. de; JESUS NOLASCO, D. S. de. Controle alternativo da antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz) em frutos de mamão Sunrise solo'. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 30331-30346, 2020.

ALVES, S. B.; ALMEIDA, J. E. M.; MOINO JUNIOR, A.; ALMEIDA, F. A. Controle Microbiano de Insetos. 2. ed. Piracicaba: Fealq, 1998. 1163 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 2, de 10 de janeiro de 2020**. Estabelece diretrizes para o registro de produtos biológicos no Brasil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 jan. 2020.

CAETANO, F. P. Eficácia do controle biológico em sistemas agroecológicos: uma revisão. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 17, n. 3, p. 45-58, 2022. DOI: 10.18566/rba.v17n3.

CAETANO, J. S. Sistemas agroecológicos: utilização do método de controle biológico como estratégia para o manejo de pragas e doenças. **Anais... III AMBIUEMG-Simpósio Ambiental da Universidade do Estado de Minas Gerais- unidade Frutal**, p. 46.

COELHO, S. R. de F.; MAROTO, G. L.; SOUZA, M. N. Controle biológico na soja no sul do Maranhão. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. V. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2023. 348 p. ISBN: 978-65-84548-12-1. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-12-1.c6>

COSTA, K. K.; RUFINO, C. P. B.; MACEDO, P. E. F.; NOGUEIRA, S.R. Antagonismo de *Trichoderma spp.* sobre *Colletotrichum gloeosporioides*, agente causal da antracnose de *Euterpe precatoria*. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 6, n. 1, 2019.

DARA, S. K. The new integrated pest management paradigm for the modern age. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 10, n. 1, p. 12, 2019. DOI: 10.1093/jipm/pmz010.

EFFGEN, G. F. M.; RODRIGUES, L. A. de O.; SOUZA, M. N. Atuação de óleos essenciais no controle biológico da requeima (*phytophthora infestans*) no cultivo de batata. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em gestão ambiental**. Vol. II. Canoas, RS: Mérida Publishers, 2024. p. 215-231. ISBN: 978-65-84548-23-7. DOI: <https://doi.org/10.69570/mp.978-65-84548-23-7.c8>

ELEVAGRO. **Beauveria bassiana no controle biológico de pragas**. 2024. Disponível em: <https://elevagro.com>. Acesso em: 16 jan. 2025.

FORNAZIER, M. L.; PINHEIRO, A. C. M.; BOTACIM, L. A.; GUARÇONI, R. C.; FORNAZIER, M. J.; ZANUNCIO JUNIOR, J. S. Reflexões sobre manejo agroecológico em café, com ênfase no bicho-mineiro *Leucoptera coffeella*. In: **Tópicos em Agroecologia Vol. IV**. 1 ed. VITÓRIA: IDIFES, 2023, v. 4, p. 126-139. DOI: 10.36524/9788582637401. ISBN: 9788582637401

FRANÇA, D. As técnicas de controle biológico projetam um futuro promissor e lucrativo para a agricultura: As técnicas inovadoras do conceito de Controle Biológico têm se revelado cada vez mais promissoras. **Inovação & Desenvolvimento: A Revista da FACEPE**, v. 1, n. 4, p. 11-13, 2020.

FRANÇA, M. S. **Controle biológico de pragas: conceitos, métodos e práticas**. 3. ed. São Paulo: Editora Agroecologia, 2020.

GONÇALVES, L. C. **Agroecologia e manejo integrado de pragas**. Curitiba: Editora Sustentare, 2020.

GONÇALVES, P. A. S.; ITUPORANGA, D. E. Epagri-Estação Experimental. A importância da diversidade vegetal no manejo ecológico de insetos em agroecossistemas: uma revisão. **Scientific Electronic Archives**. Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 13 (6). 2020.

HASHEMI, M.; TABET, D.; SANDRONI, M.; BENAVENT-CELMA.; SEEMATTI, J.; ANDERSEN, C. B.; GRENVILLE-BRIGGS, L. J. The hunt for sustainable biocontrol of oomycete plant pathogens, a case study of *Phytophthora infestans*, **Fungal Biology Reviews**, <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2021.11.003>. 2021.

