

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DENISE SILVA DA ROSA

PLANTAS DANINHAS E SEUS IMPACTOS NA BIODIVERSIDADE E AVANÇOS NO
CONTROLE BIOLÓGICO

CURITIBA

2025

DENISE SILVA DA ROSA

PLANTAS DANINHAS E SEUS IMPACTOS NA BIODIVERSIDADE E AVANÇOS NO
CONTROLE BIOLÓGICO.

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de
Pós-Graduação Lato Sensu em Fitossanidade,
Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal
do Paraná, como requisito parcial à obtenção do
título de Especialista em Fitossanidade.

Orientador(a): Msc. Natália Almeida Mitroszewski

CURITIBA

2025

Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio incondicional, e ao meu gato, que contribuiuativamente dormindo no teclado e desconfigurando meus textos nas horas mais ‘oportunas’. Também dedico ao meu computador, que travou tanto que quase virou parte do estudo sobre resistência e controle não de plantas daninhas, mas da minha paciência. Sem vocês, este TCC não teria a mesma dose de drama, comédia e superação.

AGRADECIMENTO

Agradeço, antes de tudo, à entidade superior, por me conceder paciência e resiliência para seguir adiante, mesmo diante das maiores dificuldades.

Aos meus pais, pelo amor incondicional, pelo apoio em cada etapa desta jornada e por estarem sempre prontos para me ajudar e acreditar no meu potencial.

Ao meu gato, Haru, cuja companhia silenciosa e carinho constante tornaram os dias de estudo e escrita mais leves, mesmo nos momentos de maior exaustão.

À minha orientadora, Msc. Natália Almeida Mitroszewski, pelas valiosas correções, orientações e pelo comprometimento que contribuíram de forma significativa para o aprimoramento deste trabalho.

À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias (PECCA), pela oportunidade de continuar minha formação por meio do sistema de bolsas, essencial para minha permanência acadêmica em um momento de vulnerabilidade econômica. Ao Prof. Dr. Henrique da Silva Silveira Duarte, coordenador do curso, que também foi meu orientador na graduação e me proporcionou a oportunidade de desenvolver afinidade com a área de Fitossanidade.

E, por fim, agradeço a mim mesmo por ter persistido, mesmo quando o cansaço e as incertezas tentaram me fazer desistir. Hoje percebo que cada obstáculo superado foi um passo necessário para chegar até aqui e que essa conquista é prova de que valeu a pena acreditar.

"O caos é a lei da natureza; a ordem, o sonho do homem." - Henry Adams

RESUMO

As plantas daninhas invasoras representam uma ameaça significativa à biodiversidade e à sustentabilidade agrícola, afetando ecossistemas naturais, reduzindo a produtividade das culturas e aumentando a dependência de produtos fitossanitários. Nesse contexto, o controle biológico surge como alternativa promissora ao uso de herbicidas, visando reduzir impactos ambientais e promover o equilíbrio ecológico. Este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica que tem como objetivo descrever os impactos das plantas daninhas na biodiversidade e os avanços no controle biológico como alternativa sustentável de manejo. O trabalho foi realizado por meio da consulta a artigos científicos, teses, dissertações e livros disponíveis em bases de dados como CAPES, SCOPUS e Web of Science, priorizando publicações dos últimos dez anos, mas sem excluir trabalhos pioneiros. Foram abordados os principais impactos das plantas daninhas nos ambientes naturais e agrícolas, as limitações dos métodos tradicionais de controle e os avanços recentes no uso de microrganismos, insetos e compostos naturais como agentes de biocontrole. As perspectivas futuras apontam para a integração de tecnologias digitais, genômicas e de inteligência artificial no manejo integrado de plantas daninhas, bem como para a necessidade de políticas públicas e cooperação internacional. Conclui-se que o controle biológico, aliado a práticas sustentáveis e à inovação tecnológica, apresenta elevado potencial para compor estratégias de manejo mais eficazes, contribuindo para a conservação da biodiversidade e a redução do uso de herbicidas químicos, mas ainda não possui ferramentas suficientes para mudar os manejos atuais.

Palavras-chave: Bioherbicida; Agente biológico; Plantas exóticas; Agricultura Sustentável.

ABSTRACT

Invasive weeds pose a significant threat to biodiversity and agricultural sustainability by disrupting natural ecosystems, reducing crop productivity, and increasing reliance on chemical herbicides. In this context, biological control has emerged as a promising alternative for sustainable weed management, aiming to minimize environmental impacts and promote ecological balance. This study presents a literature review focused on the impacts of weeds on biodiversity and recent advances in biological control methods. The review was based on scientific articles, theses, dissertations, and books retrieved from databases such as CAPES, SCOPUS, and Web of Science, with a focus on the past ten years, while also considering foundational studies. Key topics include the ecological and agricultural impacts of weed infestations, the limitations of conventional control methods, and recent progress in the use of microorganisms, insects, and natural compounds as biocontrol agents. Future perspectives highlight the integration of digital technologies, genomics, and artificial intelligence into integrated weed management systems, as well as the importance of public policies and international collaboration. It is concluded that biological control, when combined with sustainable practices and technological innovation, holds great potential for improving weed management strategies, conserving biodiversity, and reducing chemical herbicide use. However, it still lacks the tools and scalability required to fully replace current conventional approaches.

Keywords: Bioherbicide; Biological agent; Exotic plants; Sustainable agriculture;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	OBJETIVOS.....	10
1.1.1	Objetivo geral.....	10
1.1.2	Objetivos específicos.....	11
1.2	JUSTIFICATIVA.....	11
2	METODOLOGIA.....	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1	PLANTAS DANINHAS INVASORAS.....	12
3.1.1	Definição e características.....	12
3.1.2	Características Ecológicas Das Espécies Invasoras.....	14
3.1.3	Rotas de introdução e dispersão.....	15
3.2	IMPACTOS DAS PLANTAS DANINHAS INVASORAS.....	16
3.2.1	Nos ecossistemas naturais.....	16
3.2.2	Na agricultura e pecuária.....	17
3.3	MANEJO DE PLANTAS DANINHAS E SEUS DESAFIOS.....	20
3.3.1	Métodos convencionais de controle.....	21
3.3.2	Limitações dos métodos tradicionais.....	21
3.3.3	Manejo integrado de plantas daninhas (MIPD).....	22
3.3.4	Redução do banco de sementes.....	22
3.3.5	Manejo de Plantas Daninhas Específico por Local.....	23
3.3.6	Consórcios.....	23
3.3.7	Culturas de Cobertura.....	24
3.4	CONTROLE BIOLÓGICO.....	24
3.4.1	Abordagens do Controle Biológico de Plantas Daninhas.....	24
3.4.2	Controle Biológico Clássico.....	25
3.4.3	Controle biológico Inundativo.....	26
3.4.4	Controle Aumentativo.....	26
3.4.5	Bioherbicidas: Exemplos Históricos.....	26

3.4.6 Organismos de Amplo Espectro.....	27
3.4.7 Vantagens e Limitações do Controle Biológico.....	27
3.5 PERSPECTIVAS FUTURAS.....	29
4 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	31
5 CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS.....	34

1 INTRODUÇÃO

A presença de plantas daninhas invasoras representa um dos principais desafios para a agricultura e a conservação ambiental (Norgaard, 2007). Essas espécies, ao se estabelecerem fora de sua área de origem, muitas vezes encontram condições favoráveis para crescimento descontrolado, causando desequilíbrios ecológicos, redução da biodiversidade e impactos econômicos nos sistemas produtivos (Arun et al., 2022). Além da competição por recursos com plantas nativas ou cultivadas, elas podem alterar as propriedades do solo, modificar habitats e dificultar práticas agrícolas (Arun et al., 2022).

Tradicionalmente, o manejo dessas espécies tem sido feito com o uso intensivo de herbicidas químicos, o que, embora eficaz a curto prazo, levanta preocupações quanto à contaminação ambiental, resistência de plantas e riscos à saúde humana e animal (Culliney, 2005). Nesse contexto, o controle biológico surge como uma alternativa promissora, oferecendo soluções sustentáveis baseadas no uso de inimigos naturais, como fungos, insetos e microrganismos específicos que atuam na contenção ou erradicação das plantas daninhas (Culliney, 2005).

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar os impactos das plantas daninhas invasoras na biodiversidade e os avanços no controle biológico como estratégia de manejo. Através de uma revisão bibliográfica, busca-se compreender como essas plantas afetam ecossistemas naturais e produtivos, bem como apresentar os progressos científicos relacionados ao controle biológico e suas perspectivas para a sustentabilidade agrícola.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Descrever os impactos das plantas daninhas na biodiversidade e os avanços no controle biológico como alternativa sustentável de manejo.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Identificar os principais impactos das plantas daninhas invasoras nos ecossistemas naturais e agrícolas.
2. Revisar as estratégias tradicionais de controle e suas limitações ambientais e econômicas.
3. Explorar os avanços recentes no controle biológico de plantas daninhas, incluindo o uso de microrganismos, insetos, etc.
4. Explorar a viabilidade do controle biológico de plantas daninhas no Brasil, destacando desafios e perspectivas futuras.

1.2 JUSTIFICATIVA

As plantas daninhas invasoras ameaçam a diversidade e a sustentabilidade agrícola, impactando diretamente na fauna nativa, e consequentemente aumentando a dependência de produtos fitossanitários. Nesse cenário, o controle biológico surge como uma alternativa aos herbicidas, seu uso visa reduzir impactos ambientais negativos e promover equilíbrio ecológico. Avanços na produção de produtos biológicos possibilitam o uso de fungos, insetos e microrganismos que limitam a propagação de plantas daninhas. Portanto, está revisão buscou juntar e organizar conhecimentos sobre os impactos das plantas daninhas e os avanços no controle biológico, contribuindo para estratégias de manejo mais sustentáveis. Sendo assim relevante para a comunidade, pois será mais uma ferramenta para auxiliar na construção de uma agricultura mais sustentável.

