

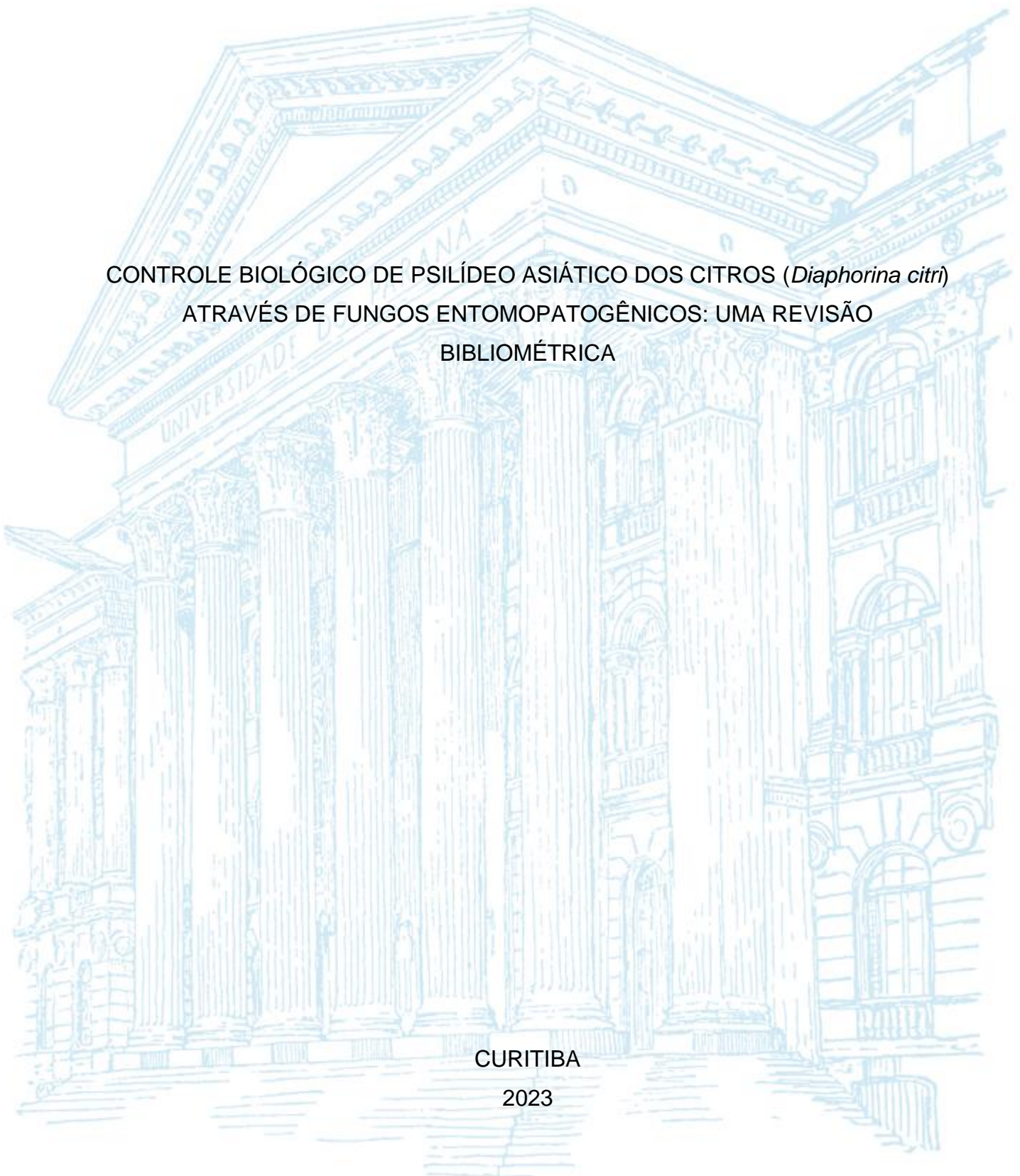
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

TATIANA DE OLIVEIRA PORTES

CONTROLE BIOLÓGICO DE PSILÍDEO ASIÁTICO DOS CITROS (*Diaphorina citri*)
ATRAVÉS DE FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS: UMA REVISÃO
BIBLIOMÉTRICA

CURITIBA

2023



TATIANA DE OLIVEIRA PORTES

CONTROLE BIOLÓGICO DE PSILÍDEO ASIÁTICO DOS CITROS (*Diaphorina citri*)
ATRAVÉS DE FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS: UMA REVISÃO
BIBLIOMÉTRICA

Trabalho de Conclusão de Curso 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): Prof(a). Dr(a). Ida Chapaval Pimentel

Coorientador(a): Prof(a). Dr(a). Maria Aparecida Cassilha Zawadneak

CURITIBA

2023

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Francisco e Marta, por sempre me apoiarem na busca pelos meus objetivos.

À minha orientadora, Prof(a). Dr(a). Ida Chapaval Pimentel, pela orientação dedicada, atenção e confiança.

À minha coorientadora, Prof(a). Dr(a). Maria Aparecida Cassilha Zawadneak, por todo o auxílio e disponibilidade.

Ao coordenador do curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Fitossanidade, Prof. Dr. Henrique da Silva Silveira Duarte, por estar sempre à disposição de todos nós e por providenciar as melhores condições para o desenvolvimento do curso.

A todos os professores da grade curricular do curso, por todo ensinamento passado e apoio.

À Universidade Federal do Paraná (UFPR), em especial ao setor de Ciências Agrárias, pela disponibilização do espaço e pela oportunidade de realização dos encontros presenciais do curso.

Aos amigos e colegas do curso, pelo apoio, pela boa convivência e pelos momentos de confraternização quando estivemos juntos.

À equipe de tutoria do PECCA, por todo o suporte durante o período do curso.

RESUMO

O psílídeo asiático dos citros, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), é o principal inseto vetor das bactérias *Candidatus liberibacter* spp., que são os agentes causais da doença denominada *greening* ou Huanglongbing (HLB). O fato de não haver tratamento para a doença exige que se realize um trabalho intensivo de manejo das populações do psílídeo, que tem sido realizado principalmente através do controle químico. Considerando que o controle biológico tem se tornado uma estratégia de manejo promissora, e que a utilização de fungos entomopatogênicos é um dos componentes do manejo integrado de pragas, o objetivo desta revisão foi comparar resultados sobre os fungos mais eficientes para o controle de *D. citri* e reunir informações sobre as melhores opções disponíveis. Para tal, foi realizada uma análise da bibliografia indexada nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, utilizando ferramentas de bibliometria com o software *R Studio* e o pacote *Bibliometrix*. Foram identificadas as espécies de fungos *Cordyceps fumosorosea*, *Beauveria bassiana* e *Hirsutella citriformis* como as mais relevantes nos últimos anos, apresentando bons resultados de eficiência. Além disso, os países que mais publicam sobre o assunto estão também entre os maiores produtores de citros. Estudos realizados em condições de casa de vegetação e campo ainda são escassos, porém necessários para validação de resultados obtidos em laboratório, assim como aqueles que exploram os mecanismos de ação envolvidos na patogenicidade dos fungos contra *D. citri*, sendo, portanto, um importante foco a se considerar em avaliações futuras.

Palavras-chave: Fungos entomopatogênicos. *Diaphorina citri*. *Greening*. Controle biológico. Análise bibliométrica.

ABSTRACT

The Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), is the main insect vector of *Candidatus liberibacter* spp. bacteria, which are the causative agents of the disease called citrus greening or Huanglongbing (HLB). The fact that there is no treatment for the disease requires that intensive work be carried out in the management of psyllid populations, which has been done mainly through chemical control. Considering that biological control has become a promising management strategy, and that the use of entomopathogenic fungi is one of the components of integrated pest management, the aim of this review was to compare results on the most efficient fungi for controlling *D. citri* and gather information about the best options available. To this end, the bibliography indexed in the *Scopus* and *Web of Science* databases was analyzed, using bibliometric tools with the R Studio software and the Bibliometrix package. The fungus species *Cordyceps fumosorosea*, *Beauveria bassiana* and *Hirsutella citriformis* were identified as the most relevant in recent years, showing good efficiency results. In addition, the countries that publish the most on this subject are also among the largest citrus producers. Studies performed under greenhouse and field conditions are still scarce, but necessary to validate the results obtained in the laboratory, as well as those that explore the mechanisms of action involved in the pathogenicity of fungi against *D. citri*, which are matters to consider in future assessments.

Keywords: Entomopathogenic fungi. *Diaphorina citri*. Greening. Biological control. Bibliometric analysis.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1	HUANGLONGBING (HLB) NA CITRICULTURA DO BRASIL	8
2.2	PSILÍDEO ASIÁTICO DOS CITROS (DIAPHORINA CITRI)	10
2.3	ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DO PSILÍDEO DOS CITROS.....	11
2.4	CONTROLE BIOLÓGICO APLICADO AO PSILÍDEO DOS CITROS	11
2.4.1	Fungos entomopatogênicos.....	12
3	METODOLOGIA	14
3.1	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	14
3.2	IDENTIFICAÇÃO DOS FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS DE MAIOR RELEVÂNCIA.....	15
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
5	CONCLUSÕES	30

1 INTRODUÇÃO

O psílídeo asiático dos citros, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), é uma das pragas dos citros de maior importância econômica em todo o mundo. É o principal vetor de bactérias restritas ao floema, *Candidatus liberibacter* spp., que são agentes causais da doença conhecida como Huanglongbing (HLB) ou *greening*, uma das doenças mais severas que acomete a cultura (BOVÉ, 2014). Sendo assim, o manejo populacional de *D. citri* é uma estratégia básica e, até o momento, a mais importante para evitar a disseminação da doença, considerando que não existem métodos curativos para o HLB (MALUTA; CASTRO; LOPES, 2022).

O manejo do inseto vetor tem sido realizado majoritariamente através do controle químico. No entanto, essa estratégia apresenta vários impactos negativos, como a contaminação ambiental e de alimentos, risco de contaminação dos trabalhadores, além da possibilidade de resistência da praga aos inseticidas (CHEN *et al.*, 2018; VANACLOCHA *et al.*, 2019). Tendo em vista esses efeitos indesejáveis dos agrotóxicos, a adoção do controle biológico tornou-se uma forma de manejo vantajosa, levando em conta que a utilização desta técnica para o controle de pragas e doenças das culturas de citros tem aumentado nos últimos anos, principalmente com o desenvolvimento de inseticidas à base de microrganismos, os quais podem ser aplicados via pulverização de forma intercalada ou em conjunto com outros tipos de manejos (WENDEL *et al.*, 2022).

Dentro desta estratégia, os fungos entomopatogênicos desempenham um papel particularmente importante. Além da eficácia e do custo acessível, existem várias outras vantagens associadas à utilização destes microrganismos, como a atividade inseticida de amplo espectro, gama diversificada de espécies, tipos metabólicos complexos, além de oferecerem níveis de segurança adequados para humanos e outros organismos não-alvo. Ademais, existem métodos fáceis para a produção em massa, sendo ainda improvável que ocorra o desenvolvimento de resistência do hospedeiro contra estes entomopatógenos (OU *et al.*, 2019).

Estudos realizados em condições de laboratório, casa de vegetação e campo com isolados de fungos entomopatogênicos tem demonstrado o potencial destes microrganismos para o controle de *D. citri*, apresentando altos níveis de patogenicidade contra o inseto, principalmente contra as ninfas, além de evidenciar que a adição de adjuvantes agrícolas na aplicação da suspensão dos fungos pode

melhorar a eficiência de controle também de adultos (KUMAR *et al.*, 2017; ARNOSTI *et al.*, 2019; AVERY *et al.*, 2021). Ademais, essas pesquisas tem destacado a necessidade de investigar as condições ambientais mais favoráveis e adversas para cada fungo, como temperatura, umidade relativa, radiação ultravioleta e outras práticas agrícolas adotadas, além de mostrar a importância do entendimento dos mecanismos de ação envolvidos nos processos metabólicos dos fungos entomopatogênicos que levam ao controle do inseto (AGUILA *et al.*, 2022b; PÉREZ-GONZÁLEZ; GOMEZ-FLORES; TAMEZ-GUERRA, 2022)

Tendo em vista o exposto acima, esta revisão tem como objetivo fornecer suporte e referência teórica a respeito de alternativas biológicas para o controle do psilídeo asiático dos citros, através da comparação de estudos e compilação de resultados sobre os fungos entomopatogênicos mais eficientes no controle do psilídeo, utilizando para isto ferramentas de bibliometria, visando identificar opções mais sustentáveis para o manejo da praga.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 HUANGLONGBING (HLB) NA CITRICULTURA DO BRASIL

A indústria citrícola é uma das atividades mais importantes do agronegócio brasileiro. O relatório sobre a citricultura mundial, emitido e divulgado pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA, 2023), mostra que no ano de 2022 o Brasil teve a liderança na produção de suco de laranja e da fruta *in natura*. No ano de 2021, a região Sudeste foi responsável por 83,7% de toda a produção nacional, sendo que 77,1% desta produção foi colhida apenas pelo Estado de São Paulo, segundo dados do IBGE (2021).