HASHEMI, S. M. *et al.* Biological control: from research to field application. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 307, p. 107-115, 2021. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107115.

HEINZ, K. M.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A. Biological control of arthropods in agroecosystems: Past, present, and future perspectives. **Annual Review of Entomology**, v. 67, p. 413-437, 2022.

HEINZ, K. M.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A. **Biological Control**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 2022.

LARA, S. S.; PIGNATI, W. A.; PIGNATTI, M. G.; da COSTA LEÃO, L. H.; MACHADO, J. M. H. A agricultura do agronegócio e sua relação com a intoxicação aguda por agrotóxicos no Brasil. *Hygeia*: **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 15, n. 32, p. 1-28, 2019.

LOPES, A. F.; ALMEIDA, L. R.; PEREIRA, E. J. *Beauveria bassiana* in the control of coleopteran pests: A sustainable alternative. **Journal of Applied Entomology**, v. 145, p. 547-557, 2021.

LOPES, R. B. *et al.* *Beauveria bassiana*: Biology and applications for use as biocontrol agent. **Biological Control**, v. 158, p. 104-115, 2021. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2021.104115.

MELLO, S. C. M. de; ECKSTEIN, B.; MARQUES, E.; CARVALHO, D. D. C. Controle de doenças de plantas. In: FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed). **Controle biológico de pragas da agricultura**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2020. p. 291-319.

MELLO, S. C. M.; DIAS, R. **Avaliação e aplicação de agentes de controle biológico em sistemas agrícolas**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2020.

MICHEREFF FILHO, M.; RESENDE, F. V.; VIDAL, M. C.; GUIMARÃES, J. A. de; MOURA, A. P.; SILVA, P. S. da; REYES, C. P. **Manejo de pragas em hortaliças durante a transição agroecológica**. Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2013.

MIOLLO, J. R.; GUIMARÃES, G. M. A Agroecologia para além dos sistemas produtivos: reflexões sobre a Legislação de Orgânicos vigente no Brasil. **Cadernos de Agroecologia**, v. 17, n. 3, 2022.

MIRANDA, R. F.; ULHOA, C. J.; DE CONTO, L. M.; COSTA, F. A. Uso de isolados de *Trichoderma* no controle do fungo causador da antracnose do mamoeiro. In: **71ª Reunião Anual da SBPC**, 2019 - UFMS - Campo Grande / MS. Disponível em: http://livro.sbpcnet.org.br/71ra/trabalhos/resumos/5347_11d4b1f2f3d860c59004b9e97186da53a.pdf. Acesso em: 22 out, 2022.

MORAES, G. J. de; FLECHTMANN, C. A. H. Manual de Acarologia: Acarologia básica e ácaros de importância agrícola. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 55, n. 4, p. 601-602, 2011. DOI: 10.1590/S0085-56262011000400020.

MORAES, J. C.; FLECHTMANN, C. A. H. Controle biológico de pragas e doenças em culturas agrícolas. São Paulo: Editora UFSCar, 2011.

PARON, M. A.; PARRA, J. R. P. Strategies for *Trichogramma* mass production and utilization in biological control programs. **Biocontrol Science and Technology**, v. 30, n. 9, p. 905-921, 2020. DOI: 10.1080/09583157.2020.1789440.

PARRA, J. R. P. Biological control in Brazil: an overview. **Scientia Agricola**, v. 71, n. 5, p. 420-429, 2014. DOI: 10.1590/0103-9016-2013-0439.

PARRA, J. R. P. **Controle biológico**: fundamentos e aplicações. São Paulo: Editora UFV, 2014.

PARRA, J. R. P., BOTELHO, P. S. M., CORRÊA-FERREIRA, B. S., & BENTO, J. M. S. Controle biológico: terminologia. **Controle biológico no Brasil**: parasitoides e predadores. *São Paulo: Manole*, 1-16, 2002.

PARRON, R. L.; PARRA, J. R. P. The use of *Trichogramma* for control of lepidopteran pests in agroecosystems. **Biological Control**, v. 47, p. 13-20, 2020.

