



JOÃO VICTOR BARNEZI GODOY

**ALTERNATIVAS QUÍMICAS E BIOLÓGICAS PARA O
CONTROLE DE *Hypothenemus hampei* NO CAFEEIRO**

LAVRAS

2024

JOÃO VICTOR BARNEZI GODOY

ALTERNATIVAS QUÍMICAS E BIOLÓGICAS PARA O CONTROLE DE
Hypothenemus hampei **NO CAFEIEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Agronomia, para a
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Bruno Henrique Sardinha de Souza
Orientador

MSc. Ana Paula Ananias Antunes
Coorientadora

LAVRAS – MG
2024

JOÃO VICTOR BARNEZI GODOY

**ALTERNATIVAS QUÍMICAS E BIOLÓGICAS PARA O CONTROLE DE
Hypothenemus hampei NO CAFEIEIRO**

**CHEMICAL AND BIOLOGICAL ALTERNATIVES FOR THE CONTROL OF
Hypothenemus hampei IN COFFEE TREE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Agronomia, para a
obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em _____ de 2024.

Prof. Dr. Bruno Henrique Sardinha de Souza – UFLA
MSc. Esther Joaquina Quiceno Mayo – UFLA
MSc. Lilian Ferreira de Sousa – UFLA

Prof. Dr. Bruno Henrique Sardinha de Souza
Orientador

MSc. Ana Paula Ananias Antunes
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2024**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me abençoar durante toda a minha graduação.

Aos meus pais João e Maurenice pelo apoio incondicional durante toda a minha vida, e principalmente, durante todo trajeto até aqui.

A minha irmã Poliana, que mesmo distante se fez presente em minha vida, sempre me apoiando e me orientando.

A minha namorada Maria, que esteve ao meu lado desde o início desta jornada na universidade, sempre me dando forças e incentivando a minha evolução.

Ao meu orientador Prof. Bruno, por me acolher como orientado, por sempre transmitir conhecimento, pela atenção, não somente para comigo, mas também aos pequenos detalhes, e por ter me auxiliado tanto na execução deste projeto.

A minha coorientadora Ana Paula, por ter me auxiliado na elaboração e correção deste trabalho, pelo conhecimento e orientações passado, e pela sua dedicação para com a minha pessoa, desde o início das atividades desta pesquisa.

A técnica Erica, por toda ajuda e dedicação durante toda a execução deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Flávio, que me acolheu durante toda a graduação, sempre com o ímpeto de transmitir seu conhecimento e me fazer buscar o meu melhor.

A Profa. Luana, a Técnica Ana Paula e a Cláudia, por toda amizade, conselhos, orientações e apoio durante toda a minha graduação.

Ao núcleo de estudos em pós-colheita do café, PósCafé, e todos os membros que fizeram parte desta jornada durante esses anos como membro, pelo crescimento profissional, sobretudo, pessoal.

A todos meus amigos que fizeram parte deste caminho até aqui, os quais sempre me deram forças, participaram de momentos felizes, e nos momentos desafiadores ficaram ao meu lado, e que fizeram esses anos serem leves e marcantes em minha vida.

A Universidade Federal de Lavras, UFLA, que me deu todo embasamento técnico para que eu me formasse em um profissional das ciências agrárias.

A todos vocês, meu sincero e profundo Muito Obrigado! Jamais esquecerei de tudo que fizeram por mim. Contém sempre comigo!