Apesar da posição de destaque, a produção de citros tem sido severamente afetada por problemas fitossanitários que podem causar perdas significativas e aumento nos custos de produção. De acordo com o Fundo de Defesa da Citricultura – Fundecitrus (2022), os números do encerramento da safra de 2021/22 foram 10,61% menor em comparação à projeção realizada inicialmente. Tal redução tem relação com condições climáticas adversas (seca), que prejudicou o crescimento dos frutos, e também com a queda prematura de frutos, sendo que as pragas e doenças representam o principal motivo de queda, particularmente o *greening*.

O *greening*, também conhecido como Huanglongbing (HLB), é uma das doenças mais severas das culturas de citros em todo o mundo, devido à gravidade dos sintomas, potencial de progressão da doença e suscetibilidade de praticamente todas as variedades comerciais de citros existentes. As plantas infectadas desenvolvem sintomas em que são observados presença de ramos com folhas amareladas, as quais se destacam do verde normal da copa. As folhas apresentam mosqueados, tons verde claros assimétricos no limbo foliar, amarelecimento das nervuras, que podem ser facilmente confundidos com deficiência de zinco e ferro. Com a progressão dos sintomas na copa, a planta apresenta redução do tamanho, as folhas caem e os ramos secam. Os frutos produzidos em ramos com sintomas são menores, deformados, apresentam assimetria da columela central, inversão das cores, alta taxas de sementes abortadas e queda prematura. O tempo necessário para manifestação dos sintomas pode variar dependendo da idade das plantas, da nutrição dos pomares e das condições ambientais (BOVÉ, 2006).

Nas Américas, essa doença foi detectada pela primeira vez em 2004, no Brasil, no município de Araraquara, Estado de São Paulo (COLETTA-FILHO *et al.*, 2004); e, posteriormente, em diversos países das Américas Central e do Norte, incluindo México e Estados Unidos (GOTTWALD, 2010), como foi o caso do Estado da Flórida, com a detecção da doença em 2005 (HALBERT, 2005). O HLB é causado por α -proteobactérias gram-negativas pertencentes ao gênero *Candidatus liberibacter*, sendo que três espécies são conhecidas: *Ca. L. asiaticus* (CLas), *Ca. L. africanus* (CLaf) e *Ca. L. americanus* (CLam) (JAGOUÉIX; BOVÉ; GARNIER, 1996; TEIXEIRA *et al.*, 2005). Os hospedeiros naturais dessas espécies são plantas da família Rutaceae (LOPES; MARTINS; FRARE, 2005, 2006). Essas bactérias são restritas ao floema e sua disseminação natural depende de insetos vetores sugadores de seiva, como os psílídeos, sendo o psílídeo asiático dos citros, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), considerado o mais importante vetor devido a sua ampla distribuição em regiões produtoras de citros na Ásia e nas Américas, onde são transmitidas as espécies CLas e CLam (BOVÉ, 2014).

'*Candidatus liberibacter* spp.' podem ser disseminadas através da propagação vegetativa de plantas infectadas, além da transmissão pelo psílídeo asiático dos citros, e a severidade da incidência do HLB é dependente da densidade populacional de *D. citri* e sua movimentação de plantas de citros infectadas para plantas não infectadas (MALUTA; CASTRO; LOPES, 2022). Essas fitobactérias tem estreita relação com as

espécies vetoras e são transmitidas de forma persistente-propagativa a novas plantas por meio da alimentação dos insetos, sendo adquiridas quando o insetoingere a seiva do floema da planta de citros infectada, e repassadas para plantas sadias através da saliva do psílideo pela sucção da seiva dessas plantas (AMMAR; SHATTERS; HALL, 2011; AMMAR *et al.*, 2016).

2.2 PSILÍDEO ASIÁTICO DOS CITROS (*DIAPHORINA CITRI*)

O psílideo *Diaphorina citri* provavelmente é uma espécie originária do continente asiático (CRAWFORD, 1917) e está distribuída em áreas tropicais e subtropicais da Ásia (Afeganistão, China, Hong Kong, Índia, Indonésia, Malásia, Myanmar, Nepal, Paquistão, Filipinas, Ilhas Ryukyu, Sri Lanka, Taiwan, Tailândia), no Oriente Médio (Arábia Saudita), na África (Ilhas Maurício e Reunião), na América do Sul (Argentina, Brasil, Uruguai e Venezuela), na América do Norte (Estados Unidos e México) e em várias regiões do Caribe (Bahamas, Ilhas Cayman, Jamaica, República Dominicana, Cuba, Porto Rico, Belize) e da América Central (HALBERT; NÚÑEZ, 2004; MEAD; FASULO, 2011; LOPES *et al.*, 2015). No Brasil, o primeiro relato de *D. citri* foi realizado por Costa Lima em 1942.

O desenvolvimento de *D. citri* ocorre preferencialmente em plantas da família Rutaceae. Os insetos se alojam principalmente em ramos novos, fator determinante para a ocorrência e o incremento populacional da praga. A planta *Murraya paniculata* (L.) Jack, conhecida popularmente como murta-de-cheiro, murta, murta-da-índia, murta-dos-jardins ou jasmim-laranja, é utilizada no Brasil em cemitérios, parques e jardins como cerca-viva ou com função ornamental e é um dos principais hospedeiros desse psílideo (LOPES *et al.*, 2015).

As fêmeas põem os ovos em brotações jovens com no máximo 2,0 cm de tamanho, sendo o número de ovos variável dependendo da temperatura, umidade e fotoperíodo. Uma fêmea pode colocar uma média de 800 ovos em condições ambientais favoráveis (temperatura de 28 ± 1 °C, umidade 75-80% e 13 h fotofase). Os ovos são de coloração amarelo alaranjado e medem cerca de 0,30 mm, sendo alongados em formato de pera, mais grossos na base. As ninfas passam por cinco instares e geralmente se agregam nas folhas, ramos jovens e gema axilar onde se alimentam da seiva. Como consequência da alimentação, as ninfas liberam uma secreção açucarada, conhecida como *honeydew* que favorece o crescimento de

fungos oportunistas como *Capnodium* sp. (denominado popularmente de fumagina) que reduz a taxa fotossintética e afeta a produtividade dos citros (TSAI; LIU, 2000; CONCESCHI, 2013). Os adultos recém-emergidos se concentram na parte abaxial da folha e, quando atingem a maturidade e reprodutividade, apresentam um comportamento dispersivo, saltando e voando pequenas distâncias (PADULLA, 2007). Eles medem de 2,0 a 3,0 mm de comprimento, possuem asas transparentes com bordas escuras e permanecem inclinados na folha ao ângulo de 45° (FUNDECITRUS, 2022).

2.3 ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DO PSILÍDEO DOS CITROS

Com a emergência do *greening* dos citros como uma das principais doenças que limitam a produção de citros em todo o mundo (BOVÉ, 2006), novas práticas e tecnologias tem surgido para o manejo do inseto vetor. O manejo regional, que é uma ação conjunta entre citricultores de uma mesma região, realizada simultaneamente, tem sido de grande importância para reduzir as infecções que ocorrem com a chegada de psilídeos infectivos que migram de outras áreas e se concentram nas primeiras plantas dos talhões localizados na divisa das propriedades (conhecidas como efeito de borda), iniciando novo foco da doença. Em função disso, são realizadas pulverizações intensivas nessas áreas (DORTA; MACHADO; ASTÚA, 2019).

Até o momento, o controle químico ainda é a principal estratégia de manejo do psilídeo. No entanto, o uso imprudente de agrotóxicos já causou e ainda causa desequilíbrio ao ecossistema, como a morte de abelhas evidenciada por Chen *et al.* (2017), danos a outros insetos benéficos e contaminação do solo e da água (RIBAS; MATSUMURA, 2009). Ainda, aplicações intensivas de produtos com o mesmo modo de ação podem levar à pressão de seleção de resistência do vetor (BOINA; BLOOMQUIST, 2015), a exemplo do desenvolvimento de resistência aos ingredientes ativos malathion e clorpirifós reportada no México (PARDO *et al.*, 2018). Por isso, métodos alternativos de manejo, como o controle biológico, têm sido gradualmente introduzidos (LUO *et al.*, 2022).

2.4 CONTROLE BIOLÓGICO APLICADO AO PSILÍDEO DOS CITROS

Nos últimos anos, tem sido cada vez mais crítico encontrar alternativas de controle de pragas e doenças que sejam viáveis e mais sustentáveis para reduzir o impacto negativo dos agrotóxicos utilizados nos cultivos agrícolas. Neste sentido, várias alternativas de manejo têm sido investigadas, sendo uma delas o controle biológico utilizando parasitoides naturais do inseto vetor. Essa ferramenta de biocontrole, que se tornou um dos pilares do manejo integrado utilizado contra *Diaphorina citri*, utiliza o parasitoide *Tamarixia radiata* (Waterson) (Hymenoptera: Eulophidae) (FLORES; CIOMPERLIK, 2017), sendo realizada a liberação desses agentes de controle em pomares abandonados e áreas não comerciais, como chácaras e quintais com plantas de citros ou murta, como alternativa ao controle químico (FUNDECITRUS, 2019).

Além dos parasitoides, como a *T. radiata*, outros inimigos naturais também foram reportados como potenciais para o controle biológico de *D. citri*, sendo alguns predadores generalistas, como besouros coccinelídeos, moscas-das-flores (sirfídeos), aranhas e larvas de crisopídeos (KISTNER *et al.* 2016); ácaros predadores, como *Neoseiulus cucumeris* e *Amblyseius herbicolus* (FANG *et al.* 2013, KALILE *et al.*, 2020); e entomopatógenos (MALUTA; CASTRO; LOPES, 2022).

Entre os entomopatógenos utilizados para o controle de insetos praga estão as bactérias, os vírus e os fungos, que geralmente são bastante específicos em relação a seus hospedeiros (QUIROZ *et al.*, 2019). Os fungos entomopatogênicos são importantes agentes de controle e tem desempenhado um papel fundamental no desenvolvimento de bioinseticidas. Além disso, pesquisas tem demonstrado que alguns fungos possuem ou desenvolveram mecanismos que lhes permitem sobreviver na presença de determinados ingredientes ativos existentes nos agrotóxicos (SZEWCZYK; KUS´MIERSKA; BERNAT, 2018; NOWAK *et al.*, 2019), evidenciando assim, a potencialidade de uso deste agente biológico em associação com outras formas de manejo.

2.4.1 Fungos entomopatogênicos

No Brasil, a utilização de fungos entomopatogênicos para a formulação de produtos destinados ao controle de pragas e doenças agrícolas tem aumentado à medida em que a população vem exigindo a produção de alimentos livre de agrotóxicos. Afinal, fungos entomopatogênicos são considerados ecologicamente

corretos e é improvável que induzam resistência em pragas-alvo ao evitar respostas humorais inatas, como tende a acontecer com alguns agrotóxicos (KANGA *et al.*, 2016; JIANG *et al.* 2020; CISNEROS *et al.*, 2022).

O mecanismo de ação dos fungos entomopatogênicos nos hospedeiros inicia com a infecção, ou seja, quando o esporo do fungo entra em contato com a cutícula do inseto e adere-se a ela utilizando moléculas sintetizadas conhecidas como adesinas (SOUZA, 2020). Estas moléculas podem ou não estar relacionadas com a virulência do fungo, considerando que linhagens de fungos como *Metarhizium anisopliae* que sintetizavam estas moléculas apresentaram maior virulência, porém, linhagens de *Beauveria bassiana* não apresentaram diferença significativa em relação a esse aspecto (ZHOU *et al.*, 2021). Após a adesão, é preciso haver condições favoráveis de temperatura e umidade para que ocorra a germinação. Ao germinar, o conídio produz um tubo germinativo que posteriormente forma um apressório, sendo a estrutura responsável pela penetração da cutícula, que a degrada através de enzimas e acessa a hemocele do inseto, extraindo, assim, nutrientes do hospedeiro (ORTIZ-URQUIZA; KEYHANI, 2013). Uma vez dentro da hemocele, o fungo encontra o sistema imunológico do hospedeiro e produz toxinas que possuem a função de suprimir a resposta humoral, além de realizar mudanças conformacionais na parede celular, evitando que o fungo seja reconhecido pelo sistema imune do inseto (MORA; CASTILHO; FRAGA, 2017).