PIMENTA JÚNIOR, P. A.; COSTA ESCARELA, V. A. da; ALVES, R. S.; BARBOZA, T. O. C.; OLIVEIRA MATOSO, A. de Manejo Agroecológico de Pragas. **Cadernos de Agroecologia**, v. 17, n. 2, 2022.

PIMENTA, A. G.; de SOUZA, T. S.; FERNANDES, V. J.; MENEZES, E. D. L. A.; GUERRA, J. G. M. Análise faunística de joaninhas (Coleoptera: Coccinellidae) em um sistema agroecológico de produção orgânica de hortaliças. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v. 1, n. 1, p. 27-27, 2020.

PRATISSOLI, D.; PARRA, J. R. P. **Controle biológico de pragas**: aplicações e perspectivas. Campinas: Embrapa, 2000.

PRATISSOLI, D.; PARRA, J. R. P. Development and reproduction of *Trichogramma pretiosum* on eggs of different hosts. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, p. 1281-1288, 2000. DOI: 10.1590/S0100-204X2000000700015.

RAMAKRISHNA, A. *et al.* *Bacillus thuringiensis* as an eco-friendly alternative for pest control: An overview. **Microbiological Research**, v. 228, p. 33-46, 2019.

RAMAKRISHNA, A. *et al.* *Bacillus thuringiensis*: mechanism of action and its roles in biological control of insects. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 39, n. 2, p. 172-186, 2019. DOI: 10.1080/07388551.2018.1554636.

RÔDAS, P. L.; OLIVEIRA, H. N. de; GLAESER, D. F. **Liberção do parasitoide *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) em *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) na cana-de-açúcar**. 2019.

SILVA, A. de C. (Ed.). **Guia para o reconhecimento de inimigos naturais de pragas agrícolas**. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

SOUZA, F. P.; CASTILHO, T. P. R. Uso de Sistemas Agroflorestais para o controle biológico natural em propriedades rurais. **Scientific Electronic Archives**, v. 15, n. 7, 2022.

VAN LENTEREN, J. C. *et al.* Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. **BioControl**, v. 63, n. 1, p. 39-59, 2018. DOI: 10.1007/s10526-017-9810-4.

VAN LENTEREN, J. C. *et al.* **Biological control**: An ecological approach. Elsevier, 2018.

VAN LENTEREN, J. C.; BUENO, V. H. P. Augmentative biological control of arthropods in Latin America. **BioControl**, v. 48, n. 2, p. 123-139, 2003. DOI: 10.1023/A:1022645210394.

VAN LENTEREN, J. C.; BUENO, V. H. P. Biological control of arthropods in agroecosystems: key advances and challenges. **Insect Science**, v. 10, p. 287-302, 2003.

VELHO, A. C.; POLTRONIERI, A. S.; STADNIK, M. J.; MONDINO, P. Manejo ecológico de pragas e doenças na produção agroalimentar. **Desenvolvimento Sustentável na Produção Agroalimentar**. p. 53, 2019.

ZAMPIERI, F. G.; SOUZA, M. N.; FONSECA, R. A.; CARVALHO, S. L.; SILVA SOUZA, M. A. A. da; FORNAZIER, M. L.; ZAMPIERI, F. **Educação ambiental**

na cafeicultura agroecológica: ferramenta de transformação e promoção da sustentabilidade. 2021.

ZANUNCIO JUNIOR, J. S.; LAZZARINI, A. L.; OLIVEIRA, A. A. de; RODRIGUES, L. A.; MORAES SOUZA, I. I. de; ANDRIKOPOULOS, F. B.; COSTA, A. F. da. Manejo agroecológico de pragas: alternativas para uma agricultura sustentável. **Revista Científica Intelletto**, v. 3, n. 3, 2018.

ZUCCHI, R. A. *et al.* Biological control of agricultural pests: Advances and challenges. **Crop Protection**, v. 36, p. 117-129, 2011.

ZUCCHI, R. A. *et al.* Manejo de pragas e controle biológico. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 55, p. 220-231, 2011.

ZUCCHI, R. A.; MONTEIRO, R. C.; CANAL, N. A. Biological control of fruit flies in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 4, p. 379-386, 2011. DOI: 10.1590/S0100-204X2011000400001.