2 METODOLOGIA

Este trabalho consiste em uma revisão bibliográfica com o objetivo de reunir, analisar e discutir informações relevantes sobre os impactos das plantas daninhas invasoras na biodiversidade, bem como os avanços no controle biológico dessas espécies.

A pesquisa realizada para elaboração da revisão bibliográfica foi feita por meio da consulta a artigos científicos disponíveis em bases de dados acadêmicas reconhecidas, como Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), SCOPUS, WEB SCIENCE, e buscas no Google Acadêmico, entre outros site da web, priorizando publicações dos últimos dez anos para garantir a atualidade das informações. A pesquisa levou em consideração artigos científicos, dissertações, teses, monografias e livros publicados. Os descritores utilizados incluíram termos como “plantas daninhas invasoras”, “impacto na biodiversidade”, “controle biológico de plantas daninhas” e “manejo sustentável”.

Além disso, ferramentas de inteligência artificial, como o Chat GPT, foram utilizadas como apoio na organização das ideias, delimitação do tema e levantamento de tópicos relevantes, sempre com a devida verificação e validação das informações em fontes acadêmicas confiáveis.

A seleção dos materiais considerou a relevância científica, a pertinência ao tema proposto e a qualidade das informações, buscando assegurar uma abordagem crítica e embasada sobre o assunto.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PLANTAS DANINHAS INVASORAS

3.1.1 Definição e características

Para se entender o que é uma planta daninha, antes é importante entender o que é uma planta nativa, não nativa e o que faz dessas plantas daninhas ou não (Schwartz et al., 1997). Definir critérios claros para o status específico das espécies dentro de uma comunidade vegetal é fundamental para que cientistas e gestores possam avaliar corretamente as espécies invasoras e desenvolver estratégias adequadas de manejo (Schwartz et al., 1997). Apesar de existirem muitos termos para descrever o status das plantas, como nativas, exóticas, adventícias, naturalizadas ou invasoras, suas definições variam entre pesquisadores e órgãos reguladores, o que gera debate devido à imprecisão das categorias ecológicas (Schwartz et al., 1997).

Segundo Webb (1985), a única evidência definitiva do status nativo é a informação paleobotânica, enquanto os registros históricos são a única prova concreta de uma introdução. Outros critérios importantes, que ajudam a identificar a origem da planta, incluem a facilidade de naturalização em outras regiões, a extensão da área de distribuição, bem como sua dispersão pelo ambiente, e tipo de habitat e as relações com outras formas de vida em diferentes níveis tróficos. Por exemplo, algumas plantas exóticas foram observadas abrigando menos pragas do que as espécies nativas ou transportando seus herbívoros do seu local de origem para a nova região (Preston, 1986).

Na ecologia vegetal, “invasão” é usada para descrever mudanças na distribuição e abundância das plantas decorrentes da ação humana. Para eventos naturais, como a recolonização após o recuo de geleiras, preferem-se termos como migração, expansão ou extensão de área (Pyšek et al., 2004). Algumas espécies nativas ampliam sua distribuição para habitats predominantemente antropogênicos, sendo classificadas como “expansivas” e o processo como “expansão” (Rejmánek, 1995).

Conforme a definição da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), estabelecida na 6^a Conferência das Partes (Decisão VI/23, 2002), uma espécie é considerada exótica ou introduzida quando está presente fora de sua área de distribuição natural em decorrência da ação humana, seja por introdução intencional ou acidental (Leão et al., 2011). Quando uma espécie exótica introduzida consegue se adaptar ao ambiente, estabelecer populações viáveis e se reproduzir com sucesso, ela é considerada estabelecida (Leão et al., 2011). Caso sua dispersão afete negativamente os ecossistemas locais ou a biodiversidade nativa, ela passa a ser classificada como uma espécie exótica invasora (Leão et al., 2011). Essas definições, amplamente reconhecidas por organismos internacionais como a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), foram igualmente incorporadas à legislação brasileira por meio do Decreto nº 2, de 03 de fevereiro de 1994. Conforme previsto no artigo 8h da Convenção, o país assumiu o compromisso de impedir a introdução e promover o controle ou erradicação de espécies exóticas que ameacem os ecossistemas. Esse princípio foi incorporado à legislação brasileira pela Lei de Crimes Ambientais (Lei Federal nº 9.605/1998), que considera crime a disseminação

de espécies que possam causar prejuízos ambientais ou econômicos (Leão et al., 2011).

Portanto, é fundamental compreender o papel da ação humana no processo, seja considerando “o que é invasor” ou “o que é nativo” (Marambe et al., 2010).

3.1.2 Características Ecológicas Das Espécies Invasoras

Ao longo dos anos, o conceito de “espécies invasoras” tem sido amplamente utilizado por especialistas em ecologia e áreas relacionadas (Marambe et al., 2010). A introdução e expansão dessas espécies em novos ambientes tem despertado o interesse de diferentes setores, incluindo cientistas, formuladores de políticas e a sociedade em geral (Marambe et al., 2010). Estudos evidenciam que as espécies invasoras causam impactos significativos na biodiversidade e nos processos ecológicos, sendo apontadas como uma das principais razões para a perda global de diversidade biológica e extinção de espécies (Di Castri, 1989; Polley et al., 1994; Czech e Krausman, 1997; Hobbs, 2000; Mack et al., 2000).

Segundo Pyšek et al. (2004), algumas espécies exóticas são classificadas como “casuais” (*casuals*), pois, embora possam sobreviver e até se reproduzir ocasionalmente fora do cultivo, não formam populações autossustentáveis e dependem de introduções repetidas para sua permanência. Em contraste, as espécies naturalizadas são aquelas capazes de manter populações que se renovam por pelo menos dez anos, sem intervenção humana direta (ou mesmo apesar dela), através de sementes ou estruturas vegetativas como estolhos, tubérculos, bulbos e fragmentos com capacidade de crescimento independente (Pyšek et al., 2004). Define-se que, “transformadoras” (*transformers*) como um subconjunto de plantas invasoras (nem sempre exóticas) que provocam alterações significativas na estrutura, composição ou funcionamento dos ecossistemas em áreas extensas (Pyšek et al., 2004).

No contexto agrícola e ambiental, as plantas daninhas são geralmente consideradas aquelas que crescem em locais onde não são desejadas, competindo diretamente com culturas agrícolas ou vegetação nativa (Pyšek et al., 2004). Entre elas, as plantas invasoras destacam-se por serem espécies exóticas introduzidas, de maneira intencional ou acidental, em ambientes aos quais não pertencem

originalmente (Di Castri, 1990). Essas plantas normalmente apresentam vantagens competitivas, como elevada capacidade de adaptação, reprodução e crescimento rápidos, eficiente dispersão, grande produção de sementes, resistência a estresses ambientais e ausência de inimigos naturais no novo habitat. Essas vantagens permitem colonizar rapidamente novas áreas, dominar os ecossistemas e causar desequilíbrios ambientais relevantes, o que faz superarem espécies nativas, levando à redução da diversidade biológica local (Davis e Thompson, 2000, Mack et al., 2000).

3.1.3 Rotas de introdução e dispersão

A introdução de plantas daninhas invasoras em novos ambientes está, em grande parte, associada às atividades humanas, podendo ocorrer de forma intencional, como no uso de espécies exóticas na ornamentação e na pecuária, ou de maneira accidental, por meio de sementes contaminadas, transporte de solo ou maquinário agrícola (Mack et al., 2000). Entre as principais rotas de introdução destacam-se a contaminação de sementes comerciais, exemplificada pelo caso da Fios-de-Ovos (*Cuscuta* spp.), comum em lotes de alfafa (Meighani et al., 2024; Zagorchev, 2025); a introdução de espécies forrageiras, como o capim-braquiária (*Urochloa decumbens*), que se tornou invasora em ecossistemas naturais no Brasil (De Assis et al., 2017); o transporte de solo em obras civis, responsável pela dispersão de espécies como o Capim-gordura (*Melinis minutiflora*); e o tráfego internacional de cargas e passageiros, que favorece a chegada de sementes aderidas a roupas, calçados ou contêineres (Mack et al., 2000). A dispersão secundária, por sua vez, pode ocorrer tanto de forma natural quanto antrópica. Entre os mecanismos naturais, destacam-se a anemocoria, observada no Cardo-roxo (*Cirsium vulgare*), cujas sementes são transportadas pelo vento; a hidrocoria, característica de *Eichhornia crassipes* (aguapé), dispersa por rios e represas; e a zoocoria, verificada no Carrapicho (*Xanthium strumarium*), cujos frutos aderem ao pelo de animais ou às roupas humanas (Ayanda et al., 2020; Ullah et al., 2022; Bures et al., 2024).

Já a dispersão antrópica envolve, principalmente, o uso de maquinário agrícola e transporte terrestre, facilitando o movimento de sementes entre áreas

produtivas (Hodkinson e Thompson, 1997). Além disso, estradas, trilhos e canais atuam como corredores ecológicos, promovendo a dispersão de espécies exóticas mesmo em ambientes fragmentados (Hodkinson e Thompson, 1997).

Diante do aumento da conectividade global, torna-se essencial o monitoramento das rotas de entrada, a aplicação de barreiras fitossanitárias e a conscientização de produtores e gestores ambientais para prevenir a introdução e o alastramento de novas plantas daninhas (Mack et al., 2000).

3.2 IMPACTOS DAS PLANTAS DANINHAS INVASORAS

As plantas daninhas invasoras causam impactos significativos tanto nos ecossistemas naturais quanto nas atividades produtivas humanas, como a agricultura e a pecuária (Zanin, 2009). Tais impactos se manifestam nas esferas ecológica, econômica e social, interferindo na conservação da biodiversidade, reduzindo a produtividade agrícola e dificultando a recuperação de ambientes degradados (Lira-Durand, 2021; EMBRAPA, 2025).