Esses fungos são organismos de ocorrência natural, que podem induzir infecções letais em artrópodes, afetando uma ampla gama de insetos praga. São altamente específicos e representam riscos mínimos para insetos benéficos não-alvo (SKINNER *et al.* 2014), incluindo inimigos naturais, como predadores e parasitoides (ROSSONI *et al.* 2014, LACEY *et al.* 2015). Além disso, observou-se que a exposição de ninfas de *D. citri* a fungos entomopatogênicos diminuiu a deposição de ovos do ectoparasitoide *Tamarixia radiata*, presumivelmente para prevenir a emergência de larvas em um hospedeiro infectado (CHOW *et al.*, 2016). Esta observação, assim como as feitas em outros estudos, implica uma capacidade de insetos parasitas e predadores para identificar hospedeiros ou presas que foram infectados, limitando a taxa de mortalidade entre a população de parasitas/predadores (IBARRA-CORTÉS *et al.*, 2017; WENDEL *et al.*, 2022).

Alguns fungos entomopatogênicos são altamente patogênicos para pragas sugadoras de floema, como pulgões, tripes e cigarrinhas (ISLAM *et al.*, 2021). Muitas

espécies, incluindo *Hirsutella citriformis*, *Metarhizium anisopliae*, *Cordyceps bassiana*, *Beauveria bassiana*, *Cordyceps javanica*, *Cordyceps fumosorosea* (anteriormente *Isaria fumosorosea*) e *Clonostachys rosea*, são altamente patogênicas para *D. citri* (CRUZ *et al.*, 2015; AVERY *et al.*, 2021; YANG *et al.*, 2021).

No mundo, o controle de psilídeo dos citros por fungos entomopatogênicos vem despertando a atenção de pesquisadores, conforme exemplos da Tabela 1, em que são destacadas as pesquisas mais relevantes apenas do último ano (2022).

TABELA 1. DESCRIÇÃO DOS FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS QUE INFECTAM *D. CITRI* NO MUNDO.

Espécie fúngica	País	Referência
<i>Aspergillus fijiensis</i>	China	YAN <i>et al.</i> , 2022
<i>Beauveria bassiana</i>	Estados Unidos da América	WENDEL <i>et al.</i> , 2022
	Estados Unidos da América	CISNEROS <i>et al.</i> , 2022
	China	AGUILA <i>et al.</i> , 2022a
	China	AGUILA <i>et al.</i> , 2022b
<i>Cordyceps fumosorosea</i>	Estados Unidos da América	WENDEL <i>et al.</i> , 2022
	China	LUO <i>et al.</i> , 2022
	Brasil	MALUTA; CASTRO; LOPES, 2022
<i>Hirsutella citriformis</i>	México	GONZÁLEZ; FLORES; GUERRA, 2022
<i>Metarhizium anisopliae</i>	Estados Unidos da América	WENDEL <i>et al.</i> , 2022
<i>Metarhizium robertsii</i>	Estados Unidos da América	WENDEL <i>et al.</i> , 2022

FONTE: A autora (2023).

Os estudos desses microrganismos têm contribuído em muito para o desenvolvimento de novos micoinseticidas (CONCESCHI, 2013). Em 2018, foi lançado no Brasil um bioinseticida à base de *Cordyceps fumosorosea* (anteriormente *Isaria fumosorosea*) (Hypocreales: Cordycipitaceae), após formulações do fungo terem demonstrado grande eficiência no controle de *D. citri* (AUSIQUE *et al.*, 2017).

3 METODOLOGIA

3.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Para a análise bibliométrica foi realizada uma busca por trabalhos científicos publicados relacionados ao controle biológico do psilídeo asiático dos citros por fungos entomopatogênicos. A obtenção destas informações foi feita no período de fevereiro a abril de 2023 através das bases de dados *Web of Science* e *Scopus*, acessadas a partir dos Periódicos da Capes. A análise sistemática se deu, primeiramente, por meio da definição do período a ser abordado, sendo utilizadas pesquisas publicadas nos últimos 10 anos. Em seguida, foram definidos outros critérios de inclusão: trabalhos publicados no idioma inglês, classificação Qualis de A1 e A2, utilizando documentos dos tipos artigo, artigo de revisão e capítulo de livro.

Para a busca sistemática na base de dados mencionada, foram utilizados como descritores termos em inglês acrescidos dos operadores booleanos “AND” e “OR”. Sendo assim, a busca utilizando os descritores, os operadores booleanos, e a configuração exigida pelas bases, ficou da seguinte forma:

- *Web of Science*: TS=("Diaphorina citri" AND "Isaria" OR "Cordyceps" OR "Metarhizium" OR "Beauveria" OR "Hirsutella" OR "entomopathogenic")
- *Scopus*: TITLE-ABS-KEY ("Diaphorina citri" AND "Isaria" OR "Cordyceps" OR "Metarhizium" OR "Beauveria" OR "Hirsutella" OR "entomopathogenic")

Em seguida, os dados referentes às publicações, foram exportados da plataforma e tratados utilizando o *software* Excel, o *software* R versão 4.2.2 e *R studio* e o pacote Bibliometrix, através da interface *Biblioshiny*, para então serem tabelados e discutidos.

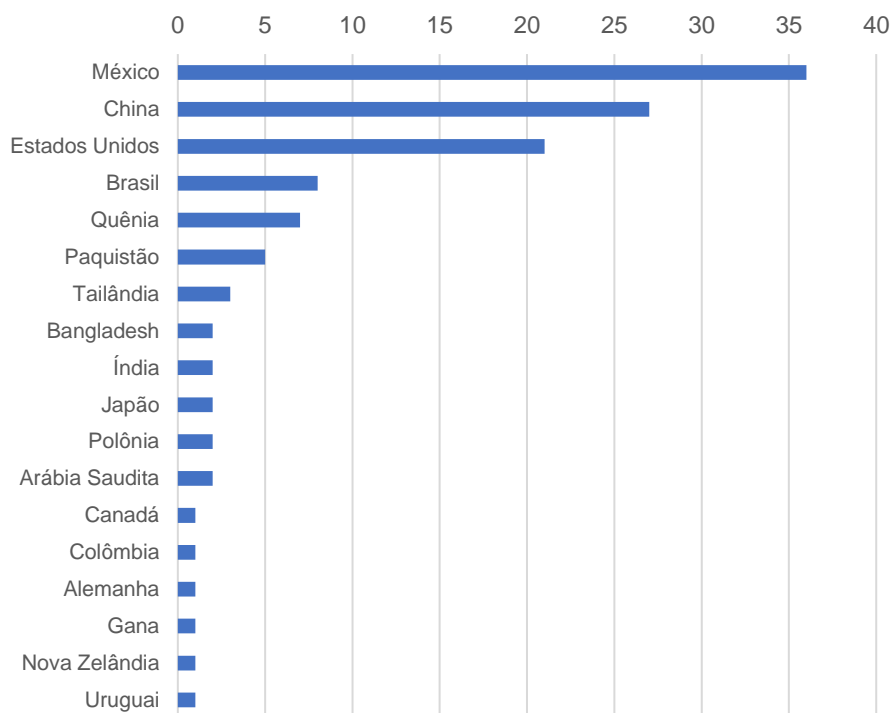
3.2 IDENTIFICAÇÃO DOS FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS DE MAIOR RELEVÂNCIA

Através da utilização do *software* *R studio* e do pacote Bibliometrix, por meio da análise de ocorrência de termos, foi possível a identificação de palavras-chave de espécies de fungos entomopatogênicos, bem como a quantificação da ocorrência dessas palavras, possibilitando avaliar a relevância de cada fungo utilizado para o controle do psilídeo, conforme Aria e Cuccurullo (2017).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise da base de dados *Web of Science*, foram encontradas 109 pesquisas publicadas abordando sobre o controle biológico de psilídeo dos citros através de microrganismos. Após o recorte temporal dos últimos 10 anos, 95 pesquisas foram obtidas (excluindo-se duas publicações do tipo “correção”). Em relação à distribuição por países, pôde-se notar que os quatro países com maior número de publicações foram: México, com 36 publicações; China, com 27; Estados Unidos, com 21; e Brasil, com 8 publicações, conforme pode ser visto no Gráfico 1.

GRÁFICO 1. DISTRIBUIÇÃO DE PUBLICAÇÕES POR PAÍS NA BASE DE DADOS *Web of Science*

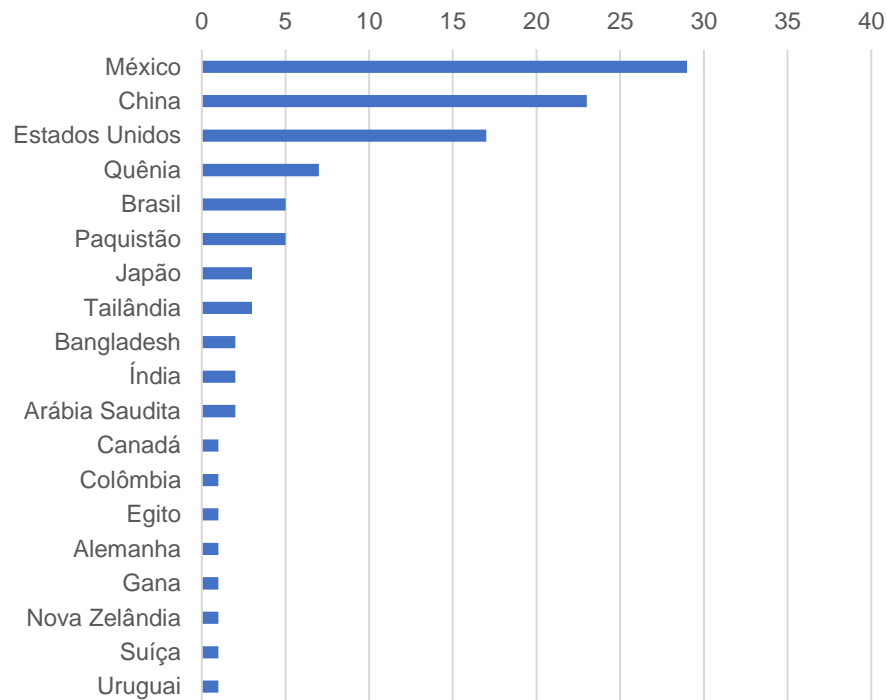


FONTE: A autora (2023).

Em relação à análise da base de dados *Scopus*, foram encontradas 92 pesquisas. Após o recorte temporal de 10 anos, 77 pesquisas foram obtidas (excluindo-se duas publicações do tipo “correção”). Sobre a distribuição por países, pôde-se notar que os quatro países com maior número de publicações foram: México, com 29 publicações; China, com 23; Estados Unidos, com 17; e Quênia, com 7 publicações, conforme pode ser visto no Gráfico 2. É importante ressaltar que há

alguns resultados obtidos em ambas as bases (são os mesmos trabalhos) e alguns resultados que são diferentes entre as bases.

GRÁFICO 2. DISTRIBUIÇÃO DE PUBLICAÇÕES POR PAÍS NA BASE DE DADOS *Scopus*



FONTE: A autora (2023).

Entre as pesquisas obtidas pela bibliometria, foram analisadas as que atendiam ao critério de publicação em periódicos com classificação Qualis A1 e A2, excluindo-se os trabalhos duplicados e os que não tratavam especificamente de controle do psilídeo através de fungos entomopatogênicos, totalizando 53 trabalhos utilizados para a síntese qualitativa desta revisão. Além disso, com base no número de ocorrências das espécies de fungos entomopatogênicos utilizados para o controle de *Diaphorina citri*, observa-se na Tabela 2 as espécies com maior relevância, segundo a bibliografia analisada.

TABELA 2. NÚMERO DE OCORRÊNCIA DAS ESPÉCIES DE FUNGOS ENTOMOPATOGÊNICOS UTILIZADOS PARA CONTROLE DE *D. CITRI*.

Espécie fúngica	Ocorrência (número)
-----------------	---------------------

<i>Cordyceps (Isaria) fumosorosea</i>	23
<i>Beauveria bassiana</i>	19
<i>Hirsutella citriformis</i>	11
<i>Metarhizium anisopliae</i>	9
<i>Cordyceps javanica</i>	5
<i>Lecanicillium sp.</i>	2
<i>Aspergillus fijiensis</i>	1
<i>Clonostachys rosea</i>	1
<i>Metarhizium sp.</i>	2

FONTE: A autora (2023).