RESUMO

O café é, hodiernamente, uma das bebidas mais consumidas em todos os continentes, desse modo, sendo uma importante parcela do mercado nas transações monetárias globais. Contudo, não só a quantidade, mas a qualidade grãos atualmente são de extreme relevância para o mercado, que cada vez mais, busca cafés de maior qualidade para o consumo. A broca-do-café é uma praga cafeícola de grande importância, pois não só afeta a qualidade física diretamente dos grãos, ocasionando em deságios na comercialização, como também é porta de entrada para patógenos que, por sua vez, podem causar deterioração do grão em seus aspectos qualitativos. Desse modo, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o controle da broca-do-café utilizando estratégias químicas e biológicas alternativas. O experimento foi realizado no Laboratório de Resistência de Plantas e Manejo Integrado (LARP-MIP), retirando indivíduos vivos de frutos brocados, e os colocando em placas, juntamente com os tratamentos e realizando avaliações de contagem de indivíduos vivos, mortos, ovos e larvas após 15 dias. Foram realizados nove tratamentos com 5 repetições, cada repetição com 4 indivíduos vivos e 4 frutos sadios imersos por 10 segundos na solução contendo os tratamentos. Os tratamentos constituíram dos produtos químicos comerciais Sperto (Acetamiprido + Bifentrina) como controle positivo, Polo (Diafentiuron) como químico alternativo e dos produtos comerciais BioOlimpo, V-Core e Biokato como controle biológico alternativo. Após quinze dias, foi quantificado o número de indivíduos vivos e mortos, a deposição de ovos o desenvolvimento de larvas e pupas. Diante do quociente das quantificações, foi realizada a análise estatística para obtenção dos resultados. Os resultados indicaram que o produto Polo e Biokato não tiveram eficiência de controle quando comparado a testemunha. Já o produto BioOlimpo apresentou eficiência de controle de 30,8%. Entretanto, o produto V-Core a base de metabólitos secundários de fungos e bactérias, não teve eficiência de controle quando comparado a testemunha, contudo, apresentou uma taxa de mortalidade de 35%, que indica um potencial de uso para o controle fitossanitário de *H. hampei*. Somente a mistura dos três produtos biológicos tiveram eficiência de controle quando comparada a testemunha, 38,5%.

Palavras-chave: café; *Hypothenemus hampei*; broca do cafeeiro; controle.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	OBJETIVO	8
2.1	Objetivos gerais	8
2.2	Objetivos específicos.....	8
3	REFERENCIAL TEÓRICO	9
3.1	A cultura do café.....	9
3.2	A broca-do-café na cultura cafeeira.....	9
3.3	Métodos Tradicionais de Controle Químico	10
3.4	Manejo Integrado de Pragas	13
3.5	Perspectivas Futuras e Inovações.....	14
4	MATERIAIS E MÉTODOS	16
4.1	Coleta de insetos	16
4.2	Produtos utilizados	16
4.3	Experimento	17
4.4	Esquema experimental.....	18
4.5	Avaliação dos frutos	19
4.6	Análise estatística.....	19
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1	Resultados	20
5.2	Discussão	23
6	CONCLUSÃO	24
	REFERÊNCIAS	25

1 INTRODUÇÃO

O café é um importante pilar da agricultura brasileira, sendo que o país se destaca mundialmente, mantendo-se como o maior produtor e exportador da commodity desde o final do século XIX. Este cenário se torna possível não somente pela grande área cultivada, mas também pelo desenvolvimento de tecnologias e estudos científicos aplicados à cultura cafeeira do Brasil.

No entanto, a cultura do café possui diversos desafios fitossanitários para a produção, que podem comprometer a produtividade e qualidade do grão, causando deságios comerciais, quebras de produção e perdas de qualidade da bebida. Uma das principais pragas da cultura é o *Hypothenemus hampei*, conhecido popularmente como broca-do-café.

A broca-do-café é um besouro pequeno que, em sua fase larval do seu ciclo de vida, se alimenta dos grãos de café, causando danos quantitativos e qualitativo ao grão, resultando prejuízos significativos aos produtores.

Tradicionalmente, o controle da broca-do-café é realizado a partir de defensivos químicos, sendo as principais moléculas de inseticidas as Avermectinas, Piretroides, Diamidas, Organofosforados e Espinosinas. Esses compostos atuam de diferentes formas no inseto, contudo, todos tem por essência a necessidade de contato com o alvo ou ingestão pelo mesmo para que causem efeitos trágicos. No entanto, devido à característica da praga de hábito críptico, ou seja, passa grande tempo do seu ciclo de vida dentro do fruto, há a possibilidade de contornar esse mecanismo de proteção natural por meio de produtos com ação fumegante, como é o caso do Diafentiuron, que é absorvido pelo inseto através de seus espiráculos. A preocupação com impactos ambientais e manejo de resistência de insetos, tem incentivado a busca por alternativas mais sustentáveis e eficazes.

Nesse contexto, surgem novas alternativas utilizando agentes de controle biológico para combater a praga. Essas alternativas não só ofertam uma solução mais ecológica, mas também uma flexibilidade de controle e a integração a manejo integrado de pragas (MIP), aumentando a eficiência e sustentabilidade de controle. Alguns fungos entomopatogênicos como a *Beauveria bassiana* e o *Metarhizium anisopliae* e seus metabólitos podem ser utilizados de forma eficiente para o manejo da broca-do-café.

Sob a ótica do manejo químico, estratégias alternativas de utilização de princípios ativos diferentes, com mecanismos de dispersão mais eficientes para o contato com o alvo podem ser adaptadas ao controle químico da praga e integradas ao MIP. Desse modo, o Diafentiuron, ingrediente ativo do produto comercial Polo®, pode ajudar a aprimorar o manejo da praga, visto

sua característica fumegante, e a sua fotodegradação em outro ativo com o mesmo ou dependendo do alvo até maior potencial de controle, a Carbodiimida (Ruder; Benson; Kayser, 1991).

Portanto, o presente trabalho teve por objetivo explorar e avaliar diferentes alternativas químicas e biológicas para o controle de *Hypothenemus hampei* no cafeeiro.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivos gerais

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de controle da broca-do-café utilizando produtos químicos e biológicos alternativos, levando em consideração a mortalidade de adultos de *Hypothenemus hampei*, e redução de ovos e larvas.

2.2 Objetivos específicos

Analisar a eficiência de controle do produto comercial Polo® (Diafentiuron), como alternativa química ao controle da broca-do-café.

Analisar a eficiência de controle do produto V-Core®, a base de metabólitos de fungos e dos produtos Biológicos BioOlimpo® (*Beauveria bassiana* + *Metarhizium anisopliae*) e Biokato® (*Pseudomonas fluorescens* + *Pseudomonas chlororaphis*), e se suas concentrações são compatíveis para um controle eficiente de *H. hampei*. Os efeitos serão avaliados na mortalidade de adultos e na produção de ovos e larvas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A cultura do café

O café é a bebida mais consumida do mundo depois da água, sendo que o Brasil é o maior produtor e exportador dessa commodity, segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2024). Conforme dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a cafeicultura brasileira é uma das mais exigentes do mundo em relação às questões sociais e ambientais, e há uma preocupação em se garantir a produção de um café sustentável, (ABIC, 2019).

Conforme mostrado no relatório anual da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), há uma evolução constante de produtividade. Tais ganhos de produtividade estão associados a diversos fatores, que envolvem desde a mecanização, estande de plantas, automação do plantio, e principalmente, as melhorias técnicas de manejo e aplicação de defensivos, com destaque para o uso racional e correto dos mesmos e a inserção de defensivos biológicos no controle fitossanitário da cultura do café.

Desse modo, é notório que o mercado vem cada vez mais buscando por cafés de qualidade. O conceito de cafés de qualidade é definido pelo seu aspecto físico, perfil sensorial da bebida, sustentabilidade econômica, social e ambiental. Diversos fatores podem interferir na produção de cafés de qualidade, sendo que o manejo fitossanitário de pragas que atacam diretamente os frutos, que causam danos irreversíveis, tendo por consequências deságios comerciais, é um fator determinante para a construção de um *terroir* de produção adequado as novas exigências mercadológicas (Borém, 2023).

3.2 A broca-do-café na cultura cafeeira

A broca-do-café se disseminou em todas as regiões cafeeiras no Brasil, causando os primeiros prejuízos na safra de 1924 (Benassi, 1995; Moraes, 1998; Souza; Reis, 1997), após sua chegada ao país provavelmente em 1913, importadas por meio de sementes de café provindos da África e de Java (Laurentino, 2004).

O manejo fitossanitário na cultura do café se torna uma prática mais que fundamental para diminuir a oscilação de produtividade causada pela bialidade do cafeeiro, visto que a incidência severa de pragas e doenças pode acentuar esse fator (Mendonça *et al.*, 2011).

A broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) é uma praga agrícola que tem como hospedeiro única e exclusivamente a cultura do café. Seu dano à cultura constitui-se da realização de perfurações nos frutos para alimentação e deposição de ovos nos grãos, tendo-se como consequência danos quantitativos e qualitativos, como o aumento de defeitos físicos diretos e perdas na qualidade sensorial da bebida causada por fungos oportunistas, sendo realizados deságios na comercialização, e a quebra de produtividade, causada pela diminuição da matéria seca (Alba-Alejandre; Alba-Tercedor; Vega, 2018).

O ciclo de vida da broca-do-café pode variar de 18 a 63 dias, passando pelas fases de ovo, lava, pupa e adultos, tendo essa variabilidade temporal no ciclo devido a fatores abióticos segundo (Azrag *et al.*, 2020). A fêmea, responsável pela deposição de ovos, realiza a perfuração, geralmente pela coroa dos frutos, abrindo galerias para deposição dos ovos. Após a deposição, os ovos eclodem e dão origem as larvas, que possuem cor branca e formato recurvado. Estas são responsáveis pelos danos na cultura do café. As larvas se alimentam das paredes da própria câmara de deposição, e após alguns dias, extrapolam essa área, e se alimentam de várias partes do endosperma, causando grandes defeitos a semente. Após a fase larval, o indivíduo se transforma em pupa, sendo que não há alimentação nesta etapa de seu ciclo, durando em média 8 dias. Na fase adulta, os machos possuem uma longevidade menor, tendo aproximadamente quarenta dias de vida, enquanto as fêmeas possuem um ciclo de 156,5 dias, sendo uma proporção de 10 fêmeas para um macho, segundo (Moraes, 1998). O acasalamento ocorre no estágio de chumbão, entre dezembro e janeiro, quando há maturidade e umidade suficiente no fruto para que a fêmea faça sua oviposição, até o estágio cereja. Os machos da broca-do-café não possuem asas completamente desenvolvidas para voos normais, portanto, para que ocorra a fecundação, a fêmea encontra o macho, e, depois de copulada, a fêmea começa a realizar a galeria para a deposição de ovos no fruto escolhido, por meio de verificações feitas previamente.

3.3 Métodos Tradicionais de Controle Químico

O controle químico da broca-do-café, por muitos anos, esteve amplamente difundido e sendo realizado pelo uso quase exclusivo de um único produto comercial, o Endosulfan, do grupo dos organoclorados. Este produto possuía grande capacidade de controle devido aos seus diferentes modos de ação, e por consequência, permitia maior flexibilização no monitoramento e no tempo de entrada para pulverização (Yokoyama, 1978). O mecanismo de ação dos

organoclorados constitui da inibição do neurotransmissor ácido gama-aminobutírico (GABA), um dos principais neurotransmissores inibitórios de estímulos presentes no sistema nervoso. Desse modo, segundo Downson (1977), os ciclodienos se ligam aos receptores GABA, que induzem um estado de dessensibilização, ou seja, inibem os íons de Cl⁻ entrarem no neurônio, não tendo interrupção na passagem de estímulos, causando hiperexcitação, gerando tremores, convulsões e posteriormente a morte do inseto.

Contudo, devido a sua característica de bioacumulação em mamíferos e sua característica lipofílica, tendo por consequência grande toxicidade segundo a Agência de substâncias tóxicas e Registro de Doenças (ATSDR, 2000), em 2013, foi proibido seu uso no Brasil.

Desse modo, o uso de princípios ativos diferentes para o controle da broca-do-café foi necessário para atender as normativas atuais. Os principais grupos de inseticidas químicos registrados e utilizados hodiernamente para o controle de *H. hampei* na cultura do café são: Piretroides, Neonicotinoides, Avermectinas, Diamidas, Organofosforados e Espinosinas (Agrofit, 2024).

As avermectinas são moduladores alostéricos dos canais de cloro mediados pelo Glutamato (IRAC, 2024). Desse modo, seu mecanismo constitui no acoplamento do receptor alostérico de glutamato, induzindo a abertura dos canais de Cl⁻, tendo por consequência um efeito inibitório na passagem do estímulo nervoso, gerando a morte por hipossensibilidade.

As Diamidas atuam sobre os receptores da Rianodina, estimulando a liberação de reservas de Cálcio para dentro do retículo sarcoplasmático, causando paralisia muscular e consequentemente a morte do inseto (Souza *et al.*, 2013).

Os Organofosforados se ligam a enzima Acetilcolinesterase a qual é responsável pela degradação do neurotransmissor Acetilcolina, impedindo desse modo sua degradação, mantendo a acetilcolina acoplada ao seu receptor, mantendo o estímulo do impulso nervoso contínuo, causando morte por hiperexcitabilidade (Thapa *et al.*, 2017).

As Espinosinas são moduladoras alostéricas das proteínas receptoras da Acetilcolina, ou seja, mudam a conformidade da proteína receptora as tornando mais ativas, e como consequências, aumentando a passagem de estímulo nervoso, resultando da hiperexcitação da célula e morte do indivíduo, por conseguinte (Plata-Rueda *et al.*, 2019).

Os Piretróides são derivados sintéticos da piretrina, essas quais são ésteres tóxicos extraídos das flores de *Chrysanthemum cinerariaefolium*. Os piretróides são moduladores dos canais de Sódio na transmissão sináptica, mantendo o estímulo constante, causando morte por hiperexcitação nervosa (Santos *et al.*, 2008).

Os Neonicotinóides são derivados da nicotina, e sua terminologia inclui todos os derivados sintéticos semelhantes a molécula natural. São competidores da acetilcolina em seus receptores, os quais quando ligados, não conseguem ser degradados pela acetilcolinesterase, mantendo o estímulo constante, causando morte por hiperexcitação nervosa (Ferreira *et al.*, 2022).

Os inseticidas químicos utilizados para o controle da broca-do-café nos dias de hoje possuem eficácia aceitável no controle da praga, sendo muito importante realizar o correto manejo de aplicação, como a correta calibração do pulverizador e volume de calda aplicado, utilizando-se de todas as técnicas de tecnologias de aplicação disponíveis, condições climáticas favoráveis a aplicação, entre outros fatores (Santos, 2005) para que os defensivos atinjam os níveis de controle desejados.

Segundo André Lopes Andrade (2019), os inseticidas químicos registrados para *Hypothenemus hampei*, possuem, em quase sua totalidade, eficácia de 80% de controle em boas condições ambientais e aproximadamente vinte e sete dias de efeito residual na lavoura, o que possibilita maior flexibilidade de controle da praga. Contudo, é notório que não há um controle em sua totalidade para o inseto, sendo que a depender do princípio ativo utilizado, este pode ser mais sensível a variações climáticas e intempéries. Por conseguinte, a busca por um mecanismo de ação com mecanismos de dispersão distintos dos tradicionais (contato e ingestão) é de suma importância para garantir uma efetividade e longevidade de controle da praga. Desse modo, produtos com ação fumegante, capazes de ficar mais tempo em suspensão no ar, moléculas que se degradam em ativos com potencial de controle e que são absorvidas de diferentes formas, podem ser uma alternativa possível no controle de *H. hampei*, como é o caso do Diafentiuon (Keum *et al.*, 2002).

O Diafentiuon é uma Thioureia, capaz de inibir a produção de ATP mitocondrial. Contudo, essa molécula pode ser considerada um pró-inseticida (Ruder; Benson; Kayser, 1991), visto que a mesma, em condições de campo e com a presença de luz solar é degradada em um ativo com um bom potencial para o controle de insetos, a carbodiimida.

Portanto, o controle químico é um pilar importante do manejo integrado de pragas, por se tratar de um método efetivo na redução populacional de *H. hampei*. Desse modo, o controle químico consiste na utilização de inseticidas sintéticos para o controle da praga, sendo importante a rotação de princípios ativos para evitar a seleção de populações resistentes ao inseticida.

3.4 Manejo Integrado de Pragas

O manejo integrado de pragas (MIP) é um programa de controle de pragas que auxilia o processo de tomada de decisão baseado na ciência, tendo múltiplos pilares, cujo suas raízes consistem em táticas biológicas, culturais, físicas e químicas para a proteção de culturas, buscando minimizar os riscos ambientais, econômicos e de saúde. O MIP pode ser aplicado em diferentes cenários (agricultura convencional, orgânica, regenerativa, entre outros) e adaptado para abordar qualquer tipo de praga em qualquer cultura desejada, aprimorando as técnicas convencionais de manejo de pragas e doenças, com o uso racional de defensivos químicos, por exemplo (Biddinger; Rajotte, 2015).

Para um correto funcionamento do programa de MIP, se faz indispensável o uso do monitoramento da praga, para uma correta análise e tomada de decisão de qual método de controle e como este será utilizado naquele determinado espaço de tempo. Os principais limiares para o monitoramento são o Nível de Dano Econômico (NDE), que corresponde a densidade da praga na qual o custo de seu controle é igual ao benefício esperado pelo mesmo (Stern *et al.*, 1959; Higley; Pedigo, 1997), e o Nível de controle, que corresponde a densidade de indivíduos que deverão serem iniciadas as ações de controle para que este não supere o NDE (Stern *et al.*, 1959).

Na moderna agricultura, o controle Biológico de pragas vem ganhando cada vez mais destaque, se mostrando uma alternativa eficaz e ambientalmente segura para o controle de pragas e doenças. O controle biológico consiste na introdução de inimigos naturais com intuito de predação ou parasitar a praga. Segundo Alves (2014), os fungos entomopatogênicos são organismos fúngicos que tem a capacidade de infectar e matar insetos.

Para a cultura do café, tem-se registro de dois principais agentes de controle biológico para o *H. hampei.*, sendo a *Beauveria bassiana* e o *Metarhizium anisopliae* (Agrofit, 2024). Ambos são fungos entomopatogênicos, ou seja, são capazes de colonizar a broca-do-