3.2.1 Nos ecossistemas naturais

Quando se fala de ecossistema naturais o problema é que as espécies invasoras competem com as plantas nativas por recursos como luz, água e nutrientes (Lannes et al., 2012; Simões, 2021). Além disso, são capazes de reorganizar a composição estrutural da vegetação, influenciar processos biogeoquímicos e alterar padrões de distúrbios ecológicos, como o regime de fogo, dificultando a regeneração natural e reduzindo a biodiversidade local (Mayer et al., 2021; Miniat, 2021).

Nesse contexto, o clima é considerado o principal fator ambiental que determina a distribuição das espécies, e diversas pesquisas têm sido realizadas sobre os padrões de distribuição de plantas daninhas para compreender seu potencial de disseminação (Li et al., 2015). As mudanças climáticas favorecem a invasão em ecossistemas nativos e manejados, pois os níveis elevados de CO₂ e outras alterações climáticas, tornam as plantas invasoras mais adequadas às novas condições e mais eficientes na utilização de recursos (Arun et al., 2022). A interação

entre as mudanças climáticas e as práticas de manejo agrícola pode ampliar ainda mais o potencial invasivo de certas espécies, afetando negativamente a produtividade dos ecossistemas (Broadbent et al., 2018). Além disso, o aquecimento global pode resultar na expansão da área de ocorrência de espécies invasoras e na contração ou deslocamento do habitat de espécies nativas, agravando a substituição da flora original por plantas exóticas agressivas (Bhowmik, 2014). Esse fenômeno altera profundamente a composição dos ecossistemas, comprometendo serviços ecológicos essenciais, como a ciclagem de nutrientes, a estabilidade do solo e a polinização (Arun et al., 2022).

No Brasil a maior parte de plantas invasoras se enquadram em plantas terrestres (68%, n =173), das quais 25 são pertencentes à família Poaceae (Ziller et al., 2020). Os exemplos mais comuns são as gramíneas com impactos significativos sobre os ecossistemas brasileiros, destaca-se as gramíneas utilizadas como forrageiras para alimentação de animais. Entre as mais problemáticas estão a Capim-annoni (*Eragrostis plana*), Capim-Gamba (*Andropogon gayanus*), Capim-da-Guiné (*Megathyrsus maximus*), Capim- gordura (*Melinis minutiflora*) e diversas espécies do gênero *Urochloa*, como Capim-braquiária (*U. decumbens*, *U. humidicola* e *U. brizantha*) (Damasceno et al., 2018; Musso et al., 2019; Zenni and Ziller 2011; Baggio et al. 2018).

A *Melinis minutiflora* (capim-gordura), é considerada uma das principais invasoras no Cerrado. Essa gramínea forma extensas monoculturas, aumenta a inflamabilidade das áreas onde se estabelece e compromete a regeneração da flora nativa (Zenin, 2009; Mamede, 2020). Outra espécie amplamente disseminada é *Urochloa decumbens*, comumente utilizada como forrageira, mas que frequentemente substitui a vegetação nativa e libera compostos alelopáticos que inibem a germinação de espécies características do Cerrado (Martins et al., 2011).

3.2.2 Na agricultura e pecuária

A trajetória da agricultura está fortemente relacionada ao processo de invasão biológica, já que diversas espécies cultivadas foram introduzidas fora de sua área de origem e podem se comportar como invasoras (Arun et al., 2022). A adoção da biotecnologia agrícola, especialmente a inserção de genes em plantas cultivadas,

tem levantado preocupações quanto ao potencial de gerar novas espécies invasoras ou agravar os problemas existentes com plantas daninhas (Arun et al., 2022). A expansão da agricultura intensiva, por sua vez, criou condições favoráveis para a propagação global dessas espécies (Clements & Jones, 2021). Alterações no uso do solo, como a conversão de florestas e campos naturais em áreas agrícolas, além da fragmentação de habitats e do acúmulo de poluentes orgânicos, contribuem para o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera e intensificam os efeitos das mudanças climáticas (Arun et al., 2022).

Nas áreas agrícolas, as plantas daninhas representam uma ameaça constante à produtividade (Clements & Jones, 2021). Além disso, algumas espécies podem ser tóxicas para animais ou complicar o manejo de solo e pastagens (Maclarens et al., 2020).

As plantas daninhas exercem forte impacto na agricultura, sendo responsáveis por aproximadamente 34% das perdas globais de produção (Inderjit et al., 2018). A gravidade desses prejuízos, contudo, não é uniforme: em países em desenvolvimento, estima-se redução média de 10% da produtividade, enquanto em nações em condições socioeconômicas mais frágeis, essa perda pode chegar a 25% (Radicetti e Mancinelli, 2021).

Entre as espécies de maior relevância destaca-se a *Rottboellia cochinchinensis* (Capim-coceira), considerada uma das principais plantas daninhas de importância mundial (Funez et al., 2016). Essa gramínea compromete culturas de elevada expressividade econômica, incluindo soja (*Glycine max* (L.) Merr.), milho, algodão (*Gossypium hirsutum* L.), amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e arroz de terras altas (*Oryza sativa* L.), sobretudo em ambientes tropicais (Paini et al., 2016). Nessas regiões, representa ainda um dos maiores entraves para a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e novamente para a soja.

Outra espécie digna de menção é a *Asphodelus fistulosus*, nativa da América do Norte, Sul da Europa e Oeste da Ásia, frequentemente registrada em lavouras de cebola. Quando não manejada de forma adequada, pode contribuir para a redução da fertilidade do solo, agravando os impactos sobre o sistema produtivo.

A *Imperata cylindrica* (L.) (capim-cogon) P. Beauv, por sua vez, figura entre as espécies de gramíneas mais agressivas em escala global, provocando prejuízos severos em plantações de tamareira e cana-de-açúcar no Irã (Funez et al., 2016).

As plantas daninhas podem causar vários tipos de problemas em lavouras agrícolas. Na Austrália o Capim Gamba (*Andropogon gayanus*), uma espécie africana introduzida na Austrália tropical, demonstrou competição com culturas nativas em solos ricos em nitrato capacidade de modificar diretamente a estrutura do solo ao acelerar o processo de amonificação, elevando a disponibilidade de amônio em até quatro vezes em comparação aos solos com vegetação nativa, além de apresentar uma taxa de absorção de amônio mais de seis vezes superior (Rossiter-Rachor et al., 2009). A disponibilidade de nitrogênio, fósforo e a razão entre eles influenciam significativamente a competição interespecífica entre espécies nativas e plantas daninhas, indicando que o aumento na deposição de nutrientes pode favorecer a expansão de plantas exóticas em ecossistemas agrícolas (Rossiter-Rachor et al., 2009).

No Brasil, um exemplo comum são a *Bidens pilosa* (picão-preto) e a gramínea *Digitaria insularis* (capim-amargoso), ambas muito frequentes em lavouras e conhecidas por sua resistência a herbicidas, que dificultam o controle químico e elevam os custos da produção (Vargas et al. 2007). Já outras espécies exóticas de gramíneas como Grama japonesa (*Microstegium vimineum*) e Cipó-do-campo (*Mikania micrantha*), apresentam preferência pela absorção de nitrato em detrimento do amônio, intensificando a competição com plantas nativas (Shannon-Firestoneet al., 2015).

De maneira semelhante, espécies do gênero Amaranthus, como Caruru (*A. hybridus*), têm surgido como plantas daninhas resistentes ao glifosato em plantações de soja, exigindo estratégias de manejo cada vez mais sofisticadas (Lorenz et al. 2013). No âmbito da pecuária, a presença de *Brachiaria brizantha* pode levar à formação de pastagens monoespecíficas, diminuindo a biodiversidade funcional do solo e ocasionando toxicidade para bovinos em certas condições (Euclides et al. 2008).

Estima-se que os prejuízos econômicos causados por plantas daninhas na agricultura brasileira somaram, em média, cerca de US\$ 3,02 bilhões por ano entre 1984 e 2019, totalizando um impacto mínimo de US\$ 105,5 bilhões nesse período (Adelino et al. 2021).

3.3 MANEJO DE PLANTAS DANINHAS E SEUS DESAFIOS

O manejo de plantas daninhas é um dos principais desafios na agricultura brasileira. E por isso, o conhecimento aprofundado da ecologia, morfologia, fisiologia, bioquímica e dos mecanismos reprodutivos das plantas daninhas é essencial para a formulação de estratégias eficazes de manejo e prevenção (Arun et al., 2022). Visando um controle eficiente, é necessário considerar os fatores que influenciam diretamente a densidade, o crescimento e a competitividade dessas espécies (Arun et al., 2022). As práticas de manejo devem ser ajustadas de forma a reduzir a presença dessas plantas, minimizar seus impactos negativos e promover o uso mais eficiente do solo, integrando manejos preventivos e de controle (Basal et al., 2019).

Nos sistemas agrícolas, o combate à introdução de espécies de plantas daninhas pode ser aumentado por meio da adoção de técnicas como a rotação de culturas, o uso adequado de fertilizantes, boa cobertura do solo, uso de consórcio de plantas e intervenções que alterem as características físico-químicas e biológicas do solo (Mia et al., 2020; Monteiro et al., 2022; De Albuquerque et al., 2024).

Além das práticas agronômicas, medidas legais mais rígidas podem ter um papel decisivo na limitação da entrada e disseminação dessas espécies, favorecendo tanto a conservação dos ecossistemas quanto a elevação da produtividade nas lavouras (Albrecht et al., 2021). De maneira geral o manejo mais eficiente e com melhor custo-benefício é aquele baseado na prevenção, na identificação precoce e na erradicação de espécies de plantas daninhas antes que elas se estabeleçam (Albrecht et al., 2021).

Diversas técnicas de controle estão disponíveis e devem ser escolhidas conforme a situação: o controle mecânico, que envolve a roçada ou o corte das plantas para evitar sua reprodução; o controle manual, baseado na extração direta das plantas daninhas; o controle cultural, que estimula o desenvolvimento de plantas cultivadas capazes de suprimir as daninhas; e o controle biológico, que utiliza inimigos naturais para reduzir a capacidade de reprodução ou o vigor das espécies de plantas daninhas (Monteiro et al., 2022; Albrecht et al., 2021). Contudo, muitos desses organismos de controle biológico ainda não estão disponíveis para boa parte das espécies existentes.

3.3.1. Métodos convencionais de controle

Os métodos convencionais de controle de plantas daninhas envolvem práticas químicas, mecânicas e culturais. O uso de herbicidas é o mais utilizado, pois é considerado o mais eficaz e o de mais fácil aplicação em grandes áreas. Entretanto, o uso repetitivo e sem rotação de mecanismos de ação tem levado ao aumento de plantas resistentes, como *Conyza spp.* (buva), *Amaranthus spp.* (caruru) e *Digitaria insularis* (capim-amargoso) (Albrecht et al., 2013; Agostinetto et al., 2014; Christoffoleti et al., 2016; Albrecht et al., 2018; Albrecht et al., 2020). O controle mecânico, se utiliza de equipamentos e técnicas como aração e gradagem, embora útil em determinadas situações, é muitas vezes responsável por causar erosão e compactação do solo quando mal utilizado (Albrecht et al., 2020). Já os métodos culturais, como o aumento da densidade de semeadura ou plantio direto, pode ter um efeito limitado quando usados isoladamente, mas tende a ser uma ótima ferramenta quando combinada com as outras formas de controle (Albrecht et al., 2020).

3.3.2 Limitações dos métodos tradicionais

Apesar dos avanços tecnológicos, os métodos tradicionais de manejo de plantas daninhas apresentam limitações importantes, uma vez que muitas espécies desenvolvem resistência aos herbicidas mais utilizados, reduzindo gradualmente as opções de controle disponíveis. Fora isso, o uso desses produtos incorretamente pode causar sérios danos ao meio ambiente, o que causa problemas em futuros manejos (De Oliveira e Brighenti, 2011; Mendes et al., 2022; Gonçalves, 2024).

Outro desafio relevante é o custo crescente dos insumos agrícolas, que compromete o acesso a soluções eficazes, especialmente entre pequenos e médios produtores (Albrecht et al., 2021; De Moraes Martins et al., 2023). Soma-se a isso a carência de capacitação técnica e a limitada assistência técnica rural, o que dificulta a adoção de práticas mais sustentáveis, como o manejo integrado e o uso do controle biológico (Albrecht et al., 2021).

Esse contexto reforça a necessidade de diversificação das estratégias de manejo de plantas daninhas, priorizando abordagens que combinem eficácia agronômica com segurança ambiental e viabilidade econômica (Albrecht et al., 2021; De Moraes Martins et al., 2023).

3.3.3 Manejo integrado de plantas daninhas (MIPD)

Os princípios básicos do Manejo Integrado de Plantas Daninhas (MIPD) são a supressão do crescimento de plantas daninhas, a prevenção da produção de sementes, a redução do banco de sementes no solo e o controle da disseminação (Adegas, 1997). Esse método propõe a combinação de diferentes práticas de controle com o objetivo de reduzir a pressão de seleção e prolongar a eficácia dos herbicidas (Santos, 2025). Priorizando o monitoramento constante, a rotação de culturas, o uso de plantas de cobertura e a integração de métodos mecânicos, culturais e químicos (Albrecht et al., 2020). Portanto, o objetivo final desse método é alcançar uma estratégia de controle viável a longo prazo, e assim diminuir os efeitos negativos dos herbicidas sobre a saúde humana, o meio ambiente, a resistência das plantas daninhas, mudanças na flora daninha, disseminação de plantas daninhas (Pavlovic et at., 2022).

3.3.4 Redução do banco de sementes

A redução do banco de sementes de plantas daninhas no solo constitui uma medida fundamental e abrangente em qualquer estratégia de manejo, pois orienta as ações de controle e aumenta a eficácia no combate às infestações nas áreas agrícolas (Hossain e Begun, 2015). Nesse contexto, técnicas como pousio mecânico e falso plantio (seedbed falso) são opções que interferem diretamente no banco de sementes (Pavlovic et al., 2022). Os falsos plantios se baseiam no fato de que 85–95% das sementes estão dormentes, enquanto apenas 5–15% germinam imediatamente (Merfield, 2015). Consistem na indução da germinação das sementes de plantas daninhas e consequentemente sua remoção, através de capina manual, chama, gradagem etc, antes da semeadura da cultura (Pavlovic et al., 2022). Dessa forma, o método possibilita a germinação e o desenvolvimento das culturas sem

perturbar a distribuição de sementes no solo e reduzindo a infestação durante a estação (Pavlovic et al., 2022). Os únicos fatores limitantes são condições climáticas e tempo de germinação da cultura (Merfield, 2015). Sendo que, combinado com o pousio mecânico, esse método assegura um banco de sementes controlado e reduzido, com menor abundância e diversidade de plantas daninhas (Pavlovic et al, 2022).

3.3.5 Manejo de Plantas Daninhas Específico por Local

Consistem em monitorar a emergência das plantas daninhas, identificar zonas críticas no campo e registro anual (Christensen, 2009). Integra práticas comerciais já consolidadas com tecnologias modernas de informação (Pavlovic et al., 2022). O uso de máquinas agrícolas dotadas de sistemas de geolocalização diminui a necessidade de mão de obra e o consumo de combustível, otimizando o custo–benefício (Monteiro et al., 2021). Recursos de detecção por visão viabilizam estratégias robóticas de manejo, reduzindo a capina manual e o uso intensivo de herbicidas, tendo como meta a produção agrícola livre desses produtos (Slaughter et al., 2008). Apesar do enfoque atual privilegiar métodos não químicos, admite-se a pulverização localizada para controlar plantas daninhas perenes resistentes, aplicando bioherbicidas ou herbicidas seletivos apenas em pontos específicos, o que minimiza o uso total de químicos (Gutjahr et al., 2012).

3.3.6 Consórcios

Os consórcios consistem no cultivo simultâneo de diferentes espécies agrícolas, visando maior produtividade (Vandermeer, 1992). Essa prática promove equilíbrio no uso de nutrientes, luz, água e espaço, contribuindo para a remoção de espécies adaptadas sem necessidade de herbicidas (Jabran, 2015). Pode ser implementada de diversas maneiras, como em misturas de culturas, fileiras alternadas ou pela introdução de uma segunda espécie após o florescimento da primeira (Mousavi e Eskandari, 2011). Quando bem planejado, o consórcio assegura rendimento duplo e controle de plantas daninhas sem uso de produtos químicos,

além de aumentar a diversidade microbiana do solo, prevenir erosão e otimizar o aproveitamento da luz solar (Li et al., 2013).

3.3.7 Culturas de Cobertura

O uso de coberturas é uma prática muito comum do manejo integrado. As coberturas podem ser mortas ou verdes. A cobertura morta é uma prática particularmente vantajosa em culturas de alto rendimento ou em contextos onde outras medidas são inviáveis, como ocorre com plantas medicinais, onde as coberturas exercem pressão mecânica sobre as plantas daninhas atrapalhando ou impedindo sua germinação, o que favorece o desenvolvimento das culturas (Ferguson et al., 2008). A eficiência do método depende do tipo, da espessura e da durabilidade do material empregado, sendo capaz de controlar populações resistentes, reduzir a dispersão de sementes, regular indiretamente o pH, a umidade e a temperatura do solo, além de contribuir para a diminuição de pragas e doenças (Kader, 2017).

Agora, quando se fala das coberturas vivas, trata-se da utilização de outras culturas, como trigo, cevada e leguminosas. Essa prática reduz a presença de plantas daninhas, enriquecem o solo, a ciclagem de nutrientes, podem ser aproveitadas como forragem ou silagem, tudo isso sem demandar investimentos adicionais (Ochi, 2016; Ning et al., 2017). No entanto, apesar dos benefícios, as coberturas vivas podem conter sementes de plantas daninhas ou patógenos, sendo, portanto, recomendada sua utilização em rotação com outros métodos não químicos (Ning et al., 2017)

3.4 CONTROLE BIOLÓGICO

3.4.1 Abordagens do Controle Biológico de Plantas Daninhas

O controle biológico é uma estratégia de manejo integrada que visa manter as populações de plantas daninhas abaixo dos níveis de dano econômico, em vez de eliminá-las completamente (Albrecht et al., 2021) . Essa ideia se sustenta pela noção de que, em ecossistemas naturais, o equilíbrio entre espécies é regulado por fatores

bióticos, como inimigos naturais (Ghosh et al., 2021). Ao restaurar parte desse equilíbrio por meio da introdução controlada de outros organismos, busca-se diminuir os impactos das plantas daninhas sobre a agricultura e os ambientes naturais (Albrecht et al., 2021).

3.4.2 Controle Biológico Clássico

O método clássico de controle biológico baseia-se na importação de inimigos naturais da região de origem da planta daninha (Albrecht et al., 2021; De Morais Martins et al., 2023). Esses organismos, como insetos ou fungos, são liberados no ambiente onde a planta se tornou invasora, com o objetivo de reduzir sua densidade populacional de forma duradoura. A eficácia desse método depende da adaptabilidade do agente utilizado às condições ambientais da nova área, bem como localizar a planta-alvo com facilidade e se perpetuar no ecossistema sem causar efeitos adversos a outras espécies (Albrecht et al., 2021). Uma vez introduzido, esse agente passa a atuar de maneira contínua e autossustentável, o que torna sua remoção praticamente inviável. Por essa razão, sua seleção exige testes rigorosos de especificidade. Há diversos casos documentados de sucesso com esse tipo de controle (Albrecht et al., 2021; De Morais Martins et al., 2023). Um exemplo é a liberação do inseto *Dactylopius ceylonicus* (cochonilha-do-carmim) na Índia, originalmente proveniente do Brasil, utilizado para controlar espécies do gênero *Opuntia* (Zimmermann et al., 2009; De Souza, 2014). Outro caso clássico é a introdução da Mariposa-do-cacto *Cactoblastis cactorum* na Austrália, também para combater cactáceas invasoras (Marisco et al., 2011). Nos Estados Unidos, o Besouro da Erva de São João *Chrysolina quadrigemina* foi eficaz no controle de *Hypericum perforatum* (Andreas, 1985). No Havaí, diferentes agentes como Mariposa-da-Lantana, *Epinotia lantanae* e *Teleonemia scrupulosa* (Percevejo-de-renda-da-lantana) foram empregados com sucesso contra *Lantana camara* (Tourle, 2010). Já o controle da macrófita aquática *Salvinia* *Salvinia molesta* foi possível por meio do besouro Besouro da salvínia *Cyrtobagous salviniae*, utilizado em ecossistemas aquáticos da Austrália e Nova Guiné (Moreira et al., 1998). Esses exemplos demonstram o potencial do controle biológico clássico,

especialmente quando há compatibilidade ecológica entre o agente de controle e o novo ambiente.

3.4.3 Controle biológico Inundativo

Diferente do modelo clássico, o controle biológico inundativo adota uma abordagem mais pontual e controlada (Albrecht et al., 2021; Fabbris, 2023). Nessa estratégia, os agentes biológicos, frequentemente fungos patogênicos, são produzidos em larga escala e aplicados diretamente sobre as plantas daninhas, de forma semelhante aos herbicidas convencionais (Fabbris, 2025).

Esses organismos, chamados de bioherbicidas ou micoherbicidas, não permanecem no ambiente por longos períodos, tampouco se multiplicam de forma autônoma (Albrecht et al., 2021). São produtos formulados com precisão, padronizados e registrados, contendo como ingrediente ativo o próprio microrganismo (como esporos ou fragmentos de micélio) (Fiorillo, 2007; Albrecht et al., 2021). Essa abordagem permite intervenções rápidas, direcionadas e com menor risco ecológico (Albrecht et al., 2021).

O controle inundativo é especialmente útil em áreas onde se deseja evitar a introdução permanente de um organismo exótico, ou onde o controle clássico não foi possível ou eficaz (Albrecht et al., 2021).

3.4.4 Controle Aumentativo

Menos difundida na prática agrícola, a estratégia aumentativa envolve a introdução periódica do agente de controle biológico, com menor frequência e intensidade que a aplicação de micoherbicidas. Essa técnica é particularmente útil quando os patógenos não são facilmente cultiváveis em laboratório, como ocorre com algumas espécies de ferrugens e carvões (Albrecht et al., 2021).

Um exemplo notável é o uso do fungo *Puccinia canaliculata* no controle da tiririca-amarela (*Cyperus esculentus*), uma planta daninha de difícil manejo por métodos convencionais (Scheepens e Hoogerbrugge, 1991; Zibia, 2003).

3.4.5 Bioherbicidas: Exemplos Históricos

O uso de micoherbicidas tem sido documentado desde a década de 1940, marcando um avanço importante na aplicação do controle biológico (Albrecht et al., 2021). Em 1942, no Canadá, foi registrado o primeiro herbicida comercial à base do fungo *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *malvae*, direcionado ao controle de *Malva pusilla*. A partir dessa inovação, diversos produtos foram desenvolvidos nos Estados Unidos, destacando-se as formulações líquidas contendo clamidósporos de *Phytophthora palmivora*, os esporos secos de *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *aeschynomene* e as aplicações de *Alternaria cassiae* para o manejo de *Senna obtusifolia* (Klaic et al., 2015). Esses produtos demonstram que o controle biológico, por meio de micoherbicidas, pode ser tecnicamente viável e adaptável a contextos específicos (Albrecht et al., 2021).

3.4.6 Organismos de Amplo Espectro

Outra vertente do controle biológico envolve o uso de vertebrados herbívoros com capacidade de consumir seletivamente plantas daninhas. Essa abordagem é classificada como de amplo espectro, pois emprega organismos com dieta generalista e menor especificidade em relação às plantas-alvo (Headrick et al., 2001). Dentre os exemplos mais utilizados estão os peixes herbívoros, como a carpa-capim (*Ctenopharyngodon idella*), amplamente aplicada no controle de vegetação aquática; mamíferos aquáticos, como o peixe-boi, conhecido por sua alta capacidade de consumo de biomassa vegetal; além de aves, como gansos, patos e marrecos, que podem ser empregados para pastejo controlado em sistemas agrícolas (Van Driesche et al., 1996; Briese et al., 2000; Albrecht et al., 2021). Também são utilizados ruminantes terrestres, como carneiros e bodes, em práticas de pastejo seletivo em áreas agrícolas ou em reflorestamento. Apesar do potencial dessas espécies no manejo de plantas daninhas, seu uso requer cautela, especialmente no que diz respeito ao impacto sobre espécies nativas, à competição com fauna local e ao equilíbrio dos ecossistemas onde são introduzidos.

3.4.7 Vantagens e Limitações do Controle Biológico

Entre as principais vantagens do controle biológico, destaca-se a persistência do controle, uma vez que, após estabelecido, o agente biológico pode manter a população de plantas daninhas sob controle por longos períodos, sem necessidade de reaplicação constantes, com exceção do controle inundativo (Culliney, 2005; Albrecht et al., 2021). Além disso, o método apresenta boa aplicabilidade em áreas de difícil acesso, como lagos, encostas íngremes ou regiões de mata densa, onde o uso de técnicas mecânicas ou químicas é limitado (Albrecht et al., 2021). Outro benefício relevante é o baixo impacto ambiental, já que o controle biológico não deixa resíduos tóxicos no ambiente e apresenta risco mínimo de poluição, configurando-se como uma alternativa segura e ecologicamente responsável (Albrecht et al., 2021).

Apesar de suas contribuições, o controle biológico também apresenta algumas desvantagens importantes. A primeira delas é a irreversibilidade: uma vez introduzido, o agente biológico não pode ser facilmente removido do ambiente, o que exige rigorosa avaliação prévia (Hinz et al., 2019; Albrecht et al., 2021). Além disso, há um considerável risco ecológico, especialmente se o agente não apresentar especificidade adequada, podendo afetar plantas nativas ou até mesmo culturas agrícolas (Hinz et al., 2019; Albrecht et al., 2021). Outro desafio é o alto custo de desenvolvimento, já que a seleção, avaliação e regulamentação de agentes biológicos demandam investimentos elevados e longos períodos de pesquisa (Sheppard et al., 2003; Collinge et al., 2022). A ação lenta também é uma limitação, pois o tempo necessário para que os efeitos sobre a população da planta daninha sejam observados pode ser extenso, tornando o método ineficaz em situações que exigem respostas imediatas (Bhaliya et al., 2023). Soma-se a isso os conflitos de interesse, uma vez que algumas plantas consideradas daninhas podem ter valor econômico, medicinal ou cultural em determinadas regiões, dificultando sua erradicação (Albrecht et al., 2021). Por fim, a complexidade ecológica dos agroecossistemas, com a presença simultânea de várias espécies daninhas, torna o controle de uma única espécie muitas vezes insuficiente, exigindo sua integração a outras estratégias de manejo (Hinz et al., 2019; Albrecht et al., 2021).

No Brasil, iniciativas recentes vêm abrindo caminho para a ampliação do uso do controle biológico. A inclusão de produtos microbiológicos no Programa Nacional de Bioinsumos (lançado em 2020 pelo Ministério da Agricultura) e a ampliação de linhas de pesquisa nas universidades e instituições como a Embrapa são sinais de mudança (Xavier, 2022). Ainda assim, o método segue subexplorado, em parte devido à falta de conhecimento técnico disseminado entre agricultores e profissionais do setor.

Portanto, o controle biológico não deve ser encarado como uma solução de segunda linha. Pelo contrário, trata-se de uma ferramenta valiosa, que deve ser incorporada ao manejo integrado de plantas daninhas, sobretudo em um contexto de busca por práticas agrícolas mais sustentáveis, eficazes e ecologicamente responsáveis.

3.5 PERSPECTIVAS FUTURAS

Com a crescente necessidade de aumentar a produção de alimentos para alimentar uma população estimada de 9 bilhões de pessoas até o ano de 2050, os desafios relacionados ao manejo de plantas daninhas tornam-se cada vez mais complexos (Westwood et al., 2018). Neste contexto, destacam-se as tendências emergentes em tecnologia e inovação que oferecem esperança para um manejo sustentável dessas plantas no futuro.

O futuro do controle biológico de plantas daninhas está fundamentado na integração de avanços tecnológicos, na expansão do conhecimento ecológico e no desenvolvimento de estratégias adaptativas que assegurem eficiência e segurança ambiental (Roberts et al., 2022; Monteiro e Santo, 2022). A crescente disponibilidade de ferramentas genômicas e biotecnológicas promete revolucionar a seleção e aprimoramento de agentes biológicos, possibilitando o desenvolvimento de cepas geneticamente otimizadas para maior especificidade e resistência a condições ambientais adversas (Wong et al., 2022; Kumar et al., 2025).

Além disso, o surgimento de compostos naturais no desenvolvimento de novos herbicidas e biopesticidas indica que ainda é possível descobrir novos modos de ação (Duke et al., 2022; Berestetskiy, 2023). A engenharia genética oferece opções adicionais para manipular a seletividade dos herbicidas e criar abordagens

inovadoras para o manejo das plantas daninhas (Kumam et al., 2023). Avanços no entendimento das interações planta-patógeno contribuirão para o desenvolvimento de novos agentes de controle biológico, enquanto insights sobre as interações planta-planta sugerem que as culturas podem ser aprimoradas ao manipular suas respostas à competição (Den Breeyen et al., 2022).

Outra tendência importante é o fortalecimento das abordagens de manejo integrado de plantas daninhas (MIPD), que combinam o controle biológico com métodos culturais, mecânicos e químicos de forma complementar e sustentável (Pontes Junior et al., 2022; Pavlovic et al., 2022). A incorporação de tecnologias digitais, como monitoramento remoto via drones e sensores, permitirá a liberação precisa e em tempo real dos agentes biológicos, aumentando sua eficácia e reduzindo custos operacionais (Roslim et al., 2021; Vijayakumar et al., 2025).

As revoluções no poder de computação e automação deram origem a uma indústria emergente baseada no uso de visão computacional e sistemas de posicionamento global (GPS) para distinguir plantas daninhas das culturas, possibilitando um controle de precisão (Taha et al., 2025). Essas tecnologias abrem múltiplas possibilidades para um manejo eficiente, seja por meios químicos ou mecânicos. A modelagem preditiva baseada em inteligência artificial poderá auxiliar na antecipação da dinâmica das plantas daninhas e no planejamento de estratégias adaptativas, ajustando intervenções conforme as condições ambientais e populacionais (Shamshiri et al., 2024).

Outro aspecto relevante para o futuro é o aumento da cooperação internacional e o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem o uso responsável e regulado do controle biológico, especialmente em países em desenvolvimento (Bortoloti e Sampaio, 2024). Investimentos em capacitação técnica e sensibilização social são essenciais para ampliar a adoção dessas práticas, contribuindo para a conservação da biodiversidade e para a redução do uso de herbicidas químicos (Cunha, 2023).

Por fim, pesquisas que explorem as interações entre agentes biológicos, microbiomas do solo e plantas daninhas deverão fornecer insights valiosos para otimizar a eficiência do biocontrole, minimizando efeitos colaterais e promovendo a restauração ecológica dos ambientes afetados (Shahrtash e Brown, 2021; Cheng et al., 2022).

Atender às necessidades de manejo das plantas daninhas na agricultura até 2050 e além exige o compromisso conjunto de agências financiadoras, pesquisadores e estudantes para traduzir essas novas tecnologias em soluções duradouras (Westwood et al., 2018). A integração das tecnologias tradicionais e inovadoras em sistemas de manejo mais diversificados, fundamentados em um melhor entendimento da biologia e ecologia das plantas daninhas, pode proporcionar estratégias integradas de manejo e controle de resistência que serão mais sustentáveis do que as tecnologias atuais, que estão se tornando ineficazes.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Os dados reunidos nesta revisão confirmam que as plantas daninhas invasoras continuam sendo um dos grandes desafios atuais na área de fitossanidade e conservação ambiental, com impactos significativos tanto sobre ecossistemas naturais quanto sobre sistemas produtivos (Zanin, 2009; Lira-Durand, 2021). Ao decorrer da escrita do presente trabalho observou-se que, embora os métodos convencionais de controle, em especial o químico, ainda sejam mais utilizado, sua eficácia tem sido reduzida pelo desenvolvimento da resistência em diversas espécies de plantas daninhas e pelos custos ambientais e econômicos associados ao uso intensivo de herbicidas (Albrecht et al., 2021; Mendes; Inoue, 2022).

Nesse cenário, o controle biológico se destaca como alternativa promissora e complementar, com alto potencial estratégico em manejo mais sustentáveis (Bholiya; Shekhada, 2023). Nos trabalhos analisados evidenciou-se convergência na identificação das mesmas espécies de plantas daninhas mais problemáticas no Brasil, sendo um grande número delas, senão a maioria, gramíneas exóticas, mas demonstra a falta de pesquisas que tragam, de forma integrada, os impactos ecológicos, econômicos e sociais desses organismos, o que limita a formulação de estratégia e limita o uso de ferramentas eficazes no seu manejo (Damasceno et al., 2018; Musso et al., 2019).

Pensando em manejo, apesar dos exemplos internacionais demonstrarem a viabilidade do controle biológico, os avanços no Brasil ocorrem lentamente, tanto pelo número reduzido de agentes disponíveis quanto pela falta de capacitação e de

regulamentação adequada (Xavier, 2022; Bortoloti; Sampaio, 2024). No geral, o trabalho atual demonstrou que o futuro do controle de plantas daninhas depende de abordagens multidisciplinares, ou seja, integrada. A união entre o controle biológico, métodos culturais, mecânicos e químicos; uso de tecnologias digitais para monitoramento e aplicação precisa; e maior investimento em pesquisa para desenvolvimento de bioherbicidas e agentes mais específicos (Pontes Junior et al., 2022; Vijayakumar et al., 2025).

Portanto, a literatura evidencia que, embora o controle biológico não substitua sozinho os métodos convencionais no curto prazo, a longo prazo o seu uso tem resultados positivos no que diz respeito à durabilidade de métodos de controle. A sua inserção no manejo integrado é essencial para reduzir impactos ambientais, retardar a resistência de plantas daninhas e contribuir para a conservação da biodiversidade. O manejo integrado associado à inovação tecnológica representa a direção mais promissora para uma agricultura verdadeiramente sustentável.

5 CONCLUSÃO

É inegável que as plantas daninhas representam um desafio recorrente na agricultura desde seus primórdios e na agricultura moderna não poderia ser diferente. Embora o problema seja antigo, ainda há muito a ser discutido e pesquisado sobre o controle dessas espécies. Os avanços científicos e tecnológicos têm ocorrido de forma acelerada, mas a demanda por soluções mais sustentáveis está longe de ser devidamente atendida.

Atualmente, o controle químico continua sendo o método mais amplamente utilizado, apesar do reconhecimento da importância das práticas preventivas e do controle cultural no manejo integrado. Nesse cenário, o estudo do controle biológico de plantas daninhas surge como uma abordagem promissora e extremamente necessária, especialmente diante das limitações e impactos dos métodos convencionais.

Embora o controle biológico já tenha sido explorado há décadas, essa área ainda carece de informações consolidadas, o que evidencia uma crescente demanda por pesquisas, desenvolvimento de novas tecnologias e ampliação do conhecimento científico sobre o tema.

REFERÊNCIAS

- ADEGAS, F. S. **Manejo integrado de plantas daninhas.** In: II Conferência Anual de Plantio Direto, 1997, Pato Branco, PR. Resumos Passo Fundo: Editora Aldeia Norte, p. 17-26, 1997.
- ADELINO, J. R. P.; HERINGER, G.; DIAGNE, C.; et al. The economic costs of biological invasions in Brazil: a first assessment. **NeoBiota**, v. 67, p. 349–374, 2021.
- AGOSTINETTO, D.; VARGAS, L. **Resistência de plantas daninhas a herbicidas no Brasil.** Pelotas: UFPel, 2014. 398p
- ALBRECHT, Leandro Paiola et al. Métodos de controle de plantas daninhas. BARROSO, AAM; MURATA, A. T. **Matologia: Estudos sobre plantas daninhas.** Jaboticabal. Editora Fábrica da Palavra, p. 145-169, 2021
- ANDREAS, L. A. Interaction of Chrysolina quadrigemina and Hypericum spp. in California. In: Proceedings of the international symposium of biological control of weeds. **Agriculture Canada**, 1985. p. 235-239.
- ARUN, M. N.; KUMAR, R. M.; SREEDEVI, B.; PADMAVATHI, G.; REVATHI, P.; PATHAK, N.; SRINIVAS, D.; VENKATANNA, B. The rising threat of invasive alien plant species in agriculture. In: **Resource Management in Agroecosystems.** [S.I.]: IntechOpen, 2022.
- AYANDA, Opeyemi I.; AJAYI, Tolulope; ASUWAJU, Femi P. Eichhornia crassipes (Mart.) Solms: Uses, challenges, threats, and prospects. **The Scientific World Journal**, v. 2020, n. 1, p. 3452172, 2020.
- BERESTETSKIY, Alexander. Modern approaches for the development of new herbicides based on natural compounds. **Plants**, v. 12, n. 2, p. 234, 2023.
- BORTOLOTI, Gillyene; SAMPAIO, Renata Martins. Desafios e estratégias no desenvolvimento dos bioinsumos para controle biológico no Brasil. Revista **Tecnologia e Sociedade**, v. 20, n. 60, p. 291-307, 2024.
- BHALIYA, C. M.; SHEKHADA, H. A. Role of biological control in weed management. **Planta**, v. 7, p. 1328-1340, 2023.
- BHOWMIK, P. C. Invasive weeds and climate change: past, present and future. **Journal of Crop and Weed**, v. 10, n. 2, p. 345–349, 2014.
- BRABEC, J.; PYŠEK, P. Establishment and survival of three invasive taxa of the genus *Reynoutria* (Polygonaceae) in mesic mown meadows: a field experimental study. **Folia Geobotanica**, v. 35, p. 27–42, 2000.
- BRIESE, David T. **Classical biological control. Australian weed management systems**, p. 161-192, 2000.
- BROADBENT, A.; STEVENS, C. J.; PELTZER, D. A.; OSTLE, N. J.; ORWIN, K. H. Below ground competition drives invasive plant impact on native species regardless of nitrogen availability. **Oecologia**, v. 186, p. 577–587, 2018.
- BUREŠ, Petr et al. Intergeneric hybrid origin of the invasive tetraploid *Cirsium vulgare*. **Plant Biology**, v. 26, n. 5, p. 749-763, 2024.
- CHENG, Liang; DITOMMASO, Antonio; KAO-KNIFFIN, Jenny. Opportunities for microbiome suppression of weeds using regenerative agricultural technologies. **Frontiers in Soil Science**, v. 2, p. 838595, 2022.

- CHRISTENSEN, Svend et al. Site-specific weed control technologies. **Weed Research**, v. 49, n. 3, p. 233-241, 2009.
- CLEMENTS, D. R.; JONES, V. L. Rapid evolution of invasive weeds under climate change: Present evidence and future research needs. **Frontiers in Agronomy**, v. 3, p. 664034, 2021.
- COLAUTTI, R. I.; MACISAAC, H. J. A neutral terminology to define 'invasive' species. *Diversity and Distributions*, v. 10, p. 135–141, 2004.
- COLLINGE, David B. et al. Biological control of plant diseases—What has been achieved and what is the direction?. **Plant Pathology**, v. 71, n. 5, p. 1024-1047, 2022.
- CULLNEY, Thomas W. Benefits of classical biological control for managing invasive plants. **Plant Sciences**, v. 24, n. 2, p. 131-150, 2005.
- CUNHA, Gabriel Lima Reis. **Agrotóxicos: aplicabilidade, impactos e alternativas para redução na utilização**. 2023.
- CZECH, B.; KRAUSMAN, P. R. Distribution and causation of species endangerment in the United States. **Science**, v. 277, p. 116–117, 1997.
- DAVIS, M. A.; THOMPSON, K. Eight ways to be a colonizer; two ways to be an invader: a proposed nomenclature scheme for invasion ecology. **ESA Bulletin**, v. 81, p. 226–230, 2000.
- DE ALBUQUERQUE, Wallace Vieira; SAYD, Ricardo Meneses. **Estratégias De Controle De Plantas Invasoras Nas Culturas De Soja E Milho No Cerrado Brasileiro** (AGRONOMIA). Repositório Institucional, v. 3, n. 1, 2024.
- DE ASSIS, Geissianny Bessão. **Invasão do campo cerrado por braquiária (*Urochloa decumbens*): perdas de diversidade e técnicas de restauração**. 2017. Tese de Doutorado. PhD Thesis: Jardim Botânico do Rio de Janeiro & Escola Nacional de Botânica Tropical, Rio de Janeiro.
- DEN BREEYEN, Alana; LANGE, Claudia; FOWLER, Simon V. Plant pathogens as introduced weed biological control agents: Could antagonistic fungi be important factors determining agent success or failure?. **Frontiers in fungal biology**, v. 3, p. 959753, 2022.
- DE MORAIS MARTINS, Jean Marcos; JUNIOR, Roberto Andreani. Impactos das plantas daninhas nas culturas agrícolas e seus métodos de controle. Revista **VIDA: Exatas e Ciências da Terra** (VIECIT), v. 1, n. 2, p. 34-54, 2023.
- DE OLIVEIRA, Maurílio Fernandes; BRIGHENTI, Alexandre Magno. **Comportamento dos herbicidas no ambiente**. Embrapa Milho e Sorgo-Capítulo em livro científico (ALICE), p. 10-138, 2011.
- DE SOUZA, Nadia R. **Host plant associations of two cochineal insect species, *Dactylopius ceylonicus* and *D. opuntiae* (Dactylopiidae: Hemiptera), on the invasive cactus species *Opuntia monacantha*, *O. ficus-indica* and a possible hybrid cactus, in South Africa**. 2014.
- DI CASTRI, Francesco. On invading species and invaded ecosystems: the interplay of historical chance and biological necessity. In: **Biological invasions in Europe and the Mediterranean Basin**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1990. p. 3-16.
- DUKES, J. S.; MOONEY, H. A. Does global change increase the success of biological invaders? **Trends in Ecology and Evolution**, v. 14, n. 4, p. 135–139, 1999.
- DUKE, Stephen O. et al. The potential future roles of natural compounds and microbial bioherbicides in weed management in crops. **Advances in Weed Science**, v. 40, n. spe1, p. e020210054, 2022.

FABBRIS, Claudia et al. **Primeiro relato de Bipolaris spp. causando lesões foliares em Digitaria insularis no Brasil e seu potencial como agente de controle biológico.** 2023.

FABBRIS, Claudia et al. **Diversidade e distribuição espacial de fungos fitopatogênicos como agentes de controle biológico ao capim pé-de-galinha (Eleusine indica).** 2025.

FERGUSON, James; RATHINASABAPATHI, Bala; WARREN, Clinton. Southern redcedar and southern magnolia wood chip mulches for weed suppression in containerized woody ornamentals. **HortTechnology**, v. 18, n. 2, p. 266-270, 2008.

FIORILLO, Claudia Maria Toffanelli. **Controle biológico de Sagittaria montevidensis com Cylindrocarpus sp.** 2007.

FUNEZ, L. A.; FERREIRA, J. P. R.; HASSEMER, G.; TREVISAN, R. First record of the invasive species *Rottboellia cochinchinensis* (Poaceae, Andropogoneae) in the south region of Brazil. **The Journal of Biodiversity Data**, v. 12, n. 4, p. 1-4, 2016.

GONÇALVES, Matheus de Moraes Cunha. **Ecotoxicidade de solos contaminados com os herbicidas flumioxazin e imazetapir e as consequências desta contaminação para a saúde ambiental.** 2024.

GHOSH, Deyatima; BORZÉE, Amaël. Biological pest regulation can benefit from diverse predation modes. **Royal Society Open Science**, v. 11, n. 9, p. 240535, 2024.

GUTJAHR, C.; SÖKEFELD, M.; GERHARDS, R. Evaluation of two patch spraying systems in winter wheat and maize. **Weed Research**, v. 52, n. 6, p. 510-519, 2012.

HEYWOOD, V. H. **Patterns, extents and modes of invasions by terrestrial plants.** In: DRAKE, J. A. et al. (eds.). Biological invasions: a global perspective. Chichester: John Wiley & Sons, 1989.

HEADRICK, David H.; GOEDEN, Richard D. Biological control as a tool for ecosystem management. **Biological Control**, v. 21, n. 3, p. 249-257, 2001.

HINZ, Hriet L.; WINSTON, Rachel L.; SCHWARZLÄNDER, Mark. How safe is weed biological control? A global review of direct nontarget attack. **The Quarterly Review of Biology**, v. 94, n. 1, p. 1-27, 2019.

HOBBS, R. J. **Land-use changes and invasions.** Covelo: Island Press, 2000.

HODKINSON, D. J.; THOMPSON, K. Plant dispersal: The role of man. **Journal of Applied Ecology**, [S. l.], p. 1484-1496, 1997.

HOSSAIN, M. M.; BEGUM, M. Soil weed seed bank: Importance and management for sustainable crop production-A Review. **Journal of the Bangladesh Agricultural University**, v. 13, n. 2, p. 221-228, 2015.

JARVIS, P. J. The ecology of plant and animal introductions. **Progress in Physical Geography**, v. 3, p. 187-214, 1979.

KADER, M. A. et al. Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment. **Soil and Tillage Research**, v. 168, p. 155-166, 2017.

- KLAIC, Rodrigo et al. **An overview regarding bioherbicide and their production methods by fermentation.** Fungal Biomolecules: Sources, Applications and Recent Developments, p. 183-199, 2015.
- KUMAM, Yaipabi et al. Transformative approaches for sustainable weed management: The power of gene drive and CRISPR-Cas9. **Genes**, v. 14, n. 12, p. 2176, 2023.
- KUMAR, Sachin et al. **Molecular Biology in Weed Management.** In: Recent Advances in Weed Science. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025. p. 233-257.
- LANNES, L. S.; BUSTAMANTE M.M.C.; EDWARDS, P.J.; OLDE VENTERINK, H. Native and alien herbaceous plants in the Brazilian Cerrado are (co-)limited by different nutrients. **Plant Soil** 400, 231–243, 2016.
- LEÃO, Tarciso et al. **Espécies Exóticas Invasoras.** Recife, 2011.
- LI, W.; LUO, J.; TIAN, X.; et al. A new strategy for controlling invasive weeds: Selecting valuable native plants to defeat them. **Scientific Reports**, v. 5, p. 11004, 2015.
- LI, Yue et al. Allelopathic influence of a wheat or rye cover crop on growth and yield of no-till cotton. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 6, p. 1581-1587, 2013.
- LIRA-DURAND, Emannuella Hayanna Alves de et al. **Plantas espontâneas de pastagens naturais: aspectos fitossociológicos, dispersão e métodos de controle.** 2021.
- LONSDALE, W. M. Global patterns of plant invasions and the concept of invasibility. **Ecology**, v. 80, n. 5, p. 1522–1536, 1999.
- INDERJIT; PERGL, J.; VAN KLEUNEN, M.; HEJDA, M.; BABU, C. R.; MAJUMDAR, S.; SINGH, P.; et al. Naturalized alien flora of the Indian states: Biogeographic patterns, taxonomic structure and drivers of species richness. **Biological Invasions**, v. 20, n. 6, p. 1625–1638, 2018.
- MACK, R. N.; SIMBERLOFF, D.; LONSDALE, W. M.; EVANS, H.; CLOUT, M.; BAZZAZ, F. A. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control. **Ecological Applications**, v. 10, n. 3, p. 689–710, 2000.
- MAMEDE, Bruno Pimenta. **Consequências da invasão de capins exóticos sobre o estabelecimento de plantas herbáceas e lenhosas no cerrado.** 2020.
- MARAMBE, B. et al. **Invasive Alien Species: Strengthening Capacity to Control Introduction and Spread in Sri Lanka.** 2010.
- MARTINS, C. R.; HAY, J. D. V.; WALTER, B. M. T.; PROENÇA, C. E. B.; VIVALDI, L. J. Impact of invasion and management of molasses grass (*Melinis minutiflora*) on the native vegetation of the Brazilian Savanna. **Brazilian Journal of Botany**, v. 34, n. 1, p. 73-90, 2011.
- MEIGHANI, Fariba et al. Chemical control of the field dodder (*Cuscuta campestris*) in new-seeded alfalfa (*Medicago sativa*). **Agronomy**, v. 14, n. 8, p. 1643, 2024.
- MENDES, Kássio Ferreira; IONOUÉ, Miriam Hiroko. **Herbicidas no ambiente: impacto e detecção.** Digitaliza Conteudo, 2022.
- MERFIELD, Charles N. False and Stale Seedbeds: The most effective non-chemical weed management tools for cropping and pasture establishment. **The FFC Bulletin**, v. 2015, n. V4, p. 25, 2015.
- MEYER, Susan E. et al. **Invasive species response to natural and anthropogenic disturbance.** In: Invasive species in forests and rangelands of the United States: A comprehensive science synthesis for the United States forest sector. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 85-110.

- MEYERSON, L. A.; REASER, J. K. Bioinvasions, bioterrorism, and biosecurity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 1, p. 307–314, 2003.
- MEYERSON, F. A. B.; MEYERSON, L. A.; REASER, J. K. Biosecurity from the ecologist's perspective: developing a broader view. *International Journal of Risk Assessment and Management*, v. 12, p. 147–159, 2009.
- MINIAT, Chelcy Ford et al. **Impacts of Invasive Species on Forest and Grassland Ecosystem Processes**. Invasive Species in Forests and Rangelands of the United States: A Comprehensive Science Synthesis for the United States Forest Sector, p. 41, 2021.
- MONTEIRO, A.; SANTOS, S. Sustainable approach to weed management: the role of precision weed management. *Agronomy*, v. 12, n. 1, p. 118, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy12010118>. Acesso em: 27 jul. 2025.
- MOREIRA, Ilídio et al. **Gestão das infestantes aquáticas**. Estudos e Documentos de Trabalho, v. 4, 1998.
- MOUSAVI, Sayed Roholla; ESKANDARI, Hamdollah. A general overview on intercropping and its advantages in sustainable agriculture. *Journal of applied environmental and biological sciences*, v. 1, n. 11, p. 482-486, 2011.
- NING, C. H. E. N. et al. Contamination of phthalate esters in vegetable agriculture and human cumulative risk assessment. *Pedosphere*, v. 27, n. 3, p. 439-451, 2017.
- NORGAARD, Kari Marie. The politics of invasive weed management: gender, race, and risk perception in rural California. *Rural sociology*, v. 72, n. 3, p. 450-477, 2007.
- OCHI, Mehran. **Management of cover crops of cold cereal, on total fresh weight, total dry weight weed, yield and yield components peppermint**. 2016.
- PAINI, D. R.; SHEPPARD, A. W.; COOK, D. C.; DE BARRO, P. J.; WORNER, S. P.; THOMAS, M. B. Global threat to agriculture from invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 113, p. 7575–7579, 2016.
- PAVLOVIĆ, Danijela et al. Non-chemical weed control for plant health and environment: Ecological integrated weed management (EIWM). *Agronomy*, v. 12, n. 5, p. 1091, 2022.
- PRESTON, C. D. An additional criterion for assessing native status. *Watsonia*, v. 16, p. 8, 1986.
- POLLEY, H. W.; JOHNSON, H. B.; MAYEUX, H. S. Increasing CO₂: comparative responses of the C₄ grass *Schizachyrium* and grassland invader *Prosopis*. *Ecology*, v. 75, p. 976–988, 1994.
- PONTES JUNIOR, Vicente Bezerra et al. **Methods of control and integrated management of weeds in agriculture**. In: Applied weed and herbicide science. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 127-156.
- PYŠEK, P.; RICHARDSON, D. M.; REJMÁNEK, M.; WEBSTER, G. L.; WILLIAMSON, M.; KIRSCHNER, J. Alien plants in checklists and floras: towards better communication between taxonomists and ecologists. *TAXON*, v. 53, n. 1, p. 131–143, 2004.
- REJMÁNEK, M. What makes a species invasive? In: PYŠEK, P. et al. (eds.). *Plant Invasions: General Aspects and Special Problems*. Amsterdam: SPB Academic Publishing, 1995. p. 3–13.
- ROBERTS, Jason et al. Achievements, developments and future challenges in the field of bioherbicides for weed control: A global review. *Plants*, v. 11, n. 17, p. 2242, 2022.

ROSSITER-RACHOR, N. A.; SETTERFIELD, S. A.; DOUGLAS, M. M.; HUTLEY, L. B.; COOK, G. D.; SCHMIDT, S. Invasive Andropogon gayanus (Gamba grass) is an ecosystem transformer of nitrogen relations in Australian savanna. **Ecological Applications**, v. 19, p. 1546–1560, 2009.

ROSLIM, Muhammad Huzaifah Mohd et al. Using remote sensing and an unmanned aerial system for weed management in agricultural crops: A review. **Agronomy**, v. 11, n. 9, p. 1809, 2021.

SANTOS, Leonardo David Tuffi; DONATO, Luan Mateus Silva; FERREIRA, Evander Alves et al. **Plantas daninhas: biologia e manejo sustentável**. Cuiabá: Aprosoja-MT; IAGRO-MT; UFMG, 2025. (Circular Técnica, Ed. 11). Acesso em: 17 set. 2025.

SCHEEPENS, P. C.; HOOGERBRUGGE, A. Host specificity of *Puccinia canaliculata*, a potential biocontrol agent for *Cyperus esculentus*. **Netherlands Journal of Plant Pathology**, v. 97, n. 4, p. 245-250, 1991.

SHAMSHIRI, Redmond R. et al. Sensing and perception in robotic weeding: Innovations and limitations for digital agriculture. **Sensors**, v. 24, n. 20, p. 6743, 2024.

SHAHRTASH, Maryam; BROWN, Shawn P. A path forward: promoting microbial-based methods in the control of invasive plant species. **Plants**, v. 10, n. 5, p. 943, 2021.

SHEPPARD, A. W. et al. **A global review of risk-benefit-cost analysis for the introduction of classical biological control agents against weeds: a crisis in the making?**. 2003.

SCHWARTZ, M. W. **Defining indigenous species: an introduction**. In: LUKEN, J. O.; THIERET, J. W. (eds.). Assessment and management of plant invasions. New York: Springer, 1997. p. 9–21. (Springer Series on Environmental Management). Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1926-2_2. Acesso em: 13 jul. 2025.

SIMÕES, R.J.C.S. **Plantas Invasoras no Jardim Botânico da Universidade de Coimbra: Contribuição para a Elaboração de um Plano de Gestão**. FCTUC Ciências da Vida - Teses de Mestrado - Universidade de Coimbra. Out-dez 2014.

TAHA, Mohamed Farag et al. Emerging technologies for precision crop management towards agriculture 5.0: A comprehensive overview. **Agriculture**, v. 15, n. 6, p. 582, 2025.

TOURLE, Robyn. **Effects of Ant Predation on the Efficacy of Biological Control Agents: Hypena Laceratalis Walker (Lepidoptera: Noctuidae); Falconia Intermedia Distant (Hemiptera: Miridae and Teleonemia Scrupulosa Stål (Hemiptera: Tingidae) on Lantana Camara (Verbenaceae) in South Africa**. 2010. Tese de Doutorado. Rhodes University.

ULLAH, R.; KHAN, N.; HEWITT, N.; ALI, K.; JONES, D. A.; KHAN, M. E. H. **Invasive species as rivals: Invasive potential and distribution pattern of Xanthium strumarium L.** **Sustainability**, Basel, v. 14, n. 12, p. 7141, 2022.

VANDERMEER, John H. **The ecology of intercropping**. Cambridge university press, 1992.

VAN DRIESCHE, Roy G.; BELLOWS JR, Thomas S. Herbivores and Pathogens Used for Biological Weed Control. **Biological Control**, p. 78-92, 1996.

VIJAYAKUMAR, Shanmugam et al. **Precision Weed Control Using Unmanned Aerial Vehicles and Robots: Assessing Feasibility, Bottlenecks, and Recommendations for Scaling**. NDT, v. 3, n. 2, p. 10, 2025.

XAVIER, Vanessa Lucas. **Programa Nacional de Bioinsumos: proposição de um sistema de monitoramento de biofábricas**. 2022.

WEBB, D. A. What are the criteria for presuming native status? **Watsonia**, v. 15, p. 231–236, 1985.

WILCOVE, D. S.; CHEN, L. Y. Management costs for endangered species. **Conservation Biology**, v. 12, p. 1405–1407, 1998.

- WESTWOOD, James H. et al. Weed management in 2050: perspectives on the future of weed science. **Weed science**, v. 66, n. 3, p. 275-285, 2018.
- WONG, Albert Chern Sun et al. Biotechnological road map for innovative Weed Management. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 887723, 2022.
- ZAGORCHEV, Lyuben et al. Methods of Control of Parasitic Weeds of the Genus Cuscuta—Current Status and Future Perspectives. **Plants**, v. 14, n. 15, p. 2321, 2025.
- ZANIN, Roberto. **Aspectos da introdução das espécies exóticas: o capim-gordura e a braquiária no Parque Nacional de Brasília**. 2009. 95 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- ZIBIA, Jabula Arlindo. **Avaliação da eficiência do uso de herbicidas no controlo de cyperus rotundus na cooperativa** 25 de junho em Boane. 2003.
- ZILLER, S.; ZENNI, R.; SOUZA BASTOS, L.; POSSATO ROSSI, V.; WONG, L.; PAGAD, S. **Global register of introduced and invasive species – Brazil**. 2020.
- ZIMMERMANN, H. G.; MORAN, V. C.; HOFFMANN, J. H. **Invasive cactus species (Cactaceae)**. Biological control of tropical weeds using arthropods, p. 108-129, 2009.