Com base nos dados obtidos através da análise bibliométrica, foi possível observar que as espécies de fungos entomopatogênicos mais utilizados no controle biológico foram *Cordyceps fumosorosea*, *Beauveria bassiana* e *Hirsutella citriformis*, sendo duas dessas espécies já consolidadas e formuladas comercialmente para o controle de variados artrópodes (*C. fumosorosea* e *B. bassiana*) que são causadores de danos ou vetores de doenças, como ácaros, pulgões, cochonilhas, moscas brancas, tripses, mineradoras de folhas, psílídeos e lagartas (QUIROZ *et al.*, 2019). Além desses, outros agentes de biocontrole foram indicados, demonstrando que pesquisas sobre esse assunto são importantes para a obtenção de um número maior de opções para o controle de pragas agrícolas, buscando identificar o potencial da patogenicidade das espécies e sua eficiência em condições de campo através das formulações mais viáveis.

Um importante fator a ser considerado é a interação entre a infecção de *D. citri* por fungos entomopatogênicos e a presença de *Candidatus liberibacter* no organismo do inseto. Foi demonstrado, em condições de laboratório, por Orduño-Cruz, Guzmán-Franco e Rodríguez-Leyva (2015), que indivíduos de *D. citri* portadores de *Candidatus liberibacter asiaticus* foram mais suscetíveis à infecção fúngica, por isolados das espécies *Beauveria bassiana*, *Cordyceps fumosorosea* e *Metarhizium anisopliae*, do que indivíduos livres de CLAs. Esse resultado foi consistente para os três isolados testados, apesar de terem demonstrado diferentes níveis de virulência contra adultos de *D. citri*. Os autores consideraram que a extração de nutrientes do inseto pela bactéria prejudica e interrompe a fisiologia geral do inseto, e, como consequência, o inseto pode alocar menos energia para se defender contra a infecção fúngica.

Segundo a análise bibliométrica, a espécie *Cordyceps fumosorosea* foi a mais citada, estando presente em 23 trabalhos avaliados, o que pode estar associado ao fato deste fungo ter demonstrado maior patogenicidade e viabilidade ao longo do tempo. Luo *et al.* (2022) avaliaram a eficiência de *C. fumosorosea* em condições de laboratório e casa de vegetação, obtendo resultados que demonstraram alta patogenicidade contra *D. citri*, sendo as ninfas mais suscetíveis ao ataque do fungo, com taxa de mortalidade de 100% após três dias da aplicação, em uma concentração de 1×10^7 conídios/mL. Além disso, observaram a redução da emergência de adultos e da taxa de longevidade de fêmeas. Assim como no estudo de Morales-Reyes *et al.* (2018), em condições de laboratório, em que insetos expostos a 10^7 propágulos/mL de conídios e de blastosporos morreram em seis dias, estando a uma temperatura de 25°C. Em casa de vegetação, o tratamento com blastosporos reduziu as populações de *D. citri* em cerca de 60% após 21 dias. Em outro estudo, Corrêa *et al.* (2020) selecionaram isolados de *C. fumosorosea* para produção de blastosporos e avaliação da tolerância à dessecação, obtendo concentrações de blastosporos acima de 1×10^9 esporos/mL, com taxas de viabilidade acima de 75% após a secagem.

Em relação aos efeitos na atividade de alimentação de *D. citri*, Maluta Castro e Lopes (2022) observaram, através da técnica do gráfico de penetração elétrica, atividades de sucção do psilídeo, entre 30 a 96 horas após aplicação de *C. fumosorosea*, utilizando um produto formulado já distribuído comercialmente no Brasil: *Challenger*. Os autores verificaram significativa interrupção das atividades do estilete do psilídeo, principalmente nos vasos do floema. Em outro estudo, Qasim *et al.* (2021) focaram na atividade enzimática e na expressão de genes relacionados à desintoxicação em adultos e ninfas de psilídeo dos citros sob o estresse do fungo *C. fumosorosea*. No geral, a atividade de quatro enzimas diminuiu significativamente, enquanto a atividade da enzima catalase aumentou, em diferentes momentos. Da mesma forma, a expressão de diferentes genes relacionados à resistência a inseticidas diminuiu substancialmente. Essa regulação de genes e de enzimas provocou uma deterioração no sistema de defesa das populações de psilídeos tratadas. Ainda, Keppanan *et al.* (2018) avaliaram uma toxina produzida por *C. fumosorosea* e o nível de toxicidade desta substância a *D. citri*, sendo testada em concentrações de 1, 2 e 3%, obtendo-se a maior taxa de mortalidade com a concentração de 3% mg/L, 120 horas após a aplicação, reduzindo mais de 80% da população do inseto.

Considerando que os psílídeos adultos possuem uma movimentação mais ativa do que as ninfas, é preciso maior eficiência de aplicação para conseguir atingi-los. Ademais, como a infecção por fungos entomopatogênicos requer contato cuticular com a praga, sua eficácia pode ser potencializada com o uso de outros defensivos agrícolas, como adjuvantes e outros óleos para garantir melhor homogeneidade em suspensão e dispersão de propágulos. Referente a isso, Arnosti *et al.* (2019) avaliaram os efeitos de adjuvantes sobre a adesão de *C. fumosorosea* nos psílídeos, em laboratório. Analisando através de microscopia eletrônica de varredura, os autores observaram que o fungo aderiu predominantemente na região ventral posterior (abdômen) em comparação com a região dorsal anterior (tórax). Ainda, Kumar *et al.* (2017) realizaram um teste de eficiência em laboratório, em que tratamentos mistos de *C. fumosorosea* com óleos de petróleo tiveram melhor desempenho do que o fungo sozinho contra *D. citri*, em que o maior tempo médio de sobrevivência de *D. citri* foi uma média de 12 dias. Anteriormente, Avery *et al.* (2013) avaliaram a compatibilidade de blastosporos de *C. fumosorosea* com uma variedade de óleos e fungicidas à base de cobre, obtendo um crescimento *in vitro* de *C. fumosorosea* reduzido, menos por materiais à base de petróleo e mais por óleos botânicos, bórax, e alguns dos fungicidas à base de cobre, sugerindo que a mistura em tanque do fungo com esses últimos produtos deve ser evitada.

Um outro desafio referente ao controle do psílídeo dos citros e do *greening* diz respeito a áreas residenciais, onde não é possível a aplicação de agrotóxicos, e pomares abandonados, em que não se realiza nenhum tipo de manejo. Tendo isso em vista, Patt *et al.* (2015) desenvolveram um autodisseminador (“dispensador”) para inocular entomopatógenos nessas áreas com o objetivo de induzir epizootias. Em um teste em casa de vegetação com *C. fumosorosea*, verificaram que uma média de 55% dos adultos de *D. citri* desenvolveu micose (esporulação), e quando cadáveres adultos esporulados com conídios maduros foram colocados perto de imaturos nos vasos de plantas, mais de 90% dos psílídeos imaturos apresentaram micose. Corroborando com esses resultados, o estudo de Chow *et al.* (2018), utilizando dispensadores com *C. fumosorosea*, apresentou uma redução da reprodução média de *D. citri* em 90%, e a intensidade média de ataque de adultos em 76% e de ninfas em 82%. Além disso, no que diz respeito à persistência do fungo na área, Pick *et al.* (2022) verificaram que é possível que propágulos de *C. fumosorosea* possam ser transferidos entre plantas por fatores bióticos (através de outros insetos, por exemplo), considerando ainda o

próprio psílídeo, quando as hifas fúngicas crescem através dos tarsos e se ligam às folhas das plantas. Em seu teste de persistência do fungo em campo, obtiveram resultados demonstrando que *C. fumosorosea* persistiu por pelo menos 35 dias e causou até 40% de mortalidade de adultos de *D. citri*.

Entre os estudos apresentados pela bibliometria, um outro entomopatógeno muito utilizado em pesquisas foi o fungo *Beauveria bassiana*, presente em 19 trabalhos avaliados, que tem demonstrado resultados similares a *C. fumosorosea* em relação à patogenicidade e à eficiência de controle contra *D. citri*. Evidenciando esse aspecto, Wendel *et al.* (2022), através de um estudo realizado em condições de laboratório, nos Estados Unidos, avaliaram formulações diferentes de fungos entomopatogênicos e selecionaram um isolado de *C. fumosorosea* e um de *B. bassiana*, considerando a eficiência de controle de *D. citri*, disponibilidade comercial do produto, registro (ou possibilidade de registro) do formulado no país e perspectivas de mercado. Assim como Ausique *et al.* (2017) avaliaram um isolado de *C. fumosoroesa* e outro de *B. bassiana*, que apresentaram taxas de mortalidade de psílídeo dos citros de 77,8 e 78,4%, respectivamente, em condições de laboratório; e 80,6 e 83,5%, respectivamente, em semicampo (plantas cultivadas no solo em condições semi controladas). Em campo, aplicações mensais durante um ano em um pomar comercial de citros, a taxa de mortalidade variou de 57,8 a 96,1% ao longo desse tempo. Esse nível de mortalidade tendeu a aumentar com o aumento da umidade relativa máxima e a porcentagem de cadáveres esporulados foi negativamente associada com temperaturas máximas.

Anteriormente, Conceschi *et al.* (2016) avaliaram a transmissão horizontal de *B. bassiana* e de *C. fumosorosea* entre cadáveres de *D. citri* e *D. citri* adultos não infectados, bem como entre cadáveres de *Toxoptera citricida* (pulgão preto dos citros) e adultos não infectados de *D. citri*, sob condições de laboratório e semicampo. Em laboratório, cadáveres de *D. citri* infectados com *B. bassiana* e *C. fumosorosea* em plantas de citros resultou em taxas de mortalidade de adultos de *D. citri* variando de 51,2 a 81,9% e 36,2 a 68%, respectivamente. Quando cadáveres de *T. citricida* foram usados, as taxas de mortalidade de adultos não infectados de *D. citri* variaram de 35,4 a 87,7 % com *B. bassiana* e de 41,7 a 80,4 % com *C. fumosorosea*. Em condições de semicampo, a transmissão horizontal também foi confirmada, porém, com menores taxas de mortalidade de adultos de *D. citri* em comparação com os ensaios de laboratório, o que pode ter sido causado pelo maior tamanho das unidades

experimentais utilizadas no campo, pelas condições ambientais e pelas maiores temperaturas, variação de umidade, vento e chuva. No estudo de Gandarilla-Pacheco *et al.* (2013), ninfas de *D. citri* pulverizadas com suspensão de *C. fumosorosea* apresentaram maior mortalidade (84,2%), enquanto que as ninfas pulverizadas com *B. bassiana* apresentaram maior desenvolvimento de micose.

Posteriormente, em condições de laboratório, Cisneros *et al.* (2022) identificaram e avaliaram dois isolados de *Beauveria bassiana*, através de duas formas de aplicação, sedo pulverização direta nos insetos e exposição de adultos do psíldeo em folhagem pulverizada. Os isolados apresentaram taxa de mortalidade de aproximadamente 70% com aplicação via pulverização direta, em uma concentração de 1×10^8 conídios/mL, e mortalidade de 60 a 73% através da exposição dos adultos à folhagem pulverizada, em uma concentração de 3×10^8 conídios/mL, o que superou o controle alcançado pela testemunha do experimento: um isolado de *C. fumosorosea* já utilizado comercialmente nos Estados Unidos. Ainda, os isolados de *B. bassiana* apresentaram maiores taxas de crescimento em temperaturas maiores em comparação com o isolado da testemunha, quando da verificação do perfil térmico. Já no estudo de Cruz-Cruz *et al.* (2020), o isolado mais patogênico de *B. bassiana* apresentou uma taxa de mortalidade contra *D. citri* de 58%, em condições de laboratório.

Considerando a persistência do fungo na área, Bamisile *et al.* (2019) desenvolveram um teste em casa de vegetação, em que mudas de citros aos quatro meses após o plantio foram inoculadas com um isolado de *B. bassiana* por meio de pulverização foliar, que manteve a colonização das mudas por até 12 semanas. A aplicação resultou uma taxa de sobrevivência dos psíldeos de apenas 2% após oito dias do tratamento. Além disso, fêmeas de *D. citri* alimentando-se dessas plantas depositaram menos ovos em comparação com aquelas que se alimentaram de mudas livres de endófitos.

Outro fungo entomopatogênico que obteve destaque nos resultados da bibliometria, estando entre os três mais utilizados para o controle de *D. citri*, segundo a análise, foi o fungo *Hirsutella citriformis*, o qual não foi detectado no Brasil, estando associado ao psíldeo dos citros principalmente no México. Segundo Pérez-González, Gomez-Flores e Tamez-Guerra (2022), é um fungo que precisa de maior período de infecção para causar a morte do inseto, comparado a outros fungos entomopatogênicos, além do modo de ação dos metabólitos secundários sobre *D. citri*

ainda ser desconhecido. Ainda assim, tem apresentado resultados de manejo similares ao controle promovido por *B. bassiana*. Tal panorama pode ser fundamentado pelo estudo de Cortez-Madrigal *et al.* (2014), a partir do qual os autores avaliaram a patogenicidade e a atividade enzimática contra *D. citri* de isolados de *B. bassiana* e de *Hirsutella citriformis*, obtendo uma taxa de mortalidade dos insetos acima de 90% para os dois fungos. Os autores observaram ampla variabilidade na produção de enzimas, principalmente proteases, que são mais comumente associadas a isolados virulentos de fungos entomopatogênicos. Com base na patogenicidade, verificaram maior potencial de manejo de *D. citri* através de *B. bassiana*, e em relação à produção de enzimas, o maior potencial foi verificado através de *H. citriformis*.

Em condições de laboratório, Pérez-González *et al.* (2015) avaliaram o crescimento e a conidição de isolados de *H. citriformis*, bem como a virulência dos conídios em adultos e ninfas de psílideos. Observaram mortalidade dos insetos a partir de seis dias após a aplicação, sendo que a taxa de mortalidade de insetos adultos para os isolados mais patogênicos foi de 85,6 a 88,1%, enquanto a de ninfas foi de 50,5 a 81,7%, além da esporulação dos isolados nos insetos ter sido observada a partir de 10 dias após a aplicação. Já no estudo de Ibarra-Cortés, González-Hernández e Guzmán-Franco (2017), avaliando a suscetibilidade de ninfas e adultos de *D. citri* à infecção por *H. citriformis* em laboratório, os autores verificaram que as ninfas foram mais suscetíveis do que os adultos e que adultos contaminados com conídios do fungo não foram capazes de transmitir a infecção às ninfas. Em condições de semicampo, a infectividade conidial de isolados mexicanos de *H. citriformis* foi avaliada contra adultos de *D. citri* e os isolados mais patogênicos apresentaram taxas de mortalidade de 50,6% a 51,05% (Pérez-González; Sandoval-Coronado; Maldonado-Blanco, 2016).

Em um teste de campo comparando a patogenicidade entre isolados de *H. citriformis*, a infectividade de conídios contra adultos de *D. citri* por contato foi avaliada por Pérez-González *et al.* (2020). Os tratamentos aplicados na parte aérea dos citros permaneceram ensacados no campo 21 dias após a aplicação e todos os isolados apresentaram patogenicidade para o psílideo, sendo que o isolado que apresentou a maior taxa de mortalidade (74,1%) também foi o que apresentou a maior porcentagem de esporulação (71,1%) no inseto.

Há que se considerar que diferenças na taxa de mortalidade podem ser causadas pela variabilidade genética dos isolados avaliados. Em condições de laboratório, Cruz-Juárez *et al.* (2018) expuseram um isolado de *H. citriformis* a diferentes concentrações de etil metano sulfonato para obter mutantes com melhor produção e germinação de conídios, visando ainda manter a virulência contra *D. citri*. A taxa de mortalidade alcançada por isolados mutantes e selvagens foi de 100% e 94,4%, respectivamente, em 12 dias. A esporulação em adultos do psílideo foi de 60,5% e 73,4% por isolados selvagens e mutantes, respectivamente. Posteriormente, em condições de laboratório, a viabilidade e a patogenicidade de conídios de *H. citriformis* foram avaliadas por Pérez-González, Maldonado-Blanco e Valdes-Gonzalez (2019), considerando o cultivo em meio de cultura BDA (ágar-batata-dextrose) ou arroz. Os conídios cultivados em ambos os meios apresentaram patogenicidade aos psíldeos adultos, que foram mortos a partir de seis dias após a exposição aos conídios, sendo que o cultivo em arroz possibilitou aumentar a produção de conídios com menor tempo total de processamento.

Seguindo os resultados da análise bibliométrica, o quarto fungo entomopatogênico utilizado para o manejo do psílideo dos citros foi o fungo *Metarhizium anisopliae*. Apesar de ser um entomopatógeno já consolidado entre os utilizados para o controle biológico de pragas em geral, apresentou menor expressividade comparado ao fungo *H. citriformis* entre as pesquisas referentes à praga em questão nos últimos anos. Em algumas pesquisas que realizaram a comparação da patogenicidade de diferentes fungos, a eficiência de *M. anisopliae* foi superada pelos demais, como por fungos do gênero *Cordyceps*. No entanto, em outros estudos o entomopatógeno demonstrou boa eficiência, comparando-se aos outros fungos discutidos anteriormente.

Rosas-García *et al.* (2018a) testaram a atividade biológica de isolados de *Metarhizium anisopliae* juntamente com óleos essenciais, pulverizados em adultos de *D. citri* alimentados com ramos de laranjeira em testes de laboratório. Resultados mostraram que o isolado mais patogênico alcançou uma taxa de mortalidade de 77%. Em campo, a combinação deste isolado de *M. anisopliae* com óleo essencial de Cipreste obteve mortalidade de 56,73%. Além do teste de patogenicidade, Rosas-García *et al.* (2018b) analisaram a ativação de isoformas do gene da proteína Pr1 de *M. anisopliae* durante o processo patogênico em adultos de psílideo. Tal proteína é, provavelmente, a principal enzima envolvida na degradação da cutícula e na

penetração do fungo no hospedeiro. Os insetos foram infectados com uma suspensão de conídios e mantidos em ramos de *Murraya paniculata* por sete dias. A atividade das isoformas foi detectada por RT-PCR e os resultados indicaram que algumas isoformas provavelmente são ativadas pelo processo infeccioso.

Além de *M. anisopliae*, outras espécies de *Metarhizium* apareceram entre os resultados da bibliometria. No teste de patogenicidade contra *D. citri* de Gandarilla-Pacheco *et al.* (2013) estavam dois isolados de *Metarhizium brunneum*, que apresentaram taxas de mortalidade de 49,6% e 74,6%, além de nenhuma ou pouca esporulação nas ninfas, respectivamente, sendo a eficiência destes isolados superada por outros fungos utilizados na pesquisa (*C. fumosorosea* e *B. bassiana*). Já Wendel *et al.* (2022) utilizaram um isolado de *M. robertsii* em seu teste de eficiência desenvolvido em laboratório, que era o principal candidato em um programa de desenvolvimento de micoinseticidas nos Estados Unidos e que apresentou boa eficiência, tendo sido selecionado pelos autores para a realização de outras pesquisas com *D. citri*.

É preciso considerar que fatores abióticos como luz, umidade e temperatura afetam a estabilidade e persistência de fungos entomopatogênicos. Especificamente, a temperatura pode afetar a germinação e o crescimento. Orduño-Cruz *et al.* (2015a) avaliaram em laboratório isolados fúngicos de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Cordyceps fumosorosea* e *Hirsutella citriformis* quanto ao crescimento *in vitro*, germinação (após diferentes tempos de incubação) e esporulação, em quatro temperaturas: 20, 25, 30 e 35 °C. Os autores observaram que os isolados de *H. citriformis* obtiveram menor crescimento, taxa de germinação e esporulação em comparação com os outros fungos, não sendo considerados competitivos na avaliação *in vitro*. A partir da avaliação *in vivo*, utilizando suspensões de conídios, isolados selecionados de todos os fungos causaram mortalidades acima de 80% em adultos de *D. citri*, exceto *H. citriformis*, que causou no máximo 40% de mortalidade. No entanto, a mortalidade causada por suspensões de blastosporos de *H. citriformis* foi de 60%, e através de conídios secos, *H. citriformis* e *M. anisopliae* causaram 100% de mortalidade (Orduño-Cruz *et al.*, 2015b). Esses resultados podem sugerir que a utilização de uma combinação de abordagens de controle biológico, tanto inundativo (usando isolados em suspensão) quanto inoculativo (usando isolados como conídios secos em dispositivos de autoinoculação), poderiam apresentar bom potencial de controle.

Dentre os fungos entomopatogênicos com menor expressividade para o manejo de *D. citri*, de acordo com a análise bibliométrica, estão *Cordyceps javanica*, *Lecanicillium* sp., *Aspergillus fijiensis* e *Clonostachys rosea*. O fungo *C. javanica* teve sua eficiência avaliada em cinco estudos. Hussain *et al.* (2021), utilizando microscopia eletrônica de varredura verificaram que os estágios do processo de infecção por *C. javanica* incluem a aderência de esporos e formação de tubo germinativo dentro de 24 horas após inoculação, pinos de penetração e crescimento de micélio nas asas dos psílídeos após 72 horas, ruptura da cutícula após 96 horas e massa micelial colonizando o corpo do hospedeiro após 144 horas. Em condições de laboratório, realizando tratamento com blastosporos, a taxa de mortalidade atingiu 100% em sete dias após a exposição a uma concentração de 1×10^7 esporos/mL. Já Mellín-Rosas *et al.* (2016), utilizando suspensão de conídios a uma concentração de 1×10^7 conídios/mL, verificaram que um isolado de *C. javanica* alcançou uma taxa de mortalidade de até 95% de ninfas e adultos de psílídeos, após 13 dias do tratamento.

Ainda em condições de laboratório, Awan *et al.* (2021a) verificaram que um isolado de *C. javanica* foi efetivo em relação a virulência, apresentando taxa de mortalidade entre 70 e 75% em uma concentração de 1×10^7 conídios/mL, após sete dias de exposição. Além disso, testaram uma nova formulação dos conídios com óleo de gergelim, que aumentou a vida de prateleira (porcentagem de viabilidade) em 16 semanas. A formulação também melhorou a virulência, alcançando uma taxa de mortalidade de psílídeos de 100% após sete dias de exposição, na mesma concentração. Nesse sentido, visando o aumento da viabilidade dos isolados, Awan *et al.* (2021b), utilizando desta vez outro fungo entomopatogênico (*B. bassiana*), verificaram que a formulação de conídios preparada com o óleo de gergelim novamente resultou em aprimoramento da vida de prateleira, da virulência e da tolerância a estresse térmico, em comparação com conídios não formulados. Já em condições de campo, Avery *et al.* (2021) compararam a eficiência de tratamentos com *C. javanica* (isoladamente), *C. javanica* em mistura com óleo mineral, e agrotóxico já comercializado para controle de *D. citri* em mistura com o mesmo óleo. Os resultados mostraram que *C. javanica*, sozinha e com óleo, foi capaz de suprimir a população de psílídeo em 60 a 83%, até 14 dias após o tratamento, e foi compatível com inimigos naturais encontrados no local, principalmente joaninhas.

Sobre o gênero *Lecanicillium*, avaliando diferentes espécies, Lu *et al.* (2015) realizaram testes em laboratório e em casa de vegetação, em que as taxas de

mortalidade de adultos de *D. citri* alcançaram 100% aos sete dias após a inoculação da suspensão da espécie *L. attenuatum* e de uma espécie não identificada, enquanto que pela espécie *L. psalliotae* a mortalidade completa ocorreu aos seis dias após a inoculação, sendo todas as suspensões em concentração de $1,0 \times 10^8$ conídios/mL, sob condições de 25° C de temperatura e umidade relativa de 90%, em laboratório. Nas mesmas condições em casa de vegetação com mudas de murta (*Murraya paniculata*), as taxas de mortalidade causadas pelos mesmos isolados foram de 92,55%, 100% e 100%, respectivamente, aos nove dias após a inoculação. Keppanan *et al.* (2019) verificaram que um metabólito secundário produzido por *Lecanicillium lecanii*, que é tóxico a *D. citri*, pode estar envolvido no processo externo de formação do apressório na cutícula do inseto e no processo da penetração do fungo no hospedeiro. O teste de toxicidade do metabólito em uma concentração de 3% apresentou a maior taxa de mortalidade (85%) 120 horas após a aplicação do tratamento.

Em relação à utilização de *Aspergillus fijiensis*, apenas um trabalho foi encontrado. Em laboratório, para todos os íntares das ninfas do psilídeo, o fungo apresentou mortalidade maior que 70%, após sete dias da aplicação em uma concentração de 1×10^8 conídios/mL. Em condições de casa de vegetação, a eficiência foi menor do que a obtida em laboratório, provavelmente em função das condições ambientais (YAN *et al.*, 2022). Alguns metabólitos secundários produzidos por este fungo, como as aflatoxinas, são conhecidos por serem tóxicos e carcinogênicos, riscos potenciais que devem ser considerados ao se estudar a possibilidade de utilização deste fungo para o controle biológico de pragas. O isolado avaliado pelo estudo foi identificado como não produtor das aflatoxinas, porém a segurança em relação a humanos, animais e outros organismos não-alvo não é conhecida, sendo necessária a averiguação dessas questões, além de verificar os possíveis impactos no ambiente antes de se realizar um estudo de eficiência de controle de *D. citri* a campo.

Para *Clonostachys rosea* também foi encontrado apenas uma pesquisa. Yang *et al.* (2021) testaram a patogenicidade de *C. rosea* contra adultos de *D. citri* em laboratório e a maior taxa de mortalidade foi de 46,67%, quando os insetos foram tratados com uma suspensão de esporos de 1×10^8 conídios/mL. Foi analisada a expressão gênica dos psilídeos identificada cinco dias após a inoculação, e genes envolvidos na resposta imune e apoptose, além de genes que codificam proteínas da cutícula, estavam entre os genes diferencialmente expressos. Os resultados

indicaram que a patogenicidade de *C. rosea* contra adultos de *D. citri* ocorreu provavelmente através da penetração na cutícula, suprimindo a resposta imune do hospedeiro e iniciando a apoptose.

Considerando ainda outras estratégias de controle biológico do psíldeo dos citros, é fundamental considerar a interação dos fungos entomopatogênicos com outros inimigos naturais, como o parasitoide *Tamarixia radiata*, que é muito utilizado em pomares em que o controle químico é reduzido ou inexistente. Em relação a esse aspecto, Ibarra-Cortés *et al.* (2017) estudaram o efeito da interação entre os fungos *B. bassiana* e *M. anisopliae* e o parasitoide *T. radiata* em ninfas de *D. citri*, em condições de laboratório, e verificaram que a maior emergência de adultos de parasitoides foi obtida quando os fungos foram aplicados em ninfas de *D. citri* portadoras de pupas do parasitoide, em comparação com ninfas portadoras de ovos ou larvas. A hipótese é que, quando ninfas portadoras de larvas foram inoculadas com fungos, esse processo de acúmulo de energia nas larvas do parasitoide foi afetado negativamente, talvez devido à necessidade de alocar mais energia para superar a infecção do que para estabelecer reservas para a pupação, o que pode ter afetado negativamente o desenvolvimento geral e levado a adultos de *T. radiata* com longevidade reduzida.

O mesmo foi encontrado anteriormente por Chow *et al.* (2016), em seu estudo com *C. fumosorosea*, em que a emergência do parasitoide não foi afetada quando ninfas contendo pupas de *T. radiata* (nove dias após o parasitismo) foram cobertas com uma formulação e colonizadas por hifas fúngicas. Os autores também observaram que fêmeas do parasitoide ovipositaram em hospedeiros já infectados com o fungo sem hifas visíveis, mas não em hospedeiros com hifas visíveis. Mais recentemente, Aguila *et al.* (2021) também observaram essa interação negativa entre *T. radiata* e *B. bassiana*, quando a suspensão do fungo foi aplicada até 48 horas após a exposição das ninfas ao parasitoide. Os resultados mostram que os tempos de desenvolvimento dos fungos entomopatogênicos são geralmente mais curtos do que os dos parasitoides, então, através da liberação de parasitoides permitindo que o parasitismo ocorra por um período de tempo maior antes da aplicação do fungo, *T. radiata* poderia ser utilizado em combinação com os fungos entomopatogênicos para o controle de *D. citri*, sem que a emergência dos parasitoides fosse afetada.

Averiguando os resultados encontrados através da análise bibliométrica e os dados apresentados em cada pesquisa, foi constatado que alguns trabalhos foram

desenvolvidos através do isolamento de fungos nativos da região onde foram realizados os estudos, obtidos coletando-se a campo cadáveres de psíldeos infectados naturalmente, realizando-se posteriormente a caracterização morfológica e genética, assim como a identificação dos fungos isolados. Dentre oito pesquisas iniciadas desta forma, seis foram realizadas na China, sendo as outras duas pesquisas provenientes dos Estados Unidos e México (LU *et al.*, 2015; AWAN *et al.*, 2021a; AWAN *et al.*, 2021b; QASIM *et al.*, 2021; CISNEROS *et al.*, 2022; LUO *et al.*, 2022; GONZÁLEZ; FLORES; GUERRA, 2022; YAN *et al.*, 2022). Esse procedimento reforça a importância de se considerar a especificidade de cada isolado, individualmente, além da espécie de fungo entomopatogênico recomendado para controle, e também a região geográfica de onde o isolado é originário, em função das condições ambientais favoráveis para o desenvolvimento do fungo.

Aliás, a patogenicidade dos isolados pode ser facilmente afetada por vários fatores abióticos, como temperatura, umidade relativa e radiação ultravioleta, sendo, portanto, essencial a validação de resultados obtidos em laboratório também em condições de casa de vegetação e campo, podendo-se verificar inclusive se o isolado estudado possui a capacidade de se desenvolver bem em outras regiões e garantir o mesmo desempenho. Entre os estudos encontrados pela análise bibliométrica, apenas cinco foram desenvolvidos em condições de campo, sendo três deles realizados nos Estados Unidos, um no Brasil e um no México (AUSIQUE *et al.*, 2017; CHOW *et al.*, 2018; PÉREZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2020; AVERY *et al.*, 2021; PICK *et al.*, 2022). Além disso, poucos trabalhos foram desenvolvidos no sentido de explorar e explicar os mecanismos de ação envolvidos no controle do psíldeo pelos fungos, tendo sido encontrados sete trabalhos com esse objetivo, sendo quatro deles realizados na China, um no Brasil e um no México (KEPPANAN *et al.*, 2019; QUIROZ *et al.*, 2019; QASIM *et al.*, 2021; YANG *et al.*, 2021; AGUILA *et al.*, 2022b; GONZÁLEZ; FLORES; GUERRA, 2022; MALUTA; CASTRO; LOPES, 2022).

Por fim, foi verificado que o maior número de publicações se encontra distribuído entre os países que estão entre os maiores produtores mundiais de citros, principalmente de laranja, comercializando a fruta *in natura* ou o suco (USDA, 2023). O Brasil, apesar de ocupar uma posição de destaque majoritariamente pela produção e exportação de suco de laranja, ainda apresenta poucos estudos sobre o controle biológico do psíldeo através de fungos entomopatogênicos, em comparação com os outros países incluídos na análise bibliométrica.

5 CONCLUSÕES

A partir das informações contidas nessa revisão, foi possível verificar quais os aspectos tem sido foco dos estudos voltados à utilização de fungos entomopatogênicos para o controle de *D. citri* nos últimos anos. Considerando a importância de práticas alternativas para um manejo mais sustentável do psilídeo asiático dos citros, a identificação de novos isolados desses fungos com base na morfologia e genética e a estimativa de eficiência em relação à mortalidade dos insetos, atentando para a virulência e a viabilidade dos fungos ao longo do tempo, auxiliam a promoção do desenvolvimento de bioinseticidas para o controle biológico de *D. citri*.

A bibliometria propiciou a realização de uma análise abrangente e a identificação dos fungos *Cordyceps fumosorosea*, *Beauveria bassiana* e *Hirsutella citriformis* como sendo os mais pesquisados atualmente contra o psilídeo, alcançando bons resultados. Além disso, possibilitou observar que apesar do crescente interesse pela adoção do controle biológico através desses e de outros entomopatógenos, ainda são escassas as publicações sobre a utilização dessa ferramenta destinada ao manejo do psilídeo dos citros, principalmente no que diz respeito aos estudos que investigam os mecanismos de ação e os realizados em condições de casa de vegetação e campo, através dos quais seria possível explorar a influência de fatores abióticos na eficácia e a persistência dos propágulos dos fungos, para validar os resultados encontrados nos estudos realizados em laboratório.

Nesse sentido, essa revisão fornece uma base teórica para conferir opções disponíveis para o controle de *D. citri*, incentivando ainda a realização de avaliações futuras e ensaios de campo em diferentes regiões para observar o comportamento dos fungos frente às condições ambientais e à interação com inimigos naturais, sendo a utilização desses entomopatógenos uma alternativa promissora, com alta especificidade e baixa probabilidade de desenvolvimento de resistência, além de ser compatível com outras estratégias de controle.

REFERÊNCIAS

- AGUILA, L. C. R., AKUTSE, K. S., ASHRAF, H. J., BAMISILE, B. S., LIN, J., DAI, J., WANG, H., WANG, L. **The survival and parasitism rate of *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) on its host exposed to *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales).** *Agronomy*, v. 11, n. 8, p. 1496, 2021.
- AGUILA, L. C. R., AKUTSE, K. S., BAMISILE, B. S., MOREANO, J. P. S., ASHRAF, H. J., ZHOU, C., LI, X., WANG, L. **Endophytically colonized *Citrus limon* seedlings by *Beauveria bassiana* hampered development, reproduction and progeny fitness of *Diaphorina citri*.** *Journal of Applied Entomology*, v. 146, n. 3, p. 229-242, 2022a.
- AGUILA, L. C. R., ASHRAF, H. J., MOREANO, J. P. S., AKUTSE, K. S., BAMISILE, B. S., LU, L., LI, X., LIN, J., WU, Q., WANG, L. **Genome-wide identification and characterization of toll-like receptors (TLRs) in *Diaphorina citri* and their expression patterns induced by the endophyte *Beauveria bassiana*.** *Journal of Fungi*, v. 8, p. 888, 2022b.
- AMMAR, E. D., RAMOS, J. E., HALL, D. G., DAWSON, W. O., SHATTERS, R. G. Jr. **Acquisition, replication and inoculation of *Candidatus Liberibacter asiaticus* following various acquisition periods on huanglongbing-infected citrus by nymphs and adults of the Asian citrus psyllid.** *Plos One*, v. 11, 2016.
- AMMAR, E. D., SHATTERS, R. G., HALL, D. G. **Localization of *Candidatus Liberibacter asiaticus*, associated with citrus huanglongbing disease, in its psyllid vector using fluorescence in situ hybridization.** *Journal of Phytopathology*, v. 159, p. 726–734, 2011.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. ***bibliometrix*: An R-tool for comprehensive science mapping analysis.** *Journal of informetrics*, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.
- ARNOSTI, A., JUNIOR, I. D., CONCESCHI, M. R., D’ALESSANDRO, C. P., TRAVAGLINI, R. V., CAMARGO-MATHIAS, M. I. **Interactions of adjuvants on adhesion and germination of *Isaria fumosorosea* on adults of *Diaphorina citri*.** *Scientia Agricola*, v. 76, n. 6, p. 487–493, 2019.
- AUSIQUE, J. J. S., D’ALESSANDRO, C. P., CONCESCHI, M. R., MASCARIN, G. M., DELALIBERA JÚNIOR, I. **Efficacy of entomopathogenic fungi against adult *Diaphorina citri* from laboratory to field applications.** *Journal of Pest Science*, v. 90, n. 3, p. 947-960, 2017.
- AVERY, P. B., DUREN, E. B., QURESHI, J. A., ADAIR, R. C. J., ADAIR, M. M., CAVE, R. D. **Field efficacy of *Cordyceps javanica*, white oil and spinetoram for the management of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*.** *Insects*, v. 12, n. 9, p. 824, 2021.
- AVERY, P. B., PICK, D. A., ARISTIZÁBAL, L. F., KERRIGAN, J., POWELL, C. A., ROGERS, M. E., ARTHURS, S. P. **Compatibility of *Isaria fumosorosea* (Hypocreales: Cordycipitaceae) blastospores with agricultural chemicals used**

for management of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). *Insects*, v. 4, p. 694-711, 2013.

AWAN, U. A., MENG, L., XIA, S., RAZA, M. F., ZHANG, Z., ZHANG, H. **Isolation, fermentation, and formulation of entomopathogenic fungi virulent against adults of *Diaphorina citri***. *Pest Management Science*, v. 77, n. 9, p. 4040–4053, 2021a.

AWAN, U. A., XIA, S., MENG, L., RAZA, M. F., ZHANG, Z., ZHANG, H. **Isolation, characterization, culturing, and formulation of a new *Beauveria bassiana* fungus against *Diaphorina citri***. *Biological Control*, v. 158, 2021b.

BAMISILE, B. S., DASH, C. K., AKUTSE, K. S., QASIM, M., AGUILA, L. C. R., WANG, F., KEPPANAN, R., WANG, L. **Endophytic *Beauveria bassiana* in foliar-treated *Citrus limon* plants acting as a growth suppressor to three successive generations of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae)**. *Insects*, v. 10, n. 6, p. 176, 2019.

BOINA, D. R., BLOOMQUIST, J. R. **Chemical control of the Asian citrus psyllid and of Huanglongbing disease in citrus**. *Pest Management Science*, v. 71, p. 808-823, 2015.

BOVÉ, J. M. **Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century old disease of citrus**. *Journal of Plant Pathology, Bari*, v. 88, p. 7-37, 2006.

BOVÉ, J. M. **Huanglongbing or yellow shoot, a disease of Gondwanan origin: will it destroy citrus worldwide?** *Phytoparasitica*, v. 42, p. 579–583, 2014.

CHEN, X. D., GILL, T. A., PELZ-STELINSKI, K. S., STELINSKI, L. L. **Risk assessment of various insecticides used for management of Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* in Florida citrus, against honey bee, *Apis mellifera***. *Ecotoxicology*, v. 26, p. 351-359, 2017.

CHEN, X. D., GILL, T. A., ASHFAQ, M., PELZ-STELINSKI, K. S., STELINSKI, L. L. **Resistance to commonly used insecticides in Asian citrus psyllid: Stability and relationship to gene expression**. *Journal of Applied Entomology*, v. 142, n. 10, p. 967–977, 2018.

CHOW, A., DUNLAP, C. A., JACKSON, M. A., FLORES, D., PATT, J. M., SÉTAMOU, M. (2016). **Oviposition behavior and survival of *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae), an ectoparasitoid of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae), on hosts exposed to an entomopathogenic fungus, *Isaria fumosorosea* (Hypocreales: Cordycipitaceae), under laboratory conditions**. *Journal of Economic Entomology*, v. 109, n. 5, p. 1995–2005, 2016.

CHOW, A., DUNLAP, C. A., JACKSON, M. A., AVERY, P. B., PATT, J. M., SÉTAMOU, M. **Field efficacy of autodissemination and foliar sprays of an entomopathogenic fungus, *Isaria fumosorosea* (Hypocreales: Cordycipitaceae), for control of Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae), on residential citrus**. *Journal of Economic Entomology*, v. 111, n. 5, p. 2089–2100, 2018.

CISNEROS, J., WENDEL, J., JARONSKI, S., VITEK, C., CIOMPERLIK, M., FLORES, D. **Assessment of Two Novel Host-Derived *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Cordycipitaceae) Isolates Against the Citrus Pest, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae).** Journal of Economic Entomology, v. 115, n.1, p.56-64, 2022.

COLETTA-FILHO, H. D. et al. **First report of the causal agent of Huanglongbing (“*Candidatus Liberibacter asiaticus*”) in Brazil.** Plant Disease, v. 88, n. 12, p. 1382, 2004.

CONCESCHI, M. R. **Potencialidade dos fungos entomopatogênicos *Isaria fumosorosea* e *Beauveria bassiana* para o controle de pragas dos citros.** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Dissertação, 104 p., 2013.

CONCESCHI, M. R., D’ALESSANDRO, C. P., MORAL, R. A., DEMÉTRIO, C. G. B., JÚNIOR, I. D. **Transmission potential of the entomopathogenic fungi *Isaria fumosorosea* and *Beauveria bassiana* from sporulated cadavers of *Diaphorina citri* and *Toxoptera citricida* to uninfected *D. citri* adults.** BioControl, v. 61, n. 5, p. 567–577, 2016.

CORRÊA, B., DUARTE, V. S., SILVA, D. M., MASCARIN, G. M., JÚNIOR, I. D. **Comparative analysis of blastospore production and virulence of *Beauveria bassiana* and *Cordyceps fumosorosea* against soybean pests.** BioControl, v. 65, n. 3, p. 323–337, 2020.

CORTEZ-MADRIGAL, H., SÁNCHEZ-SAAVEDRA, J. M., DÍAZ-GODÍNEZ, G., MORA-AGUILERA, G. **Enzymatic activity and pathogenicity of entomopathogenic fungi from central and southeastern Mexico to *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae).** Southwestern Entomologist, v. 39, n. 3, p. 491-502, 2014.

COSTA LIMA, A. M. **Insetos do Brasil, Homoptera.** Rio de Janeiro: Escola Nacional de Agronomia, v.3, 327 p., 1942.

CRAWFORD, D. L. **Philippines and asiatic Psyllidae.** Philippines Journal of Science, Taguig, v. 12, p. 163-75, 1917.

CRUZ, N. O., FRANCO, A. W. G., LEYVA, E. R., ROSAS, R. A., HERNÁNDEZ, H. G., AGUILERA, G. M. **In vivo selection of entomopathogenic fungal isolates for control of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae).** Biological Control, v. 90, p. 1–5, 2015.

CRUZ-CRUZ, D., GÓMEZ-RUIZ, J., BARRERA, J. F., SÁNCHEZ-PEÑA, S. R., MORA, J. F. V. **Pathogenicity of *Beauveria bassiana* against immature stages of *Diaphorina citri* under laboratory conditions.** Southwestern Entomologist, v. 45, n. 3, p. 609-620, 2020.

CRUZ-JUÁREZ, G., MALDONADO-BLANCO, M. G., RODRÍGUEZ-GUERRA, R., TORRE-ZAVALA, S., AVILÉS-ARNAUT, H., FLORES-GONZÁLEZ, M. S. **Mutation to increase sporulation of a strain of *Hirsutella citrififormis* from Mexico and**

evaluation against *Diaphorina citri*. Southwestern Entomologist, v. 43, n. 4, p. 891-904, 2018.

DORTA, S. de O.; MACHADO, M. A.; ASTÚA, J. F. **Desenvolvimento de estratégias alternativas visando ao controle do Huanglongbing**. Citrus Research & Technology, v. 40, p. 1-12, 2019.

FANG, X., LU, H., OUYANG, G., XIA, Y., GUO, M., WU, W. **Effectiveness of two predatory mite species (Acari: Phytoseiidae) in controlling *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae)**. Florida Entomologist, v. 96 p. 1325–1333, 2013.

FLORES, D., CIOMPERLIK, M. **Biological control using the ectoparasitoid, *Tamarixia radiata*, against the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, in the lower Rio Grande Valley of Texas**. Southwestern Entomologist, v. 42, p. 49-59, 2017.

FUNDECITRUS – FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA. **Manejo do Greening: 10 mandamentos para o sucesso no controle da doença**. Araraquara: Fundecitrus, 2019. Disponível em: <https://www.fundecitrus.com.br/comunicacao/manual_detalhes/manejo-do-greening/84>. Acesso em: 25 de fev. 2023.

FUNDECITRUS – FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA. **Manual de psilídeo *Diaphorina citri*: medidas essenciais de controle**. Araraquara: Fundecitrus, 2022. Disponível em: <https://www.fundecitrus.com.br/comunicacao/manual_detalhes/psilideo-diaphorina-citri/105>. Acesso em: 13 de mar. 2023.

FUNDECITRUS – FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA. **Relatório de atividades: junho 2021/maio 2022**. São Paulo, 2022. Disponível em: <<https://www.fundecitrus.com.br/pdf/relatorios/2022.pdf>>. Acesso em 19 de fev. 2023.

GANDARILLA-PACHECO, F. L., LÓPEZ-ARROYO, J. I., GALÁN-WONG, L. J., QUINTERO-ZAPATA, I. **Pathogenicity of native entomopathogenic fungi from the Mexican citrus-growing area against *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae)**. Southwestern Entomologist, v. 38, n. 2, p. 325-338, 2013.

GONZÁLEZ, O. P., FLORES, R. G., GUERRA, P. T. **Insight into biological control potential of *Hirsutella citrifomis* against Asian citrus psyllid as a vector of citrus Huanglongbing disease in America**. Journal of Fungi, v. 8, n. 6, p. 573, 2022.

GOTTWALD, T. R. **Current epidemiological understanding of citrus Huanglongbing**. Annual Review of Phytopathology, v. 48, p. 119-39, 2010.

HALBERT, S. E. **The discovery of Huanglongbing in Florida**. Proceedings 2nd International Citrus Canker and Huanglongbing Research Workshop, Orlando FL. p.50. H-3. 2005.

HALBERT, S. E., NÚÑEZ, C. A. **Distribution of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Rhynchota: Psyllidae) in the Caribbean basin**. Florida Entomologist, v. 87, p. 401-402, 2004.

HUSSAIN, M., AVERY, P.B., ZHU, W., PITINO, M., ARTHURS, S.P., WANG, L., QIU, D., MAO, R. **Pathogenicity of *Cordyceps javanica* (Hypocreales: Cordycipitaceae) to *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) adults, with ultrastructural observations on the fungal infection process.** *Agronomy*, v. 11, p. 2476, 2021.

IBARRA-CORTÉS, K. H., GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, H., GUZMÁN-FRANCO, A. W. **Susceptibility of nymphs and adults of *Diaphorina citri* to the entomopathogenic fungus *Hirsutella citriformis*.** *Biocontrol Science and Technology*, v. 27, n. 3, p. 433-438, 2017.

IBARRA-CORTÉS, K. H., GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, H., GUZMÁN-FRANCO, A. W., ORTEGA-ARENAS, L. D., VILLANUEVA-JIMÉNEZ, J. A., ROBLES-BERMÚDEZ, A. **Interactions between entomopathogenic fungi and *Tamarixia radiata* (Hymenoptera: Eulophidae) in *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) populations under laboratory conditions.** *Journal of Pest Science*, v. 91, n. 1, p. 373–384, 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **PAM - Produção Agrícola Municipal.** Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=destaques>>. Acesso em: 19 de fev. 2023.

ISLAM, W., ADNAN, M., SHABBIR, A., NAVEED, H., ABUBAKAR, Y. S., QASIM, M., TAYYAB, M., NOMAN, A., NISAR, M. S., KHAN, K. A., ALI, H. **Insect-fungal-interactions: A detailed review on entomopathogenic fungi pathogenicity to combat insect pests.** *Microbial Pathogenesis*, v. 159, 2021.

JAGOUEIX, S. BOVÉ, J. M., GARNIER, M. **PCR detection of the two 'Candidatus' *Liberibacter* species associated with greening disease of citrus.** *Molecular and cellular probes*, v. 10, n. 1, p. 43-50, 1996.

JIANG, W., PENG, Y., YE, J., WEN, Y., LIU, G., XIE, J. **Effects of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* on the mortality and immune response of *Locusta migratoria*.** *Insects*, v. 11, 2020.

KALILE, M. O., CARDOSO, A. C., PALLINI, A., FONSECA, M. M., ELLIOT, S. L., FIALHO, V. S., CARVALHO, T. S., JANSSEN, A. (2020). **A predatory mite as potential biological control agent of *Diaphorina citri*.** *BioControl*, v. 66, p. 237–248, 2020.

KANGA, L. H., EASON, J., HASEEB, M., QURESHI, J., STANSLY, P. **Monitoring for insecticide resistance in Asian citrus psyllid (Hemiptera: Psyllidae) populations in Florida.** *Journal of Economic Entomology*, v. 109, n. 2, p. 832-836, 2016.

KEPPANAN, R., KRUTMUANG, P., SIVAPERUMAL, S., HUSSAIN, M., BAMISILE, B. S., AGUILA, L. C. R., DASH, C. K., WANG, L. **Synthesis of mycotoxin protein IF8 by the entomopathogenic fungus *Isaria fumosorosea* and its toxic effect against adult *Diaphorina citri*.** *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 125, p. 1203–1211, 2018.

KEPPANAN, R., SIVAPERUMAL, S., HUSSAIN, M., BAMISILE, B. S., AGUILA, L. C. R., QASIM, M., MEKCHAY, S., WANG, L., KRUTMUANG, P. **Molecular characterization of pathogenesis involving the GAS 1 gene from entomopathogenic fungus *Lecanicillium lecanii* and its virulence against the insect host *Diaphorina citri***. Pesticide Biochemistry and Physiology, v. 157, p. 99–107, 2019.

KISTNER, E. J., MELHEM, N., CARPENTER, E., CASTILLO, M., HODDLE, M. S. **Abiotic and biotic mortality factors affecting Asian citrus psyllid (Hemiptera: Liviidae) demographics in southern California**. Annals of the Entomological Society of America, v. 109, p. 860–871, 2016.

KUMAR, V., AVERY, P., AHMED, J., CAVE, R., MCKENZIE, C., OSBORNE, L. **Compatibility and efficacy of *Isaria fumosorosea* with horticultural oils for mitigation of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae)**. Insects, v. 8, n. 4, p. 119, 2017.

LACEY, L. A., GRZYWACZ, D., SHAPIRO-ILAN, D. I. **Insect pathogens as biological control agents: back to the future**. Journal of Invertebrate Pathology, v. 132, p. 1–41, 2015.

LOPES, J. R. S., PARRA, J. R. P., YAMAMOTO, P. T., BENTO, J. M. S. **Psilídeo-asiático-dos-citros, *Diaphorina citri* Kuwayama**. Pragas introduzidas no Brasil: insetos e ácaros. Piracicaba, FEALQ, p. 299-314, 2015.

LOPES, S. A., MARTINS, E. C., FRARE, G. F. **Detecção de ‘*Candidatus Liberibacter americanus*’ em *Murraya paniculata***. Summa Phytopathologica, Botucatu, v. 31, p. 48- 49, 2005.

LOPES, S. A., MARTINS, E. C., FRARE, G. F. **Detecção de ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’ em *Murraya paniculata***. Fitopatologia Brasileira, Brasília, v. 31, 2006.

LU, L., CHENG, B., DU, D., HU, X., PENG, A., PU, Z., ZHANG, X., HUANG, Z., CHEN, G. **Morphological, molecular and virulence characterization of three *Lecanicillium* species infecting Asian citrus psyllids in Huangyan citrus groves**. Journal of Invertebrate Pathology, v. 125, p. 45–55, 2015.

LUO, Y. WU, S., HE, X., WANG, D., HE, Y., NIAN, X. **Identification of a *Cordyceps fumosorosea* fungus isolate and its pathogenicity against Asian Citrus Psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae)**. Insects, v. 13, n. 4, p. 374, 2022.

MALUTA, N., CASTRO, T., LOPES, J. R. S. **Entomopathogenic fungus disrupts the phloem-probing behavior of *Diaphorina citri* and may be an important biological control tool in citrus**. Scientific Reports, v. 12, n. 7959, 2022.

MEAD, F. W., FASULO, T. R. **Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Insecta: Hemiptera: Psyllidae)**. Entomology and Nematology Department, Florida

Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Document no. EENY-033, 8 p., 2011.

MELLÍN-ROSAS, M. A., SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, J. A., CRUZ-ÁVALOS, A. M., MONTESINOS-MATÍAS, R., ARREDONDO-BERNAL, H. C. **Patogenicidad de cepas de hongos entomopatógenos sobre *Diaphorina citri* Kuwayama en condiciones de laboratorio.** Southwestern Entomologist, v. 41, n. 3, p. 791-800, 2016.

MORA, M. A. E., CASTILHO, A. M. C., FRAGA, M. E. **Classification and infection mechanism of entomopathogenic fungi.** Arquivos do Instituto Biológico, v. 84, p. 1-10, 2017.

MORALES-REYES, C., MASCARIN, G. M., JACKSON, M. A., HALL, D., SÁNCHEZ-PEÑA, S. R., ARTHURS, S. P. **Comparison of aerial conidia and blastospores from two entomopathogenic fungi against *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae) under laboratory and greenhouse conditions.** Biocontrol Science and Technology, v. 28, n. 8, p. 737-749, 2018.

NOWAK, M., SOBON´, A, LITWIN, A, RÓSAŁSKA, S. **4-n-nonylphenol degradation by the genus *Metarhizium* with cytochrome P450 involvement.** Chemosphere, v. 220, p. 324–334, 2019.

ORDUÑO-CRUZ, N., GUZMÁN-FRANCO, A. W., RODRÍGUEZ-LEYVA, E. ***Diaphorina citri* populations carrying the bacterial plant pathogen *Candidatus Liberibacter asiaticus* are more susceptible to infection by entomopathogenic fungi than bacteria-free populations.** Agricultural and Forest Entomology, v. 18, n. 1, p. 95–98, 2015.

ORDUÑO-CRUZ, N., GUZMÁN-FRANCO, A. W., RODRÍGUEZ-LEYVA, E., ALATORRE-ROSAS, R., GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, H., MORA-AGUILERA, G., RODRÍGUEZ-MACIEL, J. C. ***In vitro* selection of a fungal pathogen for use against *Diaphorina citri*.** Biological Control, v. 90, p. 1–6, 2015a.

ORDUÑO-CRUZ, N., GUZMÁN-FRANCO, A. W., RODRÍGUEZ-LEYVA, E., ALATORRE-ROSAS, R., GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, H., MORA-AGUILERA, G. ***In vivo* selection of entomopathogenic fungal isolates for control of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae).** Biological Control, v. 90, p. 1–5, 2015b.

ORTIZ-URQUIZA, A., KEYHANI, N.O. **Action on the surface: entomopathogenic fungi versus the insect cuticle.** Insects, v. 4, n. 3, p. 357-374, 2013.

OU, D., ZHANG, L. H., GUO, C. F., CHEN, X. S., ALI, S., QIU, B. L. **Identification of a new *Cordyceps javanica* fungus isolate and its toxicity evaluation against Asian citrus psyllid.** MicrobiologyOpen, v. 8, n. 6, 2019.

PADULLA, L. F. L. **Estudos de fungos entomopatogênicos para o controle de ninfas do psilídio *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae).** Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Universidade de São Paulo. Dissertação, 92 p., 2007.

PARDO, S., MARTINEZ, A. M., FIGUEROA, J. I., CHAVARRIETA, J. M., VINUELA, E., REBOLLAR-ALVITER, A., MIRANDA, M. A., VALLE, J., PINEDA, S. **Insecticide resistance of adults and nymphs of Asian citrus psyllid populations from Apatzingan Valley, Mexico.** *Pest Management Science*, v. 74, p. 34–47, 2018.

PATT, J. M., CHOW, A., MEIKLE, W. G., GRACIA, C., JACKSON, M. A., FLORES, D., SÉTAMOU, M., DUNLAP, C. A., AVERY, P. B., HUNTER, W. B., ADAMCZYK, J. J. **Efficacy of an autodisseminator of an entomopathogenic fungus, *Isaria fumosorosea*, to suppress Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, under greenhouse conditions.** *Biological Control*, v. 88, p. 37–45, 2015.

PÉREZ-GONZÁLEZ, O., ARREDONDO-BERNAL, H. C., MONTESINOS-MATÍAS, R., MELLÍN-ROSAS, M. A., MALDONADO-BLANCO, M. G. **Effect of native strains of *Hirsutella citriformis* on *Diaphorina citri* adults under field conditions.** *Southwestern Entomologist*, v. 45, n. 2, p. 435-444, 2020.

PÉREZ-GONZÁLEZ, O., GOMEZ-FLORES, R., TAMEZ-GUERRA, P. **Insight into biological control potential of *Hirsutella citriformis* against Asian citrus psyllid as a vector of citrus huanglongbing disease in America.** *Journal of Fungi*, v. 8, n. 6, p. 573, 2022.

PÉREZ-GONZÁLEZ, O., MALDONADO-BLANCO, M. G., VALDES-GONZALEZ, A. **Conidia shelf-life and pathogenicity of strains of *Hirsutella citriformis* Speare against *Diaphorina citri* Kywayama produced on rice.** *Southwestern Entomologist*, v. 44, n. 1, p. 165-171, 2019.

PÉREZ-GONZÁLEZ, O., SANDOVAL-CORONADO, C. F., MALDONADO-BLANCO, M. G. **Evaluation of Mexican strains of *Hirsutella citriformis* against *Diaphorina citri* in a semifield bioassay.** *Southwestern Entomologist*, v. 41, n. 2, p. 361-372, 2016.

PÉREZ-GONZÁLEZ, O., RODRÍGUEZ-GUERRA, R., LÓPEZ-ARROYO, J. I., SANDOVAL-CORONADO, C. F., MALDONADO-BLANCO, M. G. **Radial growth, sporulation, and virulence of Mexican isolates of *Hirsutella citriformis* against *Diaphorina citri*.** *Southwestern Entomologist*, v. 40, n. 1, p. 111-120, 2015.

PICK, D. A., AVERY, P. B., QURESHI, J. A., ARTHURS, S. P., POWELL, C. A. **Field persistence and pathogenicity of *Cordyceps fumosorosea* for management of *Diaphorina citri*.** *Biocontrol Science and Technology*, v. 32, n. 2, p. 151-162, 2022.

QASIM, M., XIAO, H., HE, K., OMAR, M. A. A., HUSSAIN, D., NOMAN, A., RIZWAN, M., KHAN, K. A., AL-ZOUBI, O. M., ALHARBI, S. A., WANG, L., LI, F. **Host-pathogen interaction between Asian citrus psyllid and entomopathogenic fungus (*Cordyceps fumosorosea*) is regulated by modulations in gene expression, enzymatic activity and HLB-bacterial population of the host.** *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, v. 248, 2021.

QUIROZ, R. C., MALDONADO, J. J. C., ALANIS, M. J. R., TORRES, J. A., SALDÍVAR, R. P. **Fungi-based biopesticides: shelf-life preservation technologies used in commercial products.** *Journal of Pest Science*, v. 92, p. 1003–1015, 2019.

RIBAS, P. P., MATSUMURA, A. T. S. **A química dos agrotóxicos: impacto sobre a saúde e meio ambiente.** Revista Liberato, v. 10, p. 149-158, 2009.

ROSAS-GARCÍA, N. M., ALBA-MORENO, I. M., VILLEGAS-MENDOZA, J. M., MIRELES-MARTÍNEZ, M. **Biological activity of *Metarhizium anisopliae* strains and essential oils alone and in combination against *Diaphorina citri*.** Southwestern Entomologist, v. 43, n. 3, p. 617-624, 2018a.

ROSAS-GARCÍA, N. M., LÓPEZ-BARRERA, G. L., MIRELES-MARTÍNEZ, M., VILLEGAS-MENDOZA, J. M. **Activación de las isoformas del gen Pr1 de *Metarhizium anisopliae* durante la patogénesis en *Diaphorina citri*.** Southwestern Entomologist, v. 43, n. 1, p. 199-207, 2018b.

ROSSONI, C., KASSAB, S. O., LOUREIRO, E. D., PEREIRA, F. F., COSTA, D. P., BARBOSA, R. H., ZANUNCIO, J. C. ***Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Clavicipitaceae) are compatible with *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae).** Florida Entomologist, v. 97, p. 1794–1804, 2014.

SKINNER, M., PARKER, B. L., KIM, J. S. **Role of entomopathogenic fungus in integrated pest management.** Integrated pest management: current concepts and ecological perspective. Academic Press, Elsevier, p. 169–191, 2014.

SOUZA, J. F. **Compatibilidade entre o fungo filamentoso entomopatogênico *Aspergillus sp.* NA01 com inseticidas usados no manejo integrado da lagarta-roscas *Agrotis ipsilon* (Hufnagel, 1766) (Lepdoptera: Noctuidae).** Universidade Federal da Paraíba. Monografia, 42 p., 2020.

SZEWCZYK, R., KUS´MIERSKA, A., BERNAT, P. **Ametryn removal by *Metarhizium brunneum*: biodegradation pathway proposal and metabolic background revealed.** Chemosphere, v. 190, p. 174–183, 2018.

TEIXEIRA, D. D. C., SAILLARD, C., EVEILLARD, S., DANET, J. L., COSTA, P. I. D., AYRES, A. J., BOVÉ, J. **'*Candidatus Liberibacter americanus*', associated with citrus huanglongbing (greening disease) in São Paulo State, Brazil.** International journal of systematic and evolutionary microbiology, v. 55(Pt 5), p. 1857–1862, 2005.

TSAI, J. H., LIU, Y. H. **Biology of *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae) on four host plants.** Journal of Economic Entomology, Lanham, v. 93, n. 6, p.1721-1725, 2000.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Citrus: World Markets and Trade.** 2023. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data/citrus-world-markets-and-trade>> Acesso em: 19 de fev. 2023.

VANACLOCHA, P., JONES, M. M., TANSEY, J. A., MONZO, C., CHEN, X. L., STANSLY, P. A. **Residual toxicity of insecticides used against the Asian citrus psyllid and resistance management strategies with thiamethoxam and abamectin.** Journal of Pest Science, v. 92, n. 2, p. 871–883, 2019.

WEI, G., LAI, Y. L., WANG, G. D., CHEN, H., LI, F., WANG, S. B. **Insect pathogenic fungus interacts with the gut microbiota to accelerate mosquito mortality.** Proceedings of the National Academy of Science, v. 114, p. 5994–5999, 2017.

WENDEL, J., CISNEROS, J., JARONSKI, S., VITEK, C., CIOMPERLIK, M., FLORES, D. **Screening commercial entomopathogenic fungi for the management of *Diaphorina citri* populations in the Lower Rio Grande Valley, Texas, USA.** BioControl, v. 67, p. 225–235, 2022.

YAN, J., LIU, H., IDREES, A., CHEN, F., LU, H., OUYANG, G., MENG, X. **First record of *Aspergillus fijiensis* as an entomopathogenic fungus against Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae).** Journal of Fungi, v. 8, n. 11, p. 1222, 2022.

YANG, Z., WU, Q., FAN, J., HUANG, J., WU, Z., LIN, J., BIN, S., SHU, B. **Effects of the entomopathogenic fungus *Clonostachys rosea* on mortality rates and gene expression profiles in *Diaphorina citri* adults.** Journal of Invertebrate Pathology, v. 179, 2021.

ZHOU, Q., YU, L., YING, S.-H., FENG, M.-G. **Comparative roles of three adhesin genes (*adh1–3*) in insect-pathogenic lifecycle of *Beauveria bassiana*.** Applied Microbiology and Biotechnology, v. 105, n. 13, p. 5491–5502, 2021.