

**FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA
MESTRADO PROFISSIONAL EM
FITOSSANIDADE DOS CITROS**

JADE BORTOLETTO

Potencial de *Cordyceps javanica* para a integração de medidas de controle do ácaro da leprose dos citros (*Brevipalpus yothersi*) em pomares de laranjeira

Orientador: Dr. Renato Beozzo Bassanezi

Coorientador: Dr. Daniel Júnior de Andrade

**Araraquara
Maio 2024**

JADE BORTOLETTO

Potencial de *Cordyceps javanica* para a integração de medidas de controle do ácaro da leprose dos citros (*Brevipalpus yothersi*) em pomares de laranjeira

Dissertação apresentada ao Fundo de Defesa da Citricultura como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Fitossanidade

Orientador: Dr. Renato Beozzo Bassanezi
Coorientador: Dr. Daniel Júnior de Andrade

**Araraquara
Maio 2024**

B739p

Bortoletto, Jade

Potencial de *Cordyceps javanica* para a integração de medidas de controle do ácaro da leprose dos citros (*Brevipalpus yothersi*) em pomares de laranjeira/ Jade Bortoletto, 2024.

42 f.

Orientador: Renato Beozzo Bassanezi

Dissertação (Mestrado) – Fundo de Defesa da Citricultura, Araraquara, 2024.

1. *Citrus sinensis* 2. Manejo integrado de pragas
3. Controle biológico 4. Fungo I. Título

JADE BORTOLETTO

Dissertação apresentada ao Fundo de Defesa da Citricultura como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Fitossanidade

Araraquara-SP, 29 de maio de 2024.

BANCA EXAMINADORA

DocuSigned by:
Renato Beozzo Bassanezi
AAAF3DF2E084A472...

Dr. Renato Beozzo Bassanezi

Fundo de Defesa da Citricultura (FUNDECITRUS), Araraquara-SP

DocuSigned by:
ITALO DELALIBERA JUNIOR
08298AFCE8954B6...

Dr. Italo Delalibera Junior

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), Piracicaba-SP

DocuSigned by:
Haroldo Xavier Linhares Volpe
597F8F9F04EB49E...

Dr. Haroldo Xavier Linhares Volpe

Fundo de Defesa da Citricultura (FUNDECITRUS), Araraquara-SP

AGRADECIMENTOS

Ao Fundecitrus e toda equipe de professores do mestrado profissional MasterCitrus, pela oportunidade.

Ao professor e orientador Dr. Renato Beozzo Bassanezi, pelos ensinamentos, paciência, orientação e apoio para a realização deste trabalho.

Ao professor e coorientador Prof. Dr. Daniel Júnior de Andrade, pela orientação e auxílio na condução do experimento.

Ao pesquisador científico Juan Camilo Cifuentes Arenas, pelo auxílio na análise dos dados.

Ao Eduardo Monteferrante, pela base de dados para cálculo de custo operacional.

A todos os colegas da Turma 8 pela amizade e troca de conhecimentos.

À Koppert Brasil, pela oportunidade de realização do mestrado, por todo suporte, capacitação e recursos disponibilizados.

À equipe comercial da Koppert Brasil do estado de São Paulo, na pessoa do Paschoal Danella e Aline Alves, pela troca de conhecimento e contribuição nos resultados obtidos.

Aos meus pais, Jaqueline Magaly Antonio e Marcelo Sigmar Bortoletto, meu namorado Henrique Terzini e amigos que me incentivaram desde o início para realização do curso e projeto.

A todos que contribuíram para que este trabalho fosse concretizado.

A todos os citricultores que se dispuseram a contribuir para uma citricultura mais sustentável.

Potencial de *Cordyceps javanica* para a integração de medidas de controle do ácaro da leprose dos citros (*Brevipalpus yothersi*) em pomares de laranjeira

Autor: Jade Bortoletto

Orientador: Dr. Renato Beozzo Bassanezi

Coorientador: Dr. Daniel Júnior de Andrade

RESUMO

Os pomares de laranjeira doce enfrentam desafios significativos devido à presença do ácaro *Brevipalpus yothersi*, vetor do *Cilevirus leprosis*, agente causal da leprose dos citros, que causa danos severos às plantas e à produção de frutos. A necessidade de estratégias eficazes de controle da transmissão do vírus pelo ácaro, aliada à crescente demanda por práticas agrícolas sustentáveis, destaca a importância da integração de medidas de controle do ácaro como uma abordagem promissora, considerando, principalmente, a necessidade de redução da pressão de seleção de populações resistentes do ácaro aos acaricidas. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial do fungo entomopatogênico *Cordyceps javanica* ESALQ-1296 (Challenger, Koppert Brasil) na integração de medidas de controle do ácaro da leprose dos citros em pomares de laranjeiras. Foram realizados dois experimentos: o primeiro, composto por 10 talhões de laranjeira ‘Pera’, comparou-se, em tratamentos pareados, o efeito da associação do acaricida biológico (Challenger a 50 mL/100 L de água) ao químico (espirodiclofeno a 20 mL/100 L de água ou ciflumetofem a 40 mL/100 L de água) com o uso isolado do acaricida químico, ambos com volume de calda entre 100 e 150 mL/m³ de copa, sobre a população do ácaro. O segundo experimento, em talhão de laranjeira ‘Valência Argentina’, com os mesmos tratamentos do primeiro experimento, mais um tratamento com o acaricida biológico isolado (Challenger a 100 mL/100 L de água) e outro com a associação dos acaricidas químico e biológico mais reaplicações do acaricida biológico (Challenger a 75 mL/100 L de água) em intervalos de 60 dias. As aplicações no nível de controle foram feitas com volume de calda de 150 mL/m³ de copa, enquanto nas reaplicações a cada 60 dias usou-se 75 mL/m³ de copa. Nos experimentos 1 e 2, as avaliações da infestação de ácaro (% de frutos com a presença do ácaro) foram realizadas quinzenalmente até os 120 e 132 dias após a primeira aplicação, respectivamente, incluindo no segundo experimento a contagem de ovos, fases imaturas (larvas e ninfas) e adultos do ácaro. No primeiro experimento, observou-se que, em comparação com o uso exclusivo do acaricida químico, a associação com o biológico proporcionou uma redução média de 51% na área abaixo da curva de progresso do índice de infestação do ácaro (AACPII). No segundo experimento, o tratamento conjunto de acaricida químico e biológico, tanto sem reaplicações, quanto com reaplicações do fungo a cada 60 dias, reduziu, em média, 81% e 62% a AACPII em relação à aplicação isolada do acaricida biológico e isolada do acaricida químico, respectivamente. Além disso, as aplicações a cada 60 dias do acaricida biológico foram eficientes em manter a infestação do ácaro da leprose abaixo de 5%, com a menor quantidade de ácaros e AACPII entre todos os tratamentos. Isso sugere que essa estratégia de manejo, além de ser eficaz, pode reduzir a dependência de intervenções adicionais com acaricidas químicos, promovendo uma abordagem mais sustentável no controle da praga.

Palavras-chave: *Citrus sinensis*, Manejo integrado de pragas, Controle biológico, Fungo entomopatogênico.

Potential of *Cordyceps javanica* for the integration of citrus leprosis mite (*Brevipalpus yothersi*) control measures in orange orchards

Author: Jade Bortoletto

Advisor: Renato Beozzo Bassanezi

Co-advisor: Daniel Júnior de Andrade

ABSTRACT

Sweet orange orchards face significant challenges due to the presence of the mite *Brevipalpus yothersi*, a vector of the *Cilevirus leprosis*, the causal agent of citrus leprosis, which causes severe damage to plants and fruit production. The need for effective strategies to control the virus transmission by the mite, combined with the growing demand for sustainable agricultural practices, highlights the importance of integrating mite control measures as a promising approach, particularly considering the need to reduce the selection pressure on mite populations resistant to acaricides. In this context, this study aimed to evaluate the potential of the entomopathogenic fungus *Cordyceps javanica* ESALQ-1296 (Challenger, Koppert Brazil) for the measures integration for controlling citrus leprosis mite in sweet orange orchards. Two experiments were conducted: the first, consisting of 10 'Pera' orange plots, compared, in paired treatments, the effect of the association of the biological acaricide (Challenger at 50 mL/100L of water) with the chemical acaricide (spirodiclofen at 20 mL/100 L of water or cyflumetofen at 40 mL/100 L of water) with the isolated use of the chemical acaricide, both with a spray volume between 100 and 150 mL/m³ of canopy, on the mite population. The second experiment, in a 'Valência Argentina' orange plot, used the same treatments as in the first experiment, plus one treatment with the biological acaricide alone (Challenger at 100 mL/100 L of water) and another with the combination of chemical and biological acaricides with additional sprays of the biological acaricide (Challenger at 75 mL/100 L of water) at 60-day intervals. Sprays at the control level were made with a spray volume of 150 mL/m³ of tree canopy, while additional sprays every 60 days used 75 mL/m³ of tree canopy. In experiments 1 and 2, mite infestation evaluations (% of fruits with the presence of mites) were performed biweekly until 120 and 132 days after the first application, respectively, including in the second experiment the counting of eggs, immature stages (larvae and nymphs), and adult mites. In the first experiment, it was observed that, compared to the exclusive use of the chemical acaricide, the association with the biological acaricide provided an average reduction of 51% in the area under the curve of mite infestation index progress (AACPII). In the second experiment, the combined treatment of chemical and biological acaricides, both with and without additional sprays of the fungus every 60 days, reduced AACPII by an average of 81% and 62% compared to the isolated application of the biological acaricide and the isolated spray of the chemical acaricide, respectively. Additionally, the 60-day interval applications of the biological acaricide were effective in keeping the citrus leprosis mite infestation below 5%, with the lowest number of mites and AACPII among all treatments. This suggests that this management strategy, in addition to being effective, can reduce the reliance on additional interventions with chemical acaricides, promoting a more sustainable approach to pest control.

Keywords: *Citrus sinensis*, Integrated pest management, Biological control, Entomopathogenic fungus.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	8
2.1. Eficácia do acaricida biológico, à base de <i>Cordyceps javanica</i> ESALQ-1296, associado a acaricidas químicos no controle de <i>Brevipalpus yothersi</i>	8
2.1.1 Seleção e caracterização das áreas experimentais.....	8
2.1.2 Aplicação dos tratamentos	9
2.1.3 Avaliações	9
2.1.4 Análises estatísticas.....	10
2.2. Eficácia do acaricida biológico, à base de <i>Cordyceps javanica</i> ESALQ-1296, associado a acaricida químico e de reaplicações isoladas do fungo no controle de <i>Brevipalpus yothersi</i>	10
2.2.1 Área experimental	10
2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos	10
2.2.3 Aplicação dos tratamentos	12
2.2.4 Avaliações	13
2.2.5 Análises estatísticas.....	13
2.2.6 Análises de custo dos tratamentos.....	14
3. RESULTADOS	16
3.1 Eficácia do acaricida biológico, à base de <i>Cordyceps javanica</i> ESALQ-1296, associado a acaricidas químicos no controle de <i>Brevipalpus yothersi</i>	16
3.2 Eficácia do acaricida biológico, à base de <i>Cordyceps javanica</i> ESALQ-1296, associado a acaricida químico e de reaplicações isoladas do fungo no controle de <i>Brevipalpus yothersi</i>	17
4. DISCUSSÃO	23
5. CONCLUSÃO.....	29
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	30

1. INTRODUÇÃO

A citricultura brasileira é uma atividade tradicional que detém a maior parte da produção global, sendo responsável por 73,5% do mercado mundial de suco de laranja (USDA, 2023). Durante a safra de 2022/2023, as exportações totais de suco de laranja brasileiro (FCOJ – Suco de laranja concentrado congelado - Equivalente a 66° Brix) cresceram em 16%, sendo destinada para os principais mercados como Europa, Estados Unidos e China. Estas exportações geraram receita aproximada de US\$ 2,04 bilhões para o Brasil (CITRUSBR, 2023). O cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro destaca-se como a principal região produtora de citros do Brasil, abrangendo uma área de 336.267 hectares de laranjeiras, com uma produção estimada na safra de 2024/25 de 232,38 milhões de caixas de 40,8 kg (Fundecitrus, 2024).

Apesar da capacidade de produção expressiva, o setor enfrenta desafios significativos, como o aumento dos custos de produção e a redução da rentabilidade, resultando em investimentos mais baixos, tanto na renovação dos pomares quanto no controle de problemas fitossanitários (Barros et al., 2016). Nas safras de 2017/18 a 2021/22, a taxa média de queda prematura de frutos devido às pragas e doenças foi de 12,41%, representando perda média anual de 48,3 milhões de caixas de laranja (Fundecitrus, 2022; Moreira et al., 2022).

Pragas agrícolas, como ácaros e insetos representam uma ameaça significativa à produtividade das plantas cítricas e à qualidade dos frutos, resultando em perdas econômicas consideráveis para os produtores. Dentre os ácaros-praga mais comuns encontrados na citricultura, destacam-se o ácaro da falsa ferrugem [*Phyllocoptruta oleivora* (Ashmead) (Acari: Eriophyidae)], o ácaro da leprose dos citros [*Brevipalpus yothersi* Baker (Acari: Tenuipalpidae)], o ácaro branco [*Polyphagotarsonemus latus* (Banks) (Acari: Tarsonemidae)] e os ácaros desfolhadores, como o ácaro purpúreo [*Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae)], o ácaro mexicano [*Tetranychus mexicanus* (McGregor) (Acari: Tetranychidae)] e o ácaro texano [*Eutetranychus banksi* (McGregor) (Acari: Tetranychidae)] (Andrade et al., 2014).

O ácaro da leprose dos citros tem se destacado no cinturão citrícola, principalmente pela sua capacidade de transmitir o *Cilevirus leprosis* (ex *Citrus leprosis virus C*), agente causal da doença conhecida como leprose dos citros. A taxa de queda prematura de frutos de laranja com sintomas de leprose aumentou de 0,25% na safra de 2016/17 para 2,83% na safra de 2021/22 (Fundecitrus, 2022), e depois reduziu para 0,53% na safra de 2023/24 (Fundecitrus, 2024), o que representou uma perda média de 4,7 milhões de caixas por ano no período de 2016 a 2024.

Além da queda prematura de frutos lesionados, o vírus causa lesões que depreciam os frutos para o mercado *in natura*, causam desfolha das plantas e a seca de ramos, que podem impactar negativamente a longevidade produtiva das plantas (Bitancourt, 1955). Os sintomas da leprose ocorrem principalmente em laranjeiras e aparecem em frutos, folhas e ramos entre 17 e 60 dias após a transmissão do vírus pelo ácaro (Bassanezi et al., 2002). Nas folhas, os sintomas aparecem como lesões cloróticas circulares, com até 3 cm de diâmetro, com ou sem anéis concêntricos de goma, próximas às nervuras, nas duas superfícies. Nos frutos, aparecem como pequenas lesões cloróticas, circulares lisas ou deprimidas, que com o amadurecimento do fruto se tornam necróticas com ou sem halo amarelado. Nos ramos, surgem como lesões lisas cloróticas, que rapidamente se tornam necróticas, marrom e salientes, podendo causar a ruptura da casca e o anelamento e seca do ramo (Bassanezi et al., 2002).

No campo, a transmissão do vírus da leprose é atribuída exclusivamente ao ácaro-vetor, o que torna o monitoramento da sua população extremamente importante para a tomada de decisão do seu controle. Recomenda-se o monitoramento por meio de inspeções visuais, com lupa de aumento de 10x, em 3 a 5 frutos por planta, próximos à maturação ou maduros, de preferência no interior da copa e com lesões de verrugose, a cada 7 a 10 dias, em 1 a 2% de plantas no talhão (Gravena, 2005). O nível de ação, isto é, a porcentagem de frutos ou ramos com a presença do ácaro que determina a necessidade de se tomar medidas para o controle do ácaro, tem variado de 1 a 5%, dependendo do histórico da doença no pomar, da disponibilidade de maquinário para a pulverização e da aversão do produtor ao risco, considerando que não existe uma relação definida entre a densidade populacional do ácaro e os danos causados pelo vírus (Bassanezi, 2017).

O aumento do tamanho da amostra, de acordo com a quantidade de frutos por metro cúbico de copa das plantas e da porcentagem de plantas amostradas no talhão, diminui os erros na estimativa da infestação de ácaro (Gasparino, 2013). Entretanto, devido à baixa disponibilidade e o aumento no custo da mão de obra rural, a tendência tem sido o contrário, isto é, os citricultores têm contratado menos inspetores, diminuindo a porcentagem de plantas ou frutos e ramos amostrados e/ou aumentando os intervalos entre inspeções, o que tem impactado negativamente o manejo do ácaro da leprose por aumentar o erro da estimativa da sua população do ácaro e aumentar o tempo para a detecção do seu aumento populacional nos pomares e adoção das medidas de controle, favorecendo o seu desenvolvimento e conseqüentemente a disseminação do vírus.

Como complemento de manejo, para prevenir a introdução e disseminação do ácaro, assim como a taxa de infecção, recomenda-se plantar mudas livres de ácaros e do vírus, desinfestar materiais de colheita, eliminar plantas daninhas hospedeiras do ácaro e do vírus, não deixar frutos na planta após a colheita, especialmente os “temporãos” ou sintomáticos, realizar podas dos ramos afetados e erradicar plantas quando as lesões se espalham por toda copa (Bassanezi, 2017). Entretanto, o controle da leprose tem se baseado principalmente no monitoramento do vetor e na utilização de acaricidas químicos.

Conforme as diretrizes para o controle do ácaro da leprose, é recomendada a pulverização dos acaricidas de forma isolada, especialmente devido à incompatibilidade de certos acaricidas com fertilizantes foliares e outros produtos, como acaricidas à base de enxofre e alguns inseticidas. No entanto, muitas vezes as aplicações são feitas em misturas para diminuir os custos de produção, simplificar as operações com o controle conjunto de pragas e doenças, otimizar a utilização dos equipamentos e cumprir o calendário de pulverizações recomendadas, o que pode diminuir a eficácia dos produtos como ocorre para o acaricida espiroclorfenol aplicado em mistura com alguns inseticidas (Della Vecchia et al., 2019).

Apesar da boa eficácia dos acaricidas químicos disponíveis para o controle do ácaro da leprose, a repetição de aplicações com produtos de mesmo modo de ação tem levado à rápida seleção de populações de ácaros resistentes a determinados acaricidas, reduzindo a eficiência das aplicações nos pomares. Dentre todas as pragas presentes no cinturão citrícola, o ácaro da leprose pode ser considerada a espécie mais sensível à seleção de indivíduos resistentes, devido a reprodução ocorrer, em sua maioria, por partenogênese telítoca, onde fêmeas não fecundadas dão origem apenas a fêmeas, e a sua baixa capacidade de movimentação (Yamamoto, 2008). Casos de resistência do ácaro da leprose a acaricidas já foram relatados com razões de resistência altas, tais como de 56x ao dicofol (Omoto et al., 2000), de 10.000x ao hexitiazox (Campos & Omoto, 2002), de 10x ao propargito (Franco, 2007) e, mais recentemente, de 10,6x ao espiroclorfenol (Rocha et al., 2021).

As estratégias de manejo integrado de pragas, como por exemplo a integração do controle biológico ao controle químico, visam, além da redução da população da praga, diminuir a velocidade de estabelecimento de populações resistentes a um determinado produto químico. Os agentes de controle biológico desempenham papel eficaz na regulação ou supressão de populações de pragas. Os meios de controle biológico englobam insetos benéficos, predadores, parasitoides e microrganismos, tais como vírus, bactérias, fungos e nematoides,

podendo ser de ocorrência natural, liberados ou aplicados intencionalmente na cultura (Fontes et al., 2020).

A utilização frequente de inseticidas e de acaricidas químicos podem causar desequilíbrio nas populações de inimigos naturais, o que prejudica o controle biológico natural da praga. Produtos com alta persistência no ambiente e não seletivos podem causar efeitos nocivos aos inimigos naturais e aos organismos não-alvo durante longo período, como observado para bifentrina e fenpropatrina, que durante 38 a 45 dias após a aplicação causaram a mortalidade no ácaro predador *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae) (Sato et al., 1996). Por sua vez, a abamectina, com curto residual e baixa persistência no ambiente causou a mortalidade do mesmo ácaro predador em apenas dois dias após a aplicação (Sato et al., 1996). Inseticidas químicos também podem afetar a capacidade de predação dos inimigos naturais, como observado para os neonicotinoides que reduziram a capacidade de predação do ácaro *Phytoseiulus macropilis* em 87% nas plantas tratadas (Poletti et al., 2007).

Dentre as medidas de controle de pragas, o controle biológico com fungos entomopatogênicos pode ser considerada uma das mais promissoras para o controle de insetos e ácaros, uma vez que estes fungos possuem um amplo espectro de ação, sendo capazes de infectar diversos estágios de desenvolvimento das pragas que ocupam diferentes habitats. Os fungos entomopatogênicos possuem um ciclo de vida definido e têm suas interações com o hospedeiro influenciadas por condições ambientais, como temperatura, umidade, luz e radiação ultravioleta, além de fatores nutricionais e a susceptibilidade do próprio hospedeiro (Alves, 1998). O modo de ação dos fungos é por contato e se baseia na adesão e germinação de conídios no tegumento de insetos e ácaros, liberando enzimas e metabólitos (Reis, 2018), o que resulta na incapacitação ou morte do hospedeiro. Ao contrário de outros patógenos como vírus, que necessitam ser ingeridos para exercer sua ação, esses fungos requerem contato direto com a cutícula do artrópode, o que é diretamente influenciado pela qualidade da formulação embutida para proteção e dispersão dos conídios em produtos comerciais (Arnosti et al., 2019).

O potencial de controle biológico para ácaros tetranychídeos com diferentes espécies e isolados de fungos entomopatogênicos vem sendo amplamente abordado em diferentes culturas (Oliveira et al., 2002; Tamai et al., 2002; Cavalcanti et al., 2008; Bugeme et al., 2009), sendo os mais estudados os dos gêneros *Metarhizium*, *Beauveria*, *Cordyceps* e *Hirsutella*. Em citros, Alves (2005) relatou a adesão dos conídios de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. por toda superfície corporal do ácaro da falsa ferrugem dos citros, e a formação de pequenos cristais no interior do ácaro produzidos durante a colonização do fungo, ocasionando mortalidade de até

91% na concentração de 1×10^8 conídios/mL. Outros isolados de *Beauveria* sp., assim como a espécie *B. bassiana*, também apresentaram eficiência semelhante para o ácaro branco em ensaios realizados em laboratório, casa de vegetação e campo (Peña et al., 1996; Nugroho & Ibrahim, 2007; Alves et al., 2010; Martins et al., 2016). De acordo com Rossi (2002), todos os isolados de *Hirsutella* sp. foram patogênicos e virulentos para adultos do ácaro da leprose, causando mortalidade acima de 90% seis dias após a inoculação. Vázquez Benito (2022) constatou mortalidade superior a 80% para *B. yothersi* com os fungos *B. bassiana*, *Metarhizium anisopliae* (Metschn.) e *Cordyceps fumosorosea* (Wise).

Anteriormente descrito como *Isaria* (Kepler et al., 2017), *Cordyceps* é um gênero de fungo entomopatogênico que se destaca entre os agentes de controle biológico, uma vez que diversas cepas de *Cordyceps* têm a capacidade de infectar todos os estágios de desenvolvimento de insetos, apresentam ampla variedade de hospedeiros, maior rusticidade e agressividade que outros fungos entomopatogênicos já estudados (Hoy et al., 2010; Conceschi, 2013), sendo assim utilizado como uma alternativa estratégica para manejo de importantes pragas agrícolas e vetores de fitopatógenos em culturas anuais e perenes.

Lopes et al. (2023), reavaliaram 53 cepas anamórficas de *Cordyceps* brasileiras, usando métodos filogenéticos baseados em múltiplos loci. As cepas, principalmente obtidas de solos e insetos de áreas agrícolas, revelaram seis espécies: *C. amoenerosea*, *C. fumosorosea*, *C. javanica*, *C. tenuipes*, e, pela primeira vez no Brasil, *C. brevistroma* e *C. spegazzinii*. A espécie mais comum foi *C. javanica*, incluindo cepas anteriormente identificadas como *C. fumosorosea*, como a cepa ESALQ-1296 utilizada no presente estudo. Sendo assim, todas as referências a essa cepa neste presente estudo serão citadas com a nova nomenclatura, *C. javanica* ESALQ-1296.

Entre os insetos pragas em citros, *C. javanica* apresentou eficiência superior a 80% na mortalidade de adultos do psílídeo asiático dos citros *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) em experimentos de laboratório e de campo, além de outras pragas como o pulgão preto dos citros *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) (Hemiptera: Aphididae), a mosca-negra *Aleurocanthus woglumi* Ashby (Hemiptera: Aleyrodidae) (Conceschi, 2013). Esta espécie também foi estudada como acaricida em diferentes culturas, apresentando potencial de controle para o ácaro vermelho europeu *Panonychus ulmi* (Koch) (Acari: Tetranychidae) com mortalidade de 85-90% após pulverização de conídios em laboratório (Graff et al., 2017), resultado similar ao obtido por Lima (2020) sobre ácaros do gênero *Tetranychus* sp. (Acari: Tetranychidae) em rosa do deserto. Nos citros, mostrou potencial, em ensaios em laboratório,

para o controle do ácaro púrpureo e do ácaro da leprose dos citros (Conceschi, 2013). O inseticida microbiológico *C. javanica* ESALQ-1296 na dose de 200 mL/100 L água alcançou 90,7% de eficiência de controle do ácaro da leprose após 8 dias de aplicação em laboratório com resultados muito semelhantes aos obtidos com acaricida sintético espiroclorfenol (Kapp et al., 2019). Em experimentos realizados a campo, parcelas tratadas com *C. javanica* ESALQ-1296 apresentaram menor número de plantas com sintomas de leprose em comparação às parcelas não-tratadas com este inseticida microbiológico. Além disso, verificou-se que os picos populacionais do ácaro-vetor foram 216,3% menores nas parcelas tratadas com o inseticida microbiológico e não houve influência sobre as populações de inimigos naturais, como crisopídeos, hemerobiídeos e joaninhas (Conceschi, 2017). Essa cepa ESALQ-1296 é um dos únicos isolados identificados por Rojas (2015) a partir de um inseto como hospedeiro, a mosca branca (*Bemisia tabaci* Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae).

Ademais, foi observado que alguns ácaros predadores têm a capacidade de transportar os conídios desse fungo, contribuindo para a contaminação de ácaros-praga (Vázquez Benito, 2022), indicando a possibilidade de integração do fungo entomopatogênico ao manejo convencional a fim de contribuir para diminuição da velocidade de estabelecimento de insetos e ácaros praga tolerantes e/ou resistentes e colaborar com preservação de inimigos naturais como os ácaros predadores.

Apesar desses resultados promissores, o controle biológico de pragas na citricultura brasileira ainda é pouco utilizado, mas apresenta grandes possibilidades, principalmente devido a ampla capacidade de infecção dos fungos facilitar a manutenção de equilíbrio populacional por meio de epizootias, contribuindo para a supressão abaixo do nível de dano econômico de diversas pragas (Conceschi, 2017). Para isso, estudos que integrem o controle biológico ao controle químico atualmente empregado são necessários. Devido aos avanços relacionados à tecnologia de formulação, torna-se possível associar aplicações de fungos entomopatogênicos às aplicações de rotina da fazenda em mistura de calda com inseticidas, acaricidas e fungicidas químicos de acordo com a compatibilidade biológica.

Posto isso, as hipóteses dessa pesquisa foram (i) de que a aplicação do acaricida microbiológico *C. javanica* ESALQ-1296 em conjunto com o acaricida químico poderia proporcionar o controle mais eficaz e prolongado do ácaro da leprose dos citros em relação ao controle exclusivamente com acaricidas químicos e (ii) que, após baixar a infestação do ácaro, aplicações sequenciais do acaricida biológico, mesmo em menor dose, manteria a população do ácaro da leprose abaixo do nível de ação por mais tempo.

Portanto, o objetivo da pesquisa foi estudar a eficácia da integração de *C. javanica* com o uso de acaricidas sintéticos convencionais em condições de campo sobre a população do ácaro da leprose dos citros como forma de contribuir para estratégias mais sustentáveis e eficazes no controle dessa praga em pomares de laranjas, dentro de um programa de manejo integrado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Eficácia do acaricida biológico, à base de *Cordyceps javanica* ESALQ-1296, associado a acaricidas químicos no controle de *Brevipalpus yothersi*

2.1.1 Seleção e caracterização das áreas experimentais

Os campos experimentais foram estabelecidos em áreas de produção comercial de laranja localizadas no cinturão citrícola do estado de São Paulo e distribuídas em 10 cidades (Tabela 1). Cada campo foi selecionado com base em critérios, como a variedade de citros cultivada {laranjeira doce variedade ‘Pera’ [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]}, idade do pomar (acima de 6 anos) e histórico de infestação por ácaros da leprose (igual ou superior a 3% de frutos com ácaro), de forma a proporcionar condições para a comparação dos tratamentos. Cada campo utilizado foi considerado um bloco (repetição) com duas parcelas pareadas (uma para cada tratamento).

Tabela 1. Descrição das áreas experimentais com a localização, variedade de copa e idade do pomar, ingrediente ativo e dose do produto comercial (p.c.) do acaricida químico utilizado sozinho e em conjunto com o acaricida biológico *Cordyceps javanica* ESALQ-1296, data de aplicação dos tratamentos e porcentagem de infestação inicial de frutos com ácaro da leprose dos citros.

Município	Variedade de copa	Idade (anos)	Ingrediente ativo do acaricida químico	Dose do p.c. (mL/100L)	Data aplicação (mês/ano)	Infestação inicial (%)
Casa Branca	Pera	10	Espirodiclofeno	20	outubro/2022	6,5
Brotas	Pera	10	Espirodiclofeno	20	novembro/2022	6,8
Anhembi	Pera	13	Ciflumetofem	40	novembro/2022	3
Leme	Pera	12	Espirodiclofeno	20	dezembro/2022	6,5
Casa branca	Pera	12	Ciflumetofem	40	dezembro/2022	4
Angatuba	Pera	14	Ciflumetofem	40	abril/2023	3
Uchoa	Pera	8	Espirodiclofeno	20	maio/2023	5
Urânia	Pera	8	Espirodiclofeno	20	maio/2023	10,8
Jales	Pera	7	Ciflumetofem	40	maio/2023	4
Estrela D'oeste	Pera	7	Ciflumetofem	40	maio/2023	8,5

2.1.2 Aplicação dos tratamentos

Em cada área, um mesmo talhão foi dividido em duas parcelas com 1.000 plantas para cada um dos seguintes tratamentos:

T1) Aplicação apenas do acaricida químico (tratamento convencional);

T2) Aplicação do acaricida químico em associação ao acaricida biológico.

No tratamento convencional (T1), o acaricida químico variou entre produtos formulados à base de espirodiclofeno (Envidor 240 SC, Gowan Brasil) e ciflumetofem (Okay 200 SC, Ihara ou Obny 200 SC, UPL), aplicados nas respectivas doses de bula (Tabela 1). Os acaricidas químicos foram cedidos pelos proprietários das fazendas.

No outro tratamento (T2) foi feita a associação do mesmo acaricida químico com o fungo entomopatogênico *C. javanica* ESALQ-1296, utilizando o produto formulado comercial Challenger® (Koppert Brasil), na concentração mínima de $2,5 \times 10^9$ conídios viáveis/mL e dosagem de 50 mL/100 L de água.

As aplicações dos dois tratamentos foram realizadas no mesmo dia, de maneira padronizada para garantir a uniformidade entre as parcelas, com volume de calda entre 100 e 150 mL/m³ de copa. Durante todo período de condução do experimento, as outras aplicações de controle fitossanitário com fungicidas e inseticidas e de nutrição com adubos foliares foram mantidas nas parcelas de ambos os tratamentos de acordo com as recomendações e necessidades de cada propriedade.

2.1.3 Avaliações

A infestação de ácaro da leprose (porcentagem de frutos com a presença do ácaro) foi monitorada antes da aplicação dos tratamentos e depois da aplicação com avaliações realizadas em intervalos de quinze dias até completar 120 dias de observação, totalizando uma avaliação antes e oito após a aplicação dos tratamentos. Em cada avaliação, dentro de cada parcela, foram selecionadas aleatoriamente 10 plantas (1% das plantas da parcela), seguindo um padrão em zigue-zague, para as avaliações da infestação do ácaro da leprose.

Em cada uma das plantas selecionadas, foram colhidos quatro frutos maduros, internos e, preferencialmente, com lesões de verrugose, conforme recomendação de Gravena (2002), totalizando 40 frutos avaliados por tratamento por avaliação. Utilizando uma lupa de aumento de 10x, a superfície dos frutos foi examinada visualmente quanto à presença de ácaros da leprose.

2.1.4 Análises estatísticas

Os resultados de cada avaliação da infestação de ácaro da leprose em cada parcela de cada uma das 10 áreas durante os 120 dias, foram utilizados para o cálculo da área abaixo da curva de progresso do índice de infestação do ácaro (AACPII) pelo método de integração trapezoidal (Campbell & Madden, 1990). As médias dos valores de AACPII para cada tratamento foram comparadas pelo teste t. Todas as análises foram realizadas no programa R, considerando um nível de significância de 5%. Não foram realizadas análises estatísticas comparando também o produto acaricida químico utilizado, a época de aplicação e a região da localização do talhão devido ao pequeno número de repetições para cada combinação Tratamento x Acaricida químico x Época do ano x Região.

2.2. Eficácia do acaricida biológico, à base de *Cordyceps javanica* ESALQ-1296, associado a acaricida químico e de reaplicações isoladas do fungo no controle de *Brevipalpus yothersi*

2.2.1 Área experimental

O experimento foi conduzido em propriedade comercial de produção de laranja no município de Barretos, região norte do estado de São Paulo (latitude 20°26'09"S e longitude 48°36'05"W). O talhão utilizado para o experimento foi constituído por plantas de laranja doce da variedade 'Valência Argentina' enxertadas em citrumelo Swingle [*Citrus paradisi* Macfrad × *Poncirus trifoliata* (L.) Raf] com cinco anos de idade, plantadas em 07/03/2018, no espaçamento de 6,0 m x 2,0 m, em uma área de 28,62 hectares. No início do experimento as plantas apresentavam, em média, um volume de copa de 15 m³, calculado pelo método da cubagem (volume de copa = altura x largura x profundidade).

2.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados, com quatro blocos (repetições) por tratamento e quatro tratamentos. Cada parcela constou de quatro linhas de plantio com pelo menos 30 plantas em cada linha (Figura 1). A parcela útil, onde foram realizadas as avaliações, foi constituída por pelo menos 40 plantas nas linhas centrais da parcela, sendo consideradas como bordadura as plantas das linhas externas de cada parcela e as cinco plantas entre cada parcela (Figura 1).

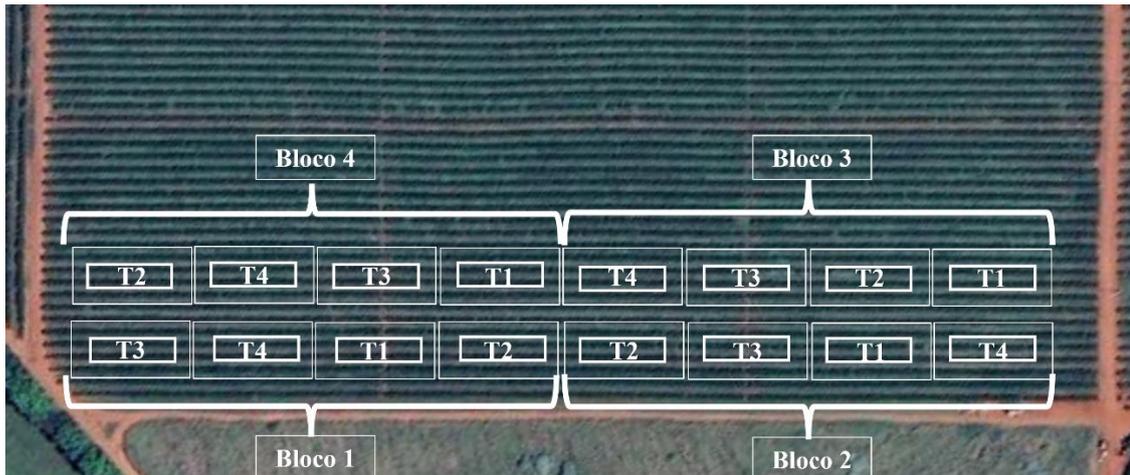


Figura 1. Croqui da área experimental com a distribuição dos blocos, parcelas, parcelas úteis (20 plantas centrais de cada uma das duas linhas centrais de cada parcela) e tratamentos no talhão de laranjeira doce ‘Valência Argentina’ sobre citromeleiro ‘Swingle’, plantado em 2018 (Imagem do Google Earth Pro®, de janeiro de 2024).

Foram avaliados os seguintes tratamentos (Figura 2):

- T1** - Acaricida químico (Tratamento padrão com rotação de ingredientes ativos por aplicação, espirodiclofeno e ciflumetofem) ao atingir o nível de ação no volume de calda de 150 mL/m³ de copa;
- T2** – Acaricida biológico ao atingir o nível de ação no volume de calda de 150 mL/m³ de copa;
- T3** - Associação do acaricida químico e acaricida biológico ao atingir o nível de ação no volume de calda de 150 mL/m³ de copa;
- T4** - Associação do acaricida químico e acaricida biológico ao atingir o nível de ação no volume de calda de 150 mL/m³ mais reaplicações isoladas de acaricida biológico a cada 60 dias no volume de calda de 75 mL/m³ de copa.

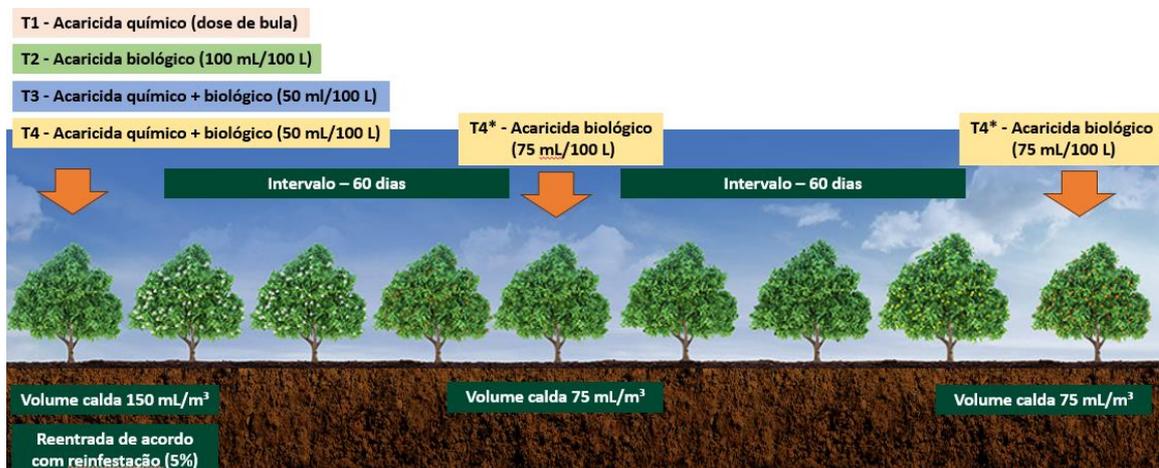


Figura 2. Esquema dos tratamentos conforme intervalo de aplicação, dosagem e volume de calda.

Para os tratamentos T1, T3 e T4 foi utilizado acaricida químico espiroclorfenol (Envidor 240 SC, Gowan Brasil) na primeira aplicação, sendo feita rotação com ciflumetofem (Obny 200 SC, UPL) nas respectivas doses dos produtos comerciais, 20 mL/100 L de água e 40 mL/100 L de água. Para os tratamentos T2, T3 e T4 foi utilizado o fungo *C. javanica* ESALQ- 1296 (Challenger, Koppert Brasil) nas seguintes dosagens: T2 – aplicação isolada a 100 mL/100 L de água; T3 e T4 - aplicação em associação com acaricida químico a 50 mL/100 L de água; T4- reaplicações isoladas a cada 60 dias a 75 mL/100 L de água (Figura 2). O objetivo das reaplicações com o acaricida biológico era de suprimir a população remanescente do ácaro da leprose após a aplicação principal com o acaricida químico isolado ou associado ao acaricida biológico.

Antes da aplicação dos tratamentos foi realizado um levantamento prévio da infestação do ácaro da leprose em cada uma das parcelas, em três frutos ou ramos de três plantas por repetição para distribuição dos tratamentos em blocos de modo que as médias da infestação inicial para cada tratamento fossem semelhantes. Preferencialmente, foram amostrados frutos maduros com lesões de verrugose ou irregularidades na casca e, na ausência de frutos, ramos novos com até 30 cm de comprimento. Após a coleta dos frutos ou ramos, estes foram levados para o Laboratório de Acarologia (AcaroLab) da Unesp-FCAV, em Jaboticabal-SP. Com auxílio de microscópio estereoscópico os frutos ou ramos foram examinados quanto à presença do ácaro da leprose *B. yothersi*, contabilizando-se separadamente as fases de desenvolvimento: ovo, fases imaturas (larvas, protoninfas e deutoninfas) e adultos para cada tratamento.

2.2.3 Aplicação dos tratamentos

A primeira aplicação foi realizada no dia 05/05/2023 para todos os tratamentos. As parcelas foram pulverizadas com um turbo atomizador FMCopling modelo Guliver 4000 (FM Copling Ltda., Araraquara, SP) com defletor bilateral de 72 bicos (36 de cada lado) com pontas de cerâmica do tipo cone vazio AD04 (Máquinas Agrícolas Jacto S.A., Pompeia, SP, Brasil) tracionado por um trator New Holland TL85 (4 × 2 TDA) (New Holland Agrícola Ltda., Mogi das Cruzes, SP, Brasil), na velocidade de 1,8 a 2,2 km/hora para pulverizações com volume de calda de 150 mL/m³ de copa (1.800 L/ha) nas aplicações ao atingir o nível de ação para o controle do ácaro da leprose e, de 4,0 a 4,2 km/hora, com volume de calda de 75 mL/m³ de copa (990 L/ha) nas reaplicações a cada 60 dias. A redução de volume de calda para 75 mL/m³, permite a integração da aplicação do acaricida biológico juntamente com as aplicações padrões

de controle de doenças fúngicas e bacterianas nos pomares de acordo com compatibilidade biológica dos produtos.

O nível de ação estipulado para o controle do ácaro foi de 5% de frutos ou ramos com a presença do ácaro, considerando a média das quatro parcelas do tratamento. Atingido esse nível de ação, respeitando um intervalo mínimo de 30 dias da aplicação anterior, todas as quatro parcelas do tratamento foram pulverizadas com o tratamento no mesmo dia.

2.2.4 Avaliações

Após o início das aplicações, foram realizadas, quinzenalmente, as avaliações de infestação do ácaro da leprose (porcentagem de frutos ou ramos com a presença do ácaro da leprose) em cada uma das parcelas, em três frutos ou ramos de três plantas por repetição (preferencialmente frutos), da mesma forma como descrita para a avaliação prévia, contabilizando separadamente cada uma as fases de desenvolvimento: ovos, fases imaturas e adultos para cada tratamento.

2.2.5 Análises estatísticas

Após a colheita dos frutos em setembro de 2023 e, posteriormente, com a realização de uma aplicação acidental de acaricida químico em toda área experimental pelo produtor em dezembro de 2023, não foram mais observados ácaros nos frutos das floradas não colhidas em todas as parcelas até abril de 2024, quando foi decidido encerrar o experimento. Desta forma, foi decidido utilizar nas análises somente os dados obtidos de abril até setembro de 2023 (132 dias).

O período entre a primeira aplicação do tratamento e a avaliação na qual a média da infestação do ácaro nas quatro parcelas do tratamento atingiu o nível de ação para controle, estipulado em 5%, foi considerado como o período de controle do tratamento. Por não ter sido obtido o período de controle para cada parcela individualmente, esta variável não foi analisada estatisticamente.

As contagens de ovos, fases imaturas, adultos e total (somatória de todos os estádios encontrados) em cada fruto, considerando todas as avaliações, assim como a infestação inicial e média do ácaro (porcentagem de frutos ou ramos com ácaro), e a área abaixo da curva de progresso do índice de infestação do ácaro (AACPII) foram submetidos a uma análise estatística

considerando a estrutura hierárquica do experimento para estudar os efeitos dos tratamentos. Quando necessário, os dados foram log-transformados para atingir os critérios de normalidade e homoscedasticidade.

Para modelar as contagens e a infestação de ácaros, foi ajustado um modelo linear generalizado misto (GLMM) no qual os tratamentos foram considerados como fator fixo, e as datas de avaliação, blocos, plantas e frutos foram considerados como fatores aleatórios. A estrutura hierárquica dos dados foi cuidadosamente considerada durante a modelagem estatística, reconhecendo que os frutos estavam aninhados dentro das plantas, as plantas estavam aninhadas dentro dos blocos e os blocos estavam associados aos diferentes tratamentos. Essa abordagem permitiu a construção de um modelo que capturou adequadamente a variabilidade inerente ao experimento e a distribuição dos ácaros em múltiplos níveis (Schielzeth e Nakagawa, 2013).

Foi utilizada a função `glmer` do pacote `lme4`, considerando uma distribuição Poisson para os dados de contagem, e binomial para a infestação (presença/ausência de frutos com ácaros independentemente da quantidade e/ou estágio dele). De forma semelhante, a infestação inicial detectada na primeira avaliação e a infestação média foram submetidas a uma análise de variância. A separação de médias pelo teste Tukey foi realizada usando as funções `emmeans` e `cld` do pacote `emmeans`. Todas as análises foram realizadas no programa R e considerando um nível de significância de 5%.

2.2.6 Análises de custo dos tratamentos

Para o cálculo de custos foi considerada a pulverização com volume de 150 mL/m³, exclusiva para o controle do ácaro da leprose, com gasto de mão de obra, maquinário e produtos químicos e biológico, considerando o preço de cada produto e a dosagem recomendada por tanque de pulverização, utilizados em um hectare do experimento. O hectare foi transformado em quilômetros lineares para calcular o tempo gasto para pulverizar cada operação dependendo da respectiva velocidade (Equação 1).

$$H = \frac{\left[\frac{\left(\frac{10000}{6} \right)}{1000} \right]}{V}$$

Equação 1

onde, H é o tempo para pulverizar um hectare (hora) e V é a velocidade da operação (km/h).

No cálculo do custo horário do maquinário foi considerado o consumo de combustível (preço do óleo diesel e potência do trator) e a manutenção do trator e do pulverizador (valor do equipamento novo obtido em cotação de revendas, vida útil e taxa de manutenção), sendo 100% para o trator e 60% para o pulverizador (CONAB, 2010; Alves et al., 2020). O custo horário com mão de obra considerou o salário, os encargos trabalhistas e as horas trabalhadas no mês, que quando somado ao custo operacional foi obtido o custo da hora trabalhada.

A área tratada por tanque foi medida dividindo a capacidade do tanque (4.000 L) pelo volume de calda aplicado (150 mL/m³ de copa), considerando o tempo para aplicar e abastecer (0,33 hora), sendo o custo total da operação o custo da hora trabalhada multiplicada pelo tempo para pulverizar um hectare com o gasto em produtos (R\$/hectare).

Utilizando os mesmos parâmetros para o cálculo de custos, foram estimados os valores das reaplicações com volume de 75 mL/m³ de copa. O cálculo do custo total do tratamento 4 considerou tanto a inclusão quanto a exclusão dos custos operacionais, uma vez que essas reaplicações podem ser feitas conjuntamente com as pulverizações já realizadas de forma calendarizada para o manejo das doenças como a pinta preta e o cancro cítrico.

3. RESULTADOS

3.1 Eficácia do acaricida biológico, à base de *Cordyceps javanica* ESALQ-1296, associado a acaricidas químicos no controle de *Brevipalpus yothersi*

Não foram observadas diferenças significativas na média do nível de infestação do ácaro da leprose no início do experimento entre as parcelas dos diferentes tratamentos (acaricida químico *versus* acaricida químico + *C. javanica*) (Tabela 2). Entretanto, durante todo o período de avaliação, a associação do acaricida químico com *C. javanica* apresentou, na média, níveis populacionais do ácaro mais baixos (Figura 3). Considerando a média da área abaixo da curva do índice de infestação do ácaro (AACPII) para os 10 campos, observou-se que a AACPII foi significativamente diferente entre os tratamentos, sendo, 49% menor nas parcelas onde foi realizada a aplicação combinada de acaricida químico e biológico ($t = 2,15$, $P = 0,0469$) (Tabela 2).

Tabela 2. Média \pm erro padrão da média da infestação inicial e da área abaixo da curva de progresso do índice de infestação (AACPII) do ácaro da leprose *Brevipalpus yothersi* até aos 120 dias após a aplicação de acaricida químico (espiroclorfenol ou ciflumetofem) isolado e em conjunto com acaricida biológico a base de *Cordyceps javanica* ESALQ-1296.

Tratamentos	Infestação inicial (%)	AACPII
Acaricida químico + <i>C. javanica</i>	5,9 \pm 0,8 n.s.	151,9 \pm 43,8 b
Acaricida químico	5,7 \pm 1,1	297,3 \pm 80,5 a
Valor de <i>P</i>	0,8428	0,0469

n.s. = médias não diferem significativamente pelo teste t (Valor de $P > 0,05$).

Médias com letras diferentes na coluna diferem significativamente pelo teste t (Valor de $P \leq 0,05$).

Um mesmo padrão na infestação do ácaro da leprose após a aplicação dos tratamentos foi observado independentemente do produto químico utilizado, da época de aplicação e região. Ambos os tratamentos reduziram a população do ácaro da leprose após a aplicação (Figura 3). Aos 60 dias após a aplicação observou-se aumento mais acentuado da população do ácaro nas parcelas com a aplicação isolada do acaricida químico em relação às parcelas com associação do acaricida químico com o acaricida biológico (Figura 3). Após esse aumento, a infestação do ácaro voltou a cair em ambos os tratamentos até os 90 dias após a aplicação, quando voltou a subir também em ambos os tratamentos aos 105 e 120 dias após a aplicação (Figura 3).

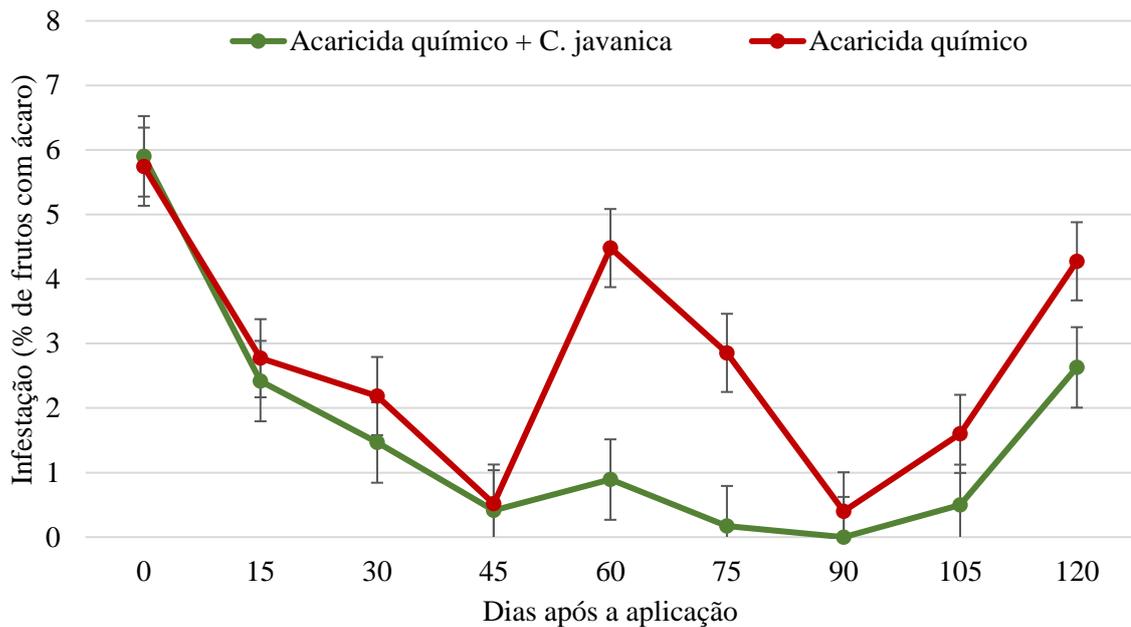


Figura 3. Progresso do índice de infestação médio (\pm erro padrão da média) do ácaro da leprose *Brevipalpus yothersi* antes e após a aplicação de acaricida químico (espiroclifeno ou ciflumetofem) isolado ou em mistura com acaricida biológico à base de *Cordyceps javanica* ESALQ-1296, em 10 campos experimentais.

3.2 Eficácia do acaricida biológico, à base de *Cordyceps javanica* ESALQ-1296, associado a acaricida químico e de reaplicações isoladas do fungo no controle de *Brevipalpus yothersi*

A média da infestação do ácaro no início do experimento não diferiu significativamente entre todos os tratamentos ($\chi^2 = 0,677$, GL = 3, $P = 0,8786$) (Tabela 3).

Após a aplicação de todos os tratamentos no dia 05/05/2023, no período de 132 dias, foram atingidos o nível de ação de 5% nos tratamentos T1, T2 e T3. Para o tratamento somente com acaricida químico (T1), uma segunda aplicação foi necessária 46 dias após a primeira aplicação, quando foi atingido o nível de ação e, depois disso, a infestação do ácaro se manteve abaixo do nível de ação (Tabelas 3 e 4, Figura 4). A utilização do fungo de forma isolada (T2) não foi eficiente em reduzir a população do ácaro da leprose ao decorrer do experimento abaixo no nível de ação estipulado, sendo realizadas outras duas aplicações com intervalo médio de 42 dias (46 dias após a 1ª aplicação e 38 dias após a 2ª aplicação) até o encerramento do experimento após 132 dias do início (Tabelas 3 e 4, Figura 4). A associação entre *C. javanica* e o acaricida químico (T3) proporcionou redução significativa na população de ácaros em comparação com o uso isolado de cada acaricida, atingindo um período de controle de 122 dias, quando foi reaplicado, sendo 76 dias a mais em relação ao tratamento com acaricida químico

isolado (Tabelas 3 e 4, Figura 4). Assim como observado no T3, a combinação de *C. javanica* com o acaricida químico no T4 proporcionou ação imediata na redução da população de ácaros, e as duas reaplicações do fungo entomopatogênico isolado (63 dias após a 1ª aplicação e 59 dias após a 1ª reaplicação) mantiveram a infestação abaixo do nível de ação (5%) durante todo o experimento, sem necessidade de reentrada com a associação dos dois produtos (Tabelas 3 e 4, Figura 4).

Tabela 3. Média (\pm erro padrão da média) da infestação inicial de ácaro da leprose antes da aplicação dos tratamentos, do período de controle até atingir nível de ação de 5%, da infestação do ácaro no período do experimento e da área abaixo da curva de progresso do índice de infestação (AACPII) até 132 dias após a aplicação para os tratamentos.

Tratamentos	Infestação inicial (%)	Período de controle (dias)*	Infestação média (%)	AACPII
T1 - Acaricida químico NA	13,9 \pm 8,3 n.s.	46	5,8 \pm 2,6 b	1067 \pm 495 ab
T2 - <i>C. javanica</i> NA	11,1 \pm 3,2	42	25,8 \pm 4,3 c	2081 \pm 180 b
T3 - Acaricida químico + <i>C. javanica</i> NA	8,3 \pm 8,3	122	3,6 \pm 1,3 ab	584 \pm 109 a
T4 - Acaricida químico + <i>C. javanica</i> NA e <i>C. javanica</i> 60d	5,6 \pm 5,6	-	1,4 \pm 0,6 a	207 \pm 103 a

NA = aplicação quando atingiu o nível de ação de 5% de frutos ou ramos com ácaro.

60d = aplicação do acaricida biológico *Cordyceps javanica* ESALQ-1296 a cada 60 dias após a primeira aplicação.

n.s. = médias na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey (Valor de $P > 0,05$).

Médias com letras diferentes na coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (Valor de $P \leq 0,05$).

*Para T1 e T3 é o tempo da primeira à segunda aplicação. Para T2 é o tempo médio entre a primeira e segunda aplicação e entre a segunda e a terceira aplicação. Para o T4 não foi atingido o nível de ação de 5% até o final do experimento.

Tabela 4. Datas de aplicação e volumes de calda utilizados para aplicações em cada tratamento, umidade relativa e temperatura média durante o dia de aplicação.

Data da aplicação	Tratamento ^x	Volume de calda (mL/m ³ de copa)	Dados climáticos	
			UR média (%)	Temperatura média (°C)
05/05/2023	T1,T2,T3 e T4	150	50	28
20/06/2023	T1 e T2	150	52	26
07/07/2023	T4*	75	45	15
28/07/2023	T2	150	44	25
04/09/2023	T3	150	48	29
	T4*	75		

^x Tratamentos: T1 – Acaricida químico ao atingir o nível de ação; T2 - Acaricida biológico ao atingir o nível de ação; T3 – Acaricida químico + biológico ao atingir o nível de ação; T4 – Acaricida químico + biológico ao atingir o nível de ação e somente biológico a cada 60 dias (T4*).

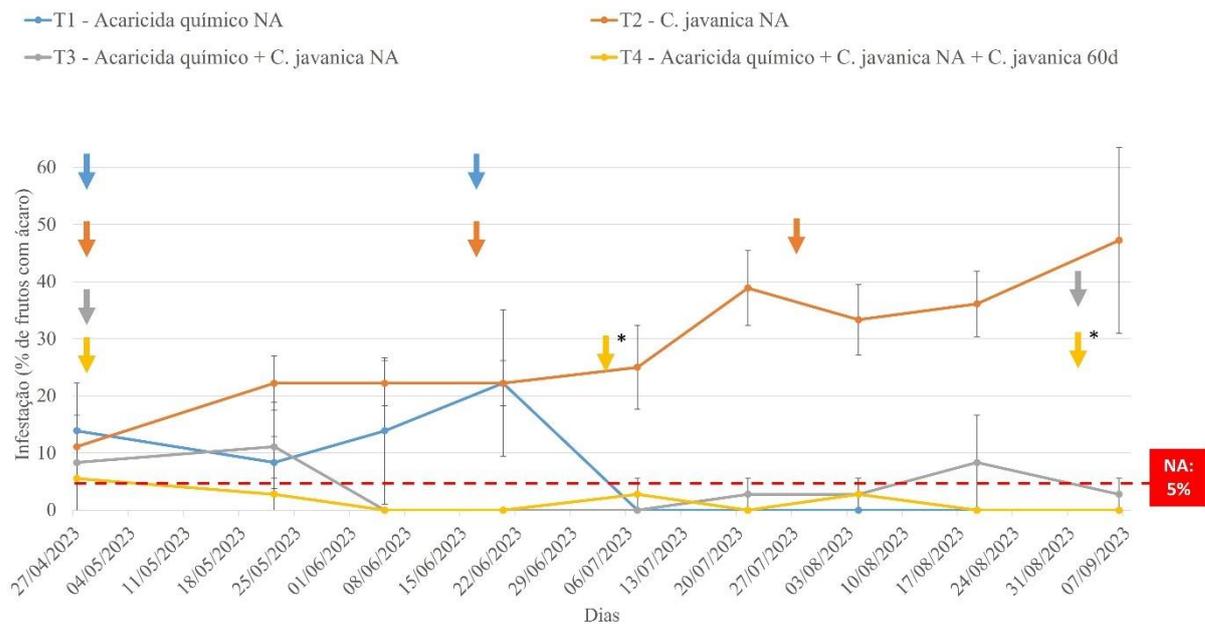


Figura 4. Progresso do índice de infestação médio (\pm erro padrão da média) do ácaro da leprose *Brevipalpus yothersi* após a aplicação dos tratamentos T1 - Acaricida químico no nível de ação (NA); T2 - *Cordyceps javanica* ESALQ-1296 no nível de ação; T3 - Acaricida químico + *C. javanica* ESALQ-1296 no nível de ação; e T4 - Acaricida químico + *C. javanica* ESALQ-1296 no nível de ação e *reaplicação isolada de *C. javanica* ESALQ-1296 no nível de ação e *reaplicação isolada de *C. javanica* ESALQ-1296 a cada 60 dias, no período de abril a setembro de 2023. Setas indicam as datas de aplicações de cada tratamento. NA 5% = nível de ação para controle do ácaro da leprose correspondente a 5% de frutos ou ramos com a presença do ácaro.

A infestação média do ácaro (porcentagem de frutos ou ramos com ácaro) durante o período do experimento, também foi influenciada significativamente pela aplicação dos diferentes tratamentos ($\chi^2 = 112,4$, GL = 3, $P < 0,0001$), com média de 5,8% para o tratamento com acaricida químico isolado (T1), 25,8% tratamento somente com *C. javanica* (T2) e 3,6% na associação do acaricida biológico com o químico (T3), não diferindo significativamente do tratamento químico e do tratamento com associação e reaplicações do fungo (T4), com média de 1,4% durante o período do experimento (Tabela 3).

Da mesma forma a AACPII foi significativamente influenciada pelos tratamentos aplicados ($\chi^2 = 26,34$, GL = 3, $P < 0,0001$). As médias da AACPII dos tratamentos com os acaricidas químico e biológico aplicados isoladamente não diferiram entre si. Entretanto, a aplicação de acaricida químico em conjunto com *C. javanica*, tanto sem reaplicações do fungo (T3), quanto com reaplicações a cada 60 dias (T4), apresentaram, respectivamente, uma AACPII 72% e 90% menor que a aplicação do acaricida biológico isolado (T2). As AACPII médias de cada um desses dois tratamentos não diferiram significativamente da AACPII média da aplicação do acaricida químico isolado (T1) (Tabela 3).

Ao longo do tempo, houve diferenças significativas entre os tratamentos quanto à média do número de ovos ($\chi^2 = 67,83$, GL = 3, $P < 0,0001$), de larvas + ninfas ($\chi^2 = 101,31$, GL = 3, $P < 0,0001$), de adultos ($\chi^2 = 71,37$, GL = 3, $P < 0,0001$) e do número total de indivíduos independentemente da fase do ciclo biológico ($\chi^2 = 225,95$, GL = 3, $P < 0,0001$) (Figura 5).

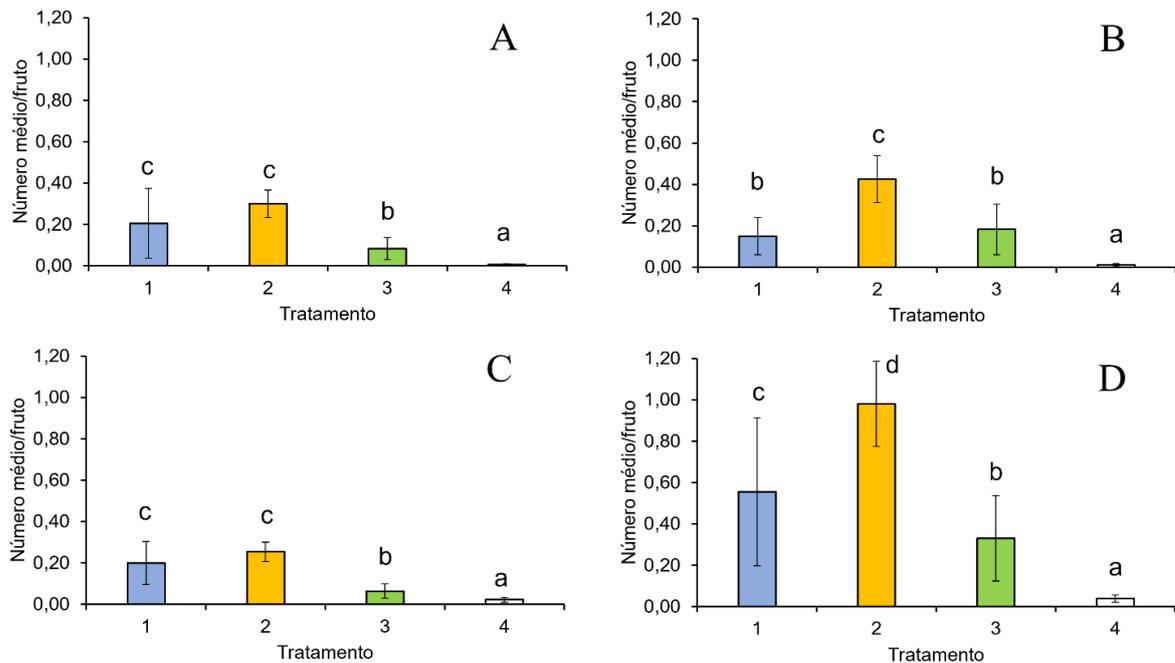


Figura 5. Número médio (\pm erro padrão da média) de indivíduos de ácaro da leprose *Brevipalpus yothersi* por fruto nas fases de ovo (A), larvas + ninfas (B), adultos (C), e total (D; somatória de todas as fases encontradas encontrados), em função dos tratamentos aplicados (1: Acaricida químico no nível de ação; 2: *Cordyceps javanica* ESALQ-1296 no nível de ação; 3: Acaricida químico + *C. javanica* ESALQ-1296 no nível de ação; 4: Acaricida químico + *C. javanica* ESALQ-1296 no nível de ação e reaplicação de *C. javanica* ESALQ-1296 a cada 60 dias no período de maio a setembro de 2023.. Tratamentos com a mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si (teste Tukey, $P < 0,05$).

O tratamento com aplicação somente do acaricida biológico (T2) apresentou quantidade significativamente maior de todas as fases do ácaro em comparação ao tratamento químico convencional (T1), totalizando, em média, 75% a mais de ácaros totais por fruto (médias de $0,98 \pm 0,21$ no T2 e de $0,56 \pm 0,36$ no T1 (Figura 5). Por outro lado, a associação entre o acaricida químico e o acaricida biológico (T3) reduziu significativamente a quantidade de todas as fases do ácaro em relação ao acaricida químico isolado, sendo a redução de 41% na média do número total de ácaro (média de $0,33 \pm 0,21$). Essa diminuição significativa na população de ácaros sugere sinergismo entre os acaricidas estudados, resultando em maior eficiência no controle de ácaros quando utilizados em conjunto. Da mesma forma, associação do acaricida biológico com o químico mais as reaplicações de acaricida biológico (T4) resultou em menor

quantidade de todas as fases do ácaro durante o período do experimento, sendo a média do número total de ácaros por fruto 93% e 88% menor em relação ao T1 e T3, respectivamente (Figura 5).

O custo operacional (mão de obra + maquinário) para uma aplicação exclusiva para o controle do ácaro da leprose com volume de calda de 150 mL/m³ de copa nas condições da área experimental foi estimado em R\$ 89,57 por hectare (Tabela 5). Com base no custo de cada produto acaricida e nas doses e volumes de calda utilizados nos tratamentos desse experimento, foi estimado o custo dos produtos por aplicação (Tabela 6). Os mesmos gastos foram calculados para pulverização com volume de 75 mL/m³ de copa dentro das proporções do experimento, tendo custo estimado total de R\$ 56,25 por hectare.

Tabela 5. Parâmetros para a estimativa do custo operacional da aplicação exclusiva para o controle do ácaro da leprose dos citros e da aplicação padrão para doenças fúngicas e bacterianas, incluindo o custo de mão de obra e maquinário, para a área experimental (Base de dados média jan-maio/2024).

	Exclusiva leprose	Padrão doenças
Volume de copa (m ³ /ha)	12.495	12.495
Volume de calda (mL/m ³)	150	75
Volume de calda (L/ha)	1.874,3	937,1
Custo da mão de obra (MO) e da máquina		
Área tratada por tanque (ha)	2,1	4,3
Tempo para aplicar 1 tanque (h)	1,1	1,5
Tempo para abastecimento (h/tanque)	0,3	0,3
Tempo para aplicar e abastecer (h/tanque)	1,4	1,8
Tempo para aplicar e abastecer (h/ha)	0,7	0,4
Custo com diesel (R\$/ha)	37,40	23,5
Custo da MO e da máquina (R\$/ha/aplicação)	89,57	56,25

Tabela 6. Custo dos acaricidas químicos e biológicos de acordo com as doses volumes de calda utilizados em cada tratamento para uma aplicação (Base de dados média jan-maio/2024).

Ingrediente ativo (dosagem)	Custo (R\$/ha/aplicação)
Espirodiclofeno (20 mL/100 L)	63,88
Ciflumetofem (40 mL/100 L)	155,52
<i>Cordyceps javanica</i> (100 mL/100 L)	187,43
<i>Cordyceps javanica</i> (50 mL/100 L)	93,71
<i>Cordyceps javanica</i> (75 mL/100 L)	70,28

Somando-se os custos operacionais aos custos dos produtos em cada aplicação realizada para cada tratamento durante os 132 dias do experimento, observou-se que o tratamento T2 foi o mais caro, seguido pelos tratamentos T3, T4 considerando o custo operacional, T1 e T4 sem considerar o custo operacional (Tabela 7). Comparado ao tratamento convencional de aplicação

de acaricida químico isolado (T1), a aplicação do acaricida biológico isolado, além de ter resultado num controle menor do ácaro, representou um aumento de custo de 109% (Tabela 7).

No caso da aplicação conjunta do acaricida químico com o biológico (T3), assim como no tratamento convencional, foram necessárias duas aplicações e, dessa forma, o aumento de custo em relação ao tratamento convencional foi de 47% (adição do valor do acaricida biológico) (Tabela 7). Como a redução do número de ácaros totais com o T3 foi de 41% em relação ao T1, eles praticamente empatam na relação custo-benefício.

Com relação à aplicação conjunta do acaricida químico com o biológico seguida de reaplicações do biológico a cada 60 dias (T4), o custo foi 25,5% maior considerando os custos operacionais da operação com 75 mL/m³ de copa. Entretanto, o custo do T4 foi ligeiramente menor que do tratamento convencional (2,7% menor) quando não se consideraram os custos operacionais das reaplicações, uma vez que elas podem ser feitas “de carona” com as aplicações para o controle de cancro cítrico e pinta preta, já realizadas de forma calendarizada. Caso essas reaplicações fossem feitas exclusivamente para o controle do ácaro da leprose, com volume de 150 mL/m³, o custo total desse tratamento no experimento teria sido 42% maior que o tratamento convencional. Mesmo assim, ainda teria uma relação custo-benefício bastante favorável, uma vez que o T4 teve 93% menos ácaros totais que o T1, nas condições desse experimento.

Tabela 7. Custo total dos tratamentos acaricidas durante o experimento considerando o custo operacional e dos produtos (Base de dados média jan-maio/2024).

Tratamentos	Custo (R\$/ha)
T1	398,54
T2	831,00
T3	585,96
T4*	500,23
T4**	387,72

^x Tratamentos: T1 – Acaricida químico ao atingir o nível de ação; T2 - Acaricida biológico ao atingir o nível de ação; T3 – Acaricida químico + biológico ao atingir o nível de ação; T4 – Acaricida químico + biológico ao atingir o nível de ação e somente biológico a cada 60 dias. * Considera o custo operacional das reaplicações com o biológico. ** Não considera o custo operacional das reaplicações com o biológico por assumir que estas aplicações foram em carona com as aplicações calendarizadas para doenças fúngicas e bacterianas.

4. DISCUSSÃO

O Manejo Integrado de Pragas (MIP) na agricultura preconiza, juntamente com monitoramento contínuo de pragas e seus inimigos naturais, o uso combinado de diferentes medidas de controle. A integração dessas medidas visa maximizar a eficácia do controle de pragas baseando-se em análises de custo-benefício, interesse e impacto sobre produtores, sociedade e ambiente (Kogan, 1998). Geralmente, a utilização de medidas de controle isoladas, seja o controle químico ou o biológico, em altas infestações de pragas se torna ineficiente, principalmente, devido à quantidade de insetos e ácaros restantes após a pulverização, que continuando sua multiplicação, rapidamente atingem o nível de dano econômico novamente. Por mais que a integração de medidas de controle químico e biológico seja preconizada pelo MIP, devido a complementariedade dos modos de ação, ainda são necessários estudos para avaliação em condições de campo da eficácia dessa integração, assim como da análise custo-benefício.

A eficácia da aplicação de acaricidas na mortalidade do ácaro desempenha papel crucial na determinação da quantidade de ácaros que sobrevivem, o que por sua vez inicia uma nova infestação na planta. Assim, fatores como populações tolerantes ou resistentes a determinadas moléculas químicas, resultam em uma maior população de ácaros sobreviventes que ao se reproduzirem normalmente, necessitarão de menos tempo para atingir novamente um índice de infestação correspondente ao nível de ação, encurtando assim o período de controle do ácaro, como observado para o tratamento apenas com a aplicação de acaricidas químicos (T1 do experimento 2), cuja necessidade de reaplicação ocorreu após apenas 46 dias da primeira aplicação. Nesse caso, a primeira aplicação foi realizada com o acaricida espirodiclofeno, para o qual casos de populações resistentes do ácaro da leprose têm sido relatados no cinturão citrícola (Rocha et al., 2021).

Quando uma infestação de pragas está em níveis altos e requer ação rápida para evitar danos significativos às plantas, o uso de fungos entomopatogênicos isolados pode não ser a escolha mais adequada. Isso foi observado no tratamento apenas com o acaricida biológico (T2 do experimento 2), onde foram observados índices de infestação do ácaro constantemente acima do nível de ação mesmo após três aplicações do acaricida biológico. Isso ocorre porque, mesmo promovendo a mortalidade do ácaro, os fungos precisam de maior tempo para infectar e matar as pragas que para alguns produtos químicos sintéticos de ação mais imediata. Assim, durante esse período, a praga pode continuar a se multiplicar, aumentando ainda mais a infestação. A

maior quantidade de ovos nos tratamentos com os acaricidas químico e biológico isolados pode ter contribuído para o aumento populacional após as aplicações. Estudos anteriores, como o de Da Silva (2012), demonstraram a inviabilidade de 100% dos ovos do ácaro da leprose pelo acaricida espiroclorfenol. No entanto, devido à composição física e química do córion, a camada externa que protege o embrião dentro do ovo, alguns produtos encontram dificuldades para penetrar, como é o caso da ação dos conídios dos fungos entomopatogênicos. Resultados semelhantes foram observados por Rossi (2002) com a aplicação de *Hirsutiella thompsonii* em ovos do ácaro da leprose, sem apresentar uma diminuição significativa na eclosão de larvas do ácaro.

Uma estratégia para tentar solucionar este problema, poderia ser reduzir ainda mais o intervalo entre as aplicações com o acaricida biológico. Com aplicações mensais do fungo *C. javanica* ESALQ-1296, Conceschi (2017) obteve populações de *B. yothersi* quase três vezes menor que no tratamento sem aplicação (0,3 ácaros/cm²/planta versus 0,9 ácaros/cm²/planta), com volume de calda de 60 mL/m³ de copa, inferior ao recomendado para a praga. Entretanto, o custo das aplicações poderia tornar esta estratégia inviável quando considerado um volume de calda maior.

Outra estratégia, seria associar o fungo entomopatogênico a uma molécula química sintética em infestações que ultrapassam o nível de ação recomendado para o controle. Com base nos resultados dos dez campos do experimento 1, observou-se que a associação entre o acaricida químico e o fungo *C. javanica* ESALQ-1296 proporcionou um controle mais eficaz da população do ácaro da leprose em comparação ao uso somente de acaricida químico, indicando haver um efeito aditivo ou sinérgico entre os produtos. Estes resultados foram obtidos novamente no segundo experimento, no qual ambos os tratamentos isolados, químico e biológico, apresentaram maior quantidade de ácaros em comparação aos tratamentos com a associação entre os dois acaricidas. Essa abordagem integrada demonstrou-se crucial para garantir um controle eficaz e rápido da população de ácaros, dada a rápida propagação desses organismos quando os níveis de infestação excedem os limites aceitáveis, como demonstrado nos resultados dos tratamentos em ambos os experimentos. A utilização de uma combinação de medidas de controle se mostra como a melhor estratégia em situações de infestação elevada e essa abordagem contribui significativamente para estender o período de controle logo após a primeira aplicação, como foi possível observar quando comparamos com as duas medidas isoladas, e com uma menor quantidade de ácaros, independentemente da fase, como observado nos tratamentos 3 e 4, significativamente diferentes dos demais tratamentos.

A combinação de acaricidas químicos e fungos entomopatogênicos tem sido bem menos estudada em comparação às misturas de fungos com inseticidas (Kaakeh et al., 1997; Quintela e McCoy, 1998; Ramakrishnan et al., 1999; Lacey et al., 1999; Pachamuthu e Kamble, 2000; Zurek et al., 2002; Ying et al., 2003; Jaramillo et al., 2005; Ericsson et al., 2007; Sharififard et al., 2011; Zou et al., 2014; Ahmed et al., 2020). Entretanto, alguns trabalhos na literatura também observaram a sinergia entre acaricidas químicos e biológicos. Amjad et al. (2012) observaram maior eficácia da mistura do fungo entomopatogênico *Paecilomyces fumosoroseus* Wize (Brown and Smith) com o acaricida químico clofenapir no controle de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) que com cada um dos acaricidas isolados. López-Manzanares et al., (2022) evidenciaram o benefício da associação de *B. bassiana* e espirodiclofeno sobre ninfas de *T. urticae*.

A sinergia entre os fungos entomopatogênicos e os acaricidas químicos surge da complementaridade de seus modos de ação distintos, o que pode resultar em maior eficácia do controle de ácaros do que quando utilizados isoladamente. Essa combinação, mesmo após uma única aplicação obteve uma menor quantidade remanescente de ácaros, o que pode explicar o período de controle estendido observado no primeiro e segundo experimentos. Além disso, a diversidade de modos de ação diminui a probabilidade de seleção de populações resistentes de ácaros, uma vez que a pressão seletiva sobre a população é reduzida contribuindo para a eficácia contínua das estratégias de controle ao longo do tempo. Gao (2017) estudou o potencial de resistência da mosca branca *B. tabaci* ao fungo entomopatogênico *C. fumosorosea*. Neste trabalho, cinco gerações sucessivas de mosca branca infectadas foram testadas, não revelando diferenças significativas na suscetibilidade ao fungo. Além disso, observou-se deformação e degradação nos tecidos reprodutivos dos insetos durante a infecção fúngica, indicando a eficácia do fungo como agente de controle sem evidências de resistência emergente, o que pode contribuir para o manejo de resistência em campo com aplicações do fungo ao decorrer da safra.

De acordo com Mascarin (2010), a introdução inoculativa de fungos entomopatogênicos tem sido mais amplamente aplicada em cultivos semiperenes e perenes, como mandioca, café, frutíferas e florestas, considerados mais estáveis e com um ciclo de cultivo mais longo, o que proporciona tempo suficiente para o estabelecimento dos agentes microbianos, contribuindo para o aumento da resistência ambiental.

O tratamento com reaplicações de *C. javanica* ESALQ-1296 com intervalo de 60 dias (T4 no experimento 2) obteve a menor quantidade de ácaros, independentemente da fase, e menor porcentagem de infestação do ácaro, não atingindo o nível de ação para uma nova

aplicação do acaricida químico + biológico durante o período do experimento. Esses resultados evidenciaram a capacidade do fungo entomopatogênico, mesmo em menor dose e volume de calda de pulverização, em manter as populações de ácaros abaixo do nível de ação, reduzindo a dependência de intervenções adicionais com os produtos químicos.

Embora os fungos entomopatogênicos sejam amplamente reconhecidos por sua capacidade de controlar populações de pragas por sua ação direta sobre a praga, é necessário aprofundar os estudos sobre todos os benefícios e mecanismos envolvidos na interação desses fungos com as plantas hospedeiras e os organismos-alvo. A complexidade das relações simbióticas que esses fungos estabelecem, bem como seu impacto nas respostas imunológicas de insetos e ácaros, e nas vias de defesa das plantas, ainda requer maior exploração. Ramos Aguila et al. (2022) observaram que mudas de *C. sinensis* colonizadas endofiticamente por *B. bassiana* apresentaram mudanças no sistema imunológico de *D. citri* que se alimentaram delas, destacando a característica endofítica do fungo como um fator chave na modulação dessas respostas e na potencial proteção da planta contra a praga além do controle por contato e infecção. Essa ativação de mecanismos de defesa na planta pela colonização endofítica de *C. javanica* ou mesmo alterações no sistema imunológico do ácaro alimentado nas plantas tratadas com o fungo poderia ser mais uma das explicações da manutenção da baixa população do ácaro da leprose após a aplicação e reaplicações do fungo mesmo em dose e volume de calda menores que os recomendados para o seu controle direto sobre o ácaro.

As aplicações com fungos entomopatogênicos em volumes de calda mais altos, como recomendado para o ácaro da leprose e doenças fúngicas e bacterianas, podem aumentar a umidade na planta e, pelo modo de ação do fungo *C. javanica*, possibilita o maior contato dos conídios com o alvo biológico, uma vez que atinge tanto as áreas internas e externas da planta. Entretanto, aplicações mensais de *C. javanica* com volume de calda de 60 mL/m³ de copa, visando o controle do psilídeo *D. citri* em pomares de citros, reduziu em 216,3% a população do ácaro da leprose em relação às parcelas não tratadas (Conceschi, 2017).

Além da escolha ideal da cepa, com características desejáveis, como alta virulência contra o alvo, e adaptabilidade a diferentes condições ambientais, é crucial considerar a tecnologia embutida na formulação dos fungos entomopatogênicos para garantir sua eficácia em condições de campo. Os inertes de uma formulação desempenham um papel fundamental na proteção dos conídios do fungo durante o armazenamento, transporte e aplicação, além de possibilitar a mistura com ativos químicos de acordo com compatibilidade biológica.

Os tratamentos fitossanitários e nutricionais de cada uma das fazendas foi mantido da mesma forma para todos os tratamentos, sugerindo que as aplicações de fungicidas realizadas nos intervalos não tiveram efeito deletério sobre a ação do fungo, assim como observado por Conceschi (2017), onde a eficácia dos conídios de *C. javanica* ESALQ-1296 não foi prejudicada quando pulverizados antes ou depois da aplicação dos fungicidas a base de enxofre (Kumulus DF, BASF), cobre (Kocide WDG, Corteva), trifloxistrobina + tebuconazole (Nativo, Bayer) e trifloxistrobina (Flint 500 WG, Bayer). Desta forma, é possível integrar as aplicações calendarizadas visando o controle da pinta preta e cancro cítrico em citros, em pulverizações separadas ou associadas de acordo com a compatibilidade biológica.

Considerando os diversos relatos sobre a potencialidade de *Cordyceps* spp. para o controle de *D. citri* no mundo (Avery et al., 2009; Hoy et al., 2010; Hunter et al., 2011; Lezama-Gutiérrez et al., 2012; Conceschi, 2013, Ausique, 2014; Orduño-Cruz et al., 2015; Conceschi, 2017; Fiaz et al., 2018), assim como para o ácaro da falsa ferrugem *P. oleivora*, relatado por Conceschi (2017) em pomar convencional de laranja, a integração do fungo ao manejo convencional pode ser vantajosa considerando seu amplo espectro de controle, contribuindo para manutenção de insetos e ácaros em níveis abaixo ao nível de dano determinado para cultura, além do manejo para ácaro da leprose como demonstrado no presente estudo, manejo de resistência e ambiental.

A transição da citricultura para o uso de produtos biológicos enfrenta um dilema inicial relacionado ao incremento do custo, já considerado alto pela necessidade contínua de aplicações durante a safra. No entanto, a análise por dias de controle revela que esses custos iniciais são amortizados ao longo do tempo, à medida que os benefícios dos produtos biológicos se tornam mais evidentes. Em termos percentuais, o tratamento com associação do acaricida químico e biológico (T3) pode inicialmente ter um custo mais elevado, mas ao longo do tempo, devido à menor necessidade de reaplicações da mistura acaricida químico + biológico, pode resultar em economias significativas, podendo destacar a eficiência a longo prazo do tratamento com período de controle prolongado, levando em conta não apenas o custo inicial, mas também os custos operacionais ao longo do ciclo da cultura uma vez que a operação de leprose deve ser feita de forma exclusiva, além da menor possibilidade de transmissão do vírus pela menor quantidade de ácaros.

Como o T4 (Acaricida químico + *C. javanica* no nível de ação e replicações de *C. javanica* a cada 60 dias) apresentou menor AACPII, menor quantidade de ácaros e menor custo, ele pode ser considerado vantajoso mesmo sem considerar a ação do fungo em outras pragas

presentes nos pomares. Mesmo quando consideramos o custo operacional da aplicação do biológico em associação com o controle de doenças fúngicas e bacterianas, o custo total se equipara ao valor com duas aplicações do acaricida químico associado ao biológico, se mantendo uma alternativa viável a longo prazo. Com um controle mais amplo e sustentável de pragas há menor risco de seleção de populações de pragas resistentes e de resíduos nas frutas, maior segurança para trabalhadores e consumidores, e redução da dependência de produtos químicos. Além disso, à medida que a demanda por alimentos sustentáveis e livres de resíduos cresce, produtores que adotam produtos biológicos podem se beneficiar de preços mais altos e de uma posição mais forte no mercado.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos, nas condições em que foram realizados este estudo, demonstram o potencial do uso do fungo entomopatogênico *C. javanica* ESALQ-1296 no manejo integrado de ácaro da leprose *B. yothersi* em pomares de citros.

Com base nos resultados apresentados pode-se concluir que:

- A combinação do acaricida químico na dose de bula com o acaricida biológico *C. javanica* ESALQ-1296 a 50 mL/100 L de água, aplicados com volume de calda de 150 mL/m³ de copa, resulta em melhor controle do ácaro da leprose dos citros que quando esses acaricidas são utilizados separadamente.
- Após reduzir a população do ácaro da leprose para níveis abaixo do nível de controle, replicações com intervalo de 60 dias de *C. javanica* ESALQ-1296 a 75 mL/100 L de água com volume de 75 mL/m³ de copa são eficazes em manter por maior tempo a população do ácaro abaixo do nível de ação de 5% de infestação.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- AHMED, K.; FREED, S.; SHOUKAT, R.F.; KANWAR, W.A. Efficacy of entomopathogenic fungi with insecticides mixtures against *Oxycarenum hyalinipennis* (Costa) (Lygaeidae: Hemiptera). **Pakistan Journal of Zoology**, v. 52, n. 2, p. 573, 2020.
- ALVES, E. B.; RIBEIRO, P.C.; CAMPOS, F.J.; OMOTO, C. A resistência do ácaro da leprose (*Brevipalpus phoenicis*) ao dicofol pode ser manejada? In: **Congresso brasileiro de entomologia**, 17., Rio de Janeiro, 1998. Resumos. Rio de Janeiro: SEB, v. 2, p. 1048. 1998.
- ALVES, E.B.; CSARIN, N.F.B.; OMOTO, C. Mecanismos de dispersão de *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acari: Tenuipalpidae) em pomares de citros. **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 89-96. 2005.
- ALVES, L.F.A.; DE QUEIROZ SANTANA, D.; ANDRADE, D.P. Damage characterization and control tactics to broad mite (*Polyphagotarsonemus latus* Banks) in Paraguay-tea plants (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 8, n. 2, p. 208-212, 2010.
- ALVES, L. R. A.; BARROS, G. S. C.; OSAKI, M.; LIMA, F. F. Gestão operacional e custo de produção de algodão em Mato Grosso. In: Bélot, J.-L.; Vilela, P. M. C. A. (Eds.). **Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso**. 4. ed. Cuiabá: IMAmT, AMPA, p. 32–54, 2020.
- AMJAD, M.; BASHIR, M.H.; AFZAL, M.; SABRI, M.A.; JAVED, N. Synergistic effect of some entomopathogenic fungi and synthetic pesticides, against two spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Pakistan Journal of Zoology**, v. 44, n. 4, p. 977-984. ,2012.
- ANDRADE, D.J.; PATTARO, F.C.; OLIVEIRA, C.A.L. Principais ácaros-praga da citricultura atual. In: Andrade, D.J., Ferreira, M.C., & Martinelli, N.M. (Eds.). **Aspectos da Fitossanidade em Citros**. São Paulo: Cultura Acadêmica, pp. 54-74. 2014.
- ARNOSTI, A.; DELALIBERA, I.; 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, p. 487-493, 2019.
- AUSIQUE, J.J.S. Desenvolvimento de estratégias para incorporação de fungos entomopatogênicos no manejo de *Diaphorina citri* Kuwayama, 1908 (Hemiptera: Liviidae) na cultura dos citros. **Tese de Doutorado em Ciências**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2014.
- AVERY, P.B.; FAULL, J.; SIMMONDS, M.S. Effects of *Paecilomyces fumosoroseus* and *Encarsia formosa* on the control of the greenhouse whitefly: preliminary assessment of a compatibility study. **BioControl**, v. 53, p. 303-316, 2008.
- AVERY, P.B.; HUNTER, W.B.; HALL, D.G.; JACKSON, M.A.; POWELL, C.A.; ROGERS, M.E. (2009). *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) infection and dissemination of the entomopathogenic fungus *Isaria fumosorosea* (Hypocreales: Cordycipitaceae) under laboratory conditions. **Florida Entomologist**, v. 92, p. 608–618, 2009.
- BARROS, J.R.M.; BARROS, A.L.M.; CYPRIAN, M.P. **O mercado da citricultura no Brasil e suas novas perspectivas**. São Paulo: CitrusBR. 2016.

- BASSANEZI, R.B., SPÓSITO, M.B.; YAMAMOTO, P.T. (2002). Adeus a leprose. **Revista Cultivar**, v. 10, n. 1, p. 37, 2002.
- BASSANEZI, R.B. **Leprose dos citros: medidas essenciais de controle**. 2. ed. Araraquara: Fundecitrus. 2017.
- BASSANEZI, R.B. **Manual de leprose dos citros: medidas essenciais de controle**. 2. ed. Araraquara: Fundecitrus. 2018.
- BITANCOURT, A.A. A leprose dos Citrus. **O Biológico**, v. 6, n. 1, p.39-45, 1955.
- BUGEME, D.M.; MANIANIA, N.K.; KNAPP, M.; BOGA, H.I. Effect of temperature on virulence of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* isolates to *Tetranychus evansi*. **Diseases of Mites and Ticks**. p. 275-285, 2009.
- CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. **Introduction to Plant Disease Epidemiology**. New York: John Wiley & Sons. 1990.
- CAMPOS, F.J.; OMOTO, C. Ácaro da Leprose: existe resistência cruzada entre hexitiazox e flufenoxuron? **Citricultura Atual**, v. 5, n. 26, p. 14, 2002.
- CAVALCANTI, R.S.; REIS, P.R.; MOINO JUNIOR, A.; ALTOÉ, B.F.; FRANCO, R.A.; CARVALHO, T.M.B.D. Patogenicidade de fungos entomopatogênicos a três espécies de ácaros em cafeeiro. **Coffee Science**, v.3, n.1, p.68-75, 2008.
- CITRUSBR - Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos. (2022). Produção de laranja e suco. Disponível em: <https://citrusbr.com/noticias/safra-2021-2022-fecha-com-exportacoes-de-suco-de-laranja-em-alta/>. Acesso em: 19 de agosto de 2023.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Custos de produção agrícola: a metodologia da CONAB**. Brasília, CONAB, 2010. 60p.
- CONCESCHI, M.R. Potencialidade dos fungos entomopatogênicos *Isaria fumosorosea* e *Beauveria bassiana* para o controle de pragas dos citros. **Tese de mestrado**. Piracicaba, SP: Universidade de São Paulo. 2013.
- CONCESCHI, M.R. Parâmetros a serem considerados nas pulverizações do fungo *Isaria fumosorosea* para o manejo de *Diaphorina citri*. **Tese de doutorado**. Piracicaba, SP: Universidade de São Paulo. 2017.
- DA SILVA, M.Z.; SATO, M.E.; DE OLIVEIRA, C.A.L.; VERONEZ, B. Toxicidade de agroquímicos ao ácaro-da-leprose dos citros *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) e ao ácaro predador *Neoseiulus californicus* (McGregor)(Acari: Tenuipalpidae, Phytoseiidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 79, p. 363-370, 2012.
- DELLA VECHIA, J.F.; BASSANEZI, R.B.; ANDRADE, D.J. Physicochemical and biological compatibility of insecticide mixtures with acaricide in the management of *Brevipalpus yothersi*. **Systematic & Applied Acarology**, v. 24, n. 8, p. 1455-1464, 2019.
- ERICSSON, J.D.; KABALUK, J.T.; GOETTEL, M.S.; MYERS, J.H. Spinosad interacts synergistically with the insect pathogen *Metarhizium anisopliae* against the exotic wireworm *Agriotes lineatus* and *Agriotes obscurus* (Coleoptera: Elatridae). **J. econ. Ent.**, v. 100: p. 31-38, 2007.
- FRANCO, C.R.; CASARIN, N.F.; DOMINGUES, F.A.; OMOTO, C. Resistência de *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) a acaricidas inibidores da respiração celular em citros: resistência cruzada e custo adaptativo. **Neotropical Entomology**, v. 36, p. 565-576, 2007.

- FIAZ, M.; AFZAL, M.; MAJEED, M.Z. Synergistic action of *Isaria fumosorosea* Wize (Hypocreales: Cordycipitaceae) and spirotetramat against Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) under field conditions. **Pakistan Journal of Agricultural Research**, v. 31, n. 2, p. 194-201, 2018.
- FONTES, E.M.G.; PIRES, C.S.; SUJII, E.R. ESTRATÉGIAS DE USO E HISTÓRICO. In: FONTES, E.M.G.; VALADARES-INGLIS, M.C. (Eds.). **Controle biológico de pragas da agricultura**. Brasília: Embrapa, Cap. 1, pp. 21-44. 2020.
- FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA. 2022. Reestimativa da safra de laranja 2021/22 do cinturão citrícola de São Paulo e triângulo/sudoeste mineiro. Disponível em: https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/0422_Fechamento_da_Safra_de_Laranja.pdf. Acesso em 19/07/2022.
- FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA. 2024. Estimativa da safra de laranja 2024/25 do cinturão citrícola de São Paulo e triângulo/sudoeste mineiro. Disponível em: [2024_05_10_Estimativa_do_Cinturao_Citricola_2024-2025.pdf \(fundecitrus.com.br\)](https://www.fundecitrus.com.br/pdf/2024_05_10_Estimativa_do_Cinturao_Citricola_2024-2025.pdf). Acesso em 15/05/24.
- GASPARINO, C.F. Tamanho da amostra e custo para monitoramento da infestação do ácaro da leprose em pomares de laranja. **Dissertação de Mestrado**, Fundo de Defesa da Citricultura, Araraquara, SP. 2013.
- GAO, T.; WANG, Z.; HUANG, Y.; KEYHANI, N.O.; HUANG, Z. Lack of resistance development in *Bemisia tabaci* to *Isaria fumosorosea* after multiple generations of selection. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, 42727. 2017
- GRAFF, C.A.; JOHANN, L.; SOUZA, C.F.V.; FERLA N.J. Patogenicidade de *Isaria fumosorosea* sobre o ácaro vermelho europeu em laboratório. **Biotemas** 30(1) p. 73–78, 2017.
- GRAVENA, S. **Manual prático de manejo ecológico de pragas dos citros**. Jaboticabal, SP: Editora Gravena. 372p. 2005.
- HOY, M.J.; SINGH, R.; ROGERS, M.E. Evaluations of a novel isolate of *Isaria fumosorosea* for control of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). **Florida Entomologist**, v. 93, p. 24-32, 2010.
- HUNTER, W.B.; AVERY, P.B.; PICK, D.; POWELL, C.A. Broad spectrum potential of *Isaria fumosorosea* against insect pests of citrus. **Florida Entomologist**, v. 94, n. 4, p. 1051-1054, 2011.
- JARAMILLO, J.; BORGEMEISTER, C.; EBSSA, L.; GAIGL, A.; TOBON, R.; ZIMMERMANN, G. Effect of combined application of *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) strain CIAT 224 and different dosages of imidacloprid on the subterranean burrower bug *Cyrtomenus bergi* Froeschner (Hemiptera: Cydnidae). **Biol. Contr.**, v. 34, p. 12-20, 2005.
- KAAKEH, W., REID, B.L., BONHERT, T.J.; BENNETT, G.W. Toxicity of imidacloprid in the German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae), and the synergism between imidacloprid and *Metarhizium anisopliae* (Imperfect fungi: Hyphomycetes). **J. econ. Ent.**, v. 90, p. 473-482, 1997.
- KAPP, A.B.P.; VECHIA, J.F.D.; ROCHA, C.M.; ANDRADE, D.J. Eficiência de *Isaria fumosorosea* no controle do ácaro da leprose dos citros. In: V CONBRAAF - Congresso Brasileiro de Fitossanidade, Curitiba, **Anais do V CONBRAAF**. 2019.

- KEPLER, R. M., LUANGSA-ARD, J. J., HYWEL-JONES, N. L., QUANDT, C. A., SUNG, G.-H.; REHNER, S. A.; AIME, M. C.; HENKEL, T. W.; SANJUAN, T.; ZARE, R.; CHEN, M.; LI, Z.; ROSSMAN, A. Y.; SPATAFORA, J. W.; SHRESTHA, B. A phylogenetically-based nomenclature for *Cordycipitaceae* (*Hypocreales*). **IMA Fungus**, v. 8, p. 335–353, 2017.
- KOGAN, M. Integrated pest management: historical perspectives and contemporary developments. **Annual Review of Entomology**, v. 43, n. 1, p. 243-270, 1998.
- LACEY, L.A.; HORTON, D.R.; CHAUVIN, R.L.; STOCKER, J.M. Comparative efficacy of *Beauveria bassiana*, *Bacillus thuringiensis* and aldicarb for control of colorado potato beetle in an irrigated desert agro ecosystem and their effects on biodiversity. **Ent. Exp. Appl.**, 93: 189-200, 1999.
- LIMA, M.D.C.S.; DOS SANTOS MARVÃO, L.; BATISTA, T.F.V.; DE SOUSA, L.A.S.; BOTELHO, M.G.L.; FURTADO, L.G., ... MORALES, G.P. Manejo de ácaros tetraniquídeos em rosa do deserto (*Adenium obesum* Forssk. Roem. & Schult) com fungos entomopatogênicos. **Research, Society and Development**, v.9, n. 8, e956986324-e956986324, 2020.
- LEZAMA-GUTIÉRREZ, R.; MOLINA-OCHOA, J.; CHÁVEZ-FLORES, O.; ÁNGEL-SAHAGÚN, C. A.; SKODA, S.R.; REYES-MARTÍNEZ, G.; BARBA-REYNOSO, M.; REBOLLERO-DOMÍNGUEZ, O.; RUÍZ-AGUILAR, G.M.L.; FOSTER, J.E. Use of the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae*, *Cordyceps bassiana* and *Isaria fumosorosea* to control *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae) in Persian lime under field conditions. **International Journal of Tropical Insect Science**, Wallingford, v.32, n. 1, p. 39-44, 2012.
- LOPES, R. B., DE SOUZA, D. A., INGLIS, P. W., & FARIA, M. Diversity of anamorphic *Cordyceps* (formerly *Isaria*) isolated from Brazilian agricultural sites. **Journal of Invertebrate Pathology**, 200, 107956, 2023.
- LÓPEZ-MANZANARES, B.; MARTÍNEZ-VILLAR, E.; MARCO-MANCEBÓN, V. S.; PÉREZ-MORENO, I. (2022). Compatibility of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* with etoxazole, spiroadiclofen and spiromesifen against *Tetranychus urticae*. **Biological Control**, v. 169, 104892, 2022.
- MARTINS, C.C.; ALVES, L.F.A.; MAMPRIM, A.P.; SOUZA, L.P.A. Selection and characterization of *Beauveria spp.* isolates to control the broad mite *Polyphagotarsonemus latus* (Banks, 1904) (Acari: Tarsonemidae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 76, p. 629-637, 2016.
- MOREIRA, R.R.; MACHADO, F.J.; LANZA, F.E.; TROMBIN, V.G.; BASSANEZI, R.;B.; MIRANDA, M.P.; BARBOSA, J.C.; SILVA JUNIOR, G.J. Impact of diseases and pests on premature fruit drop in Sweet orange orchards in São Paulo state citrus belt, Brazil. **Pest Management Science**, v. 78, n. 6, p. 2643-2656. 2022.
- NUGROHO, I.H.S.A.N.; IBRAHIM, Y. Laboratory bioassay of some entomopathogenic fungi against broad mite (*Polyphagotarsonemus latus* Bank). **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 6, n. 2, p.223-225, 2004.
- OLIVEIRA, R.C.D.; ALVES, L.F.A.; NEVES, P.M.O.J.. Suscetibilidade de *Oligonychus yothersi* (Acari: Tetranychidae) ao fungo *Beauveria bassiana*. **Scientia Agricola**, v. 59p. 187-189, 2002.
- OMOTO, C.; ALVES, E.B.; RIBEIRO, P.C. Detecção e monitoramento da resistência de *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acari: Tenuipalpidae) ao dicofol. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 29, p. 757-764, 2000.
- 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, 2015.
- PACHAMUTHU, P.; KAMBLE, S.T. In vivo study on combined toxicity of *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) strain ESC-1 sublethal doses of chlorpyrifos, propetamphos, and cyfluthrin against German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae). **J. econ. Ent.**, v. 93, p. 60-70, 2000.
- PEÑA, J.E.; OSBORNE, L.S.; DUNCAN, R.E. Potential of fungi as biocontrol agents of *Polyphagotarsonemus latus* (Acari: Tarsonemidae). **Entomophaga**, v. 41, n. 1, p. 27-36, 1996.
- POLETTI, M.; MAIA, A.H.N.; OMOTO, C. Toxicity of neonicotinoid insecticides to *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus macropilis* (Acari: Phytoseiidae) and their impact on functional response to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). **Biological Control**, v. 40, p. 30–36, 2007.
- QUINTELA, E.D.; MCCOY, C.W. Synergistic effect of imidacloprid and two entomogenous fungi on behaviour and survival of *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae) in soil. **J. econ. Ent.**, v. 91: p. 110-122, 1998.
- RAMAKRISHNAN, R.; SUITER, D.R.; NAKATSU, C.H.; HUMBER, R.A.; BENNETT, G.W. Imidacloprid enhanced *Reticulitermes flavipes* (Isoptera Rhinotermitidae) susceptibility to the entomopathogen, *Metarhizium anisopliae*. **J. econ. Ent.**, v. 92, p. 1125-1132, 1999.
- REIS, T. C. Controle biológico com os fungos entomopatogênicos *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* e suas interações com *Palmistichus elaeisis* e glifosato. **Dissertação Doutorado em Produção Vegetal** – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018.
- ROCHA C.M.; DELLA VECHIA, J.F.; SAVI, P.J.; OMOTO, C.; ANDRADE, D.J.; Resistance to spirodiclofen in *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae) from Brazilian citrus groves: detection, monitoring, and population performance. **Pest Management Science** 77: 3099–3106, 2021.
- ROJAS, V.M.A. Caracterização do fungo entomopatogênico *Isaria fumosorosea* quanto à produção de conídios, efeitos da radiação ultravioleta-B, temperatura alta e persistência em formulações do tipo dispersão oleosa. **Dissertação de Mestrado**, Universidade de São Paulo. 2015.
- ROSSI, L.S. Seleção de fungos entomopatogênicos e infecção de *Hirsutella sp.* em *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939). **Dissertação de Mestrado**, Universidade de São Paulo. 2002.
- SATO, M.E.; CERÁVOLO, L.C.; ROSSI, A.C.; RAGA, A.; SOUZA FILHO, M. F. Toxicidade residual de acaricidas a *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma, 1972 (Acari: Phytoseiidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 63, n. 1, p. 15–19, 1996.
- SCHIELZETH, H.; NAKAGAWA, S. Nested by design: model fitting and interpretation in a mixed model era. **Methods in Ecology and Evolution** v. 4, n. 1, p. 14–24, 2013.
- SHARIFIFARD, M.; MOSSADEGH, M.S.; VAZIRIANZADEH, B.; MAHMOUDABADI, A.Z. Interactions between entomopathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae* and sublethal doses of spinosad for control of house fly, *Musca domestica*. Iran. **J. Arthropod Borne Dis.**, v. 5, p. 28-36, 2011.

TAMAI, M.A.; ALVES, S.B.; ALMEIDA, J.D.; FAION, M. Avaliação de fungos entomopatogênicos para o controle de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 69, n. 3, p. 77-84, 2002.

USDA - United States Department of Agriculture. 2023. Foreign Agricultural Service. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/topCommoditiesByCountry>. Acesso em: 19 de agosto de 2023.

VÁZQUEZ-BENITO, J.A.; SANTILLÁN-GALICIA, M.T.; GUZMAN-FRANCO, A.W.; HERNANDEZ-DOMINGUEZ, C.; ROMERO-ROSALES, F.; ORTIZ-OSUNA, A.; RODRÍGUEZ-MACIEL, J.C. Combined application of predatory mites and fungal pathogens for biological control of *Brevipalpus yothersi* (Acari: Tenuipalpidae) under laboratory conditions. **Biological Control**, v. 167, 104853. 2022.

YAMAMOTO, P.T. **Manejo integrado de pragas dos citros**. Araraquara: Fundecitrus. 2008.

YING, S.H.; FENG, M.G.; XU, S.T. Field efficacy of emulsifiable suspensions of *Beauveria bassiana* conidia for control of *Mysus persicae* population on cabbage in China. **J. appl. Ecol.**, v. 14, p. 545-548. 2003.

ZOU, C.; LI, L.; DONG, T.; ZHANG, B.; HU, Q. Joint action of the entomopathogenic fungus *Isaria fumosorosea* and four chemical insecticides against the whitefly *Bemisia tabaci*. **Biocontrol Science and Technology**, v. 24, n. 3, p. 315-324, 2014.

ZUREK, L.; WATSON, D.W.; SCHAL, C. Synergism between *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) and boric acid against the German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae). **Biol. Contr.**, v. 23, p. 296-302, 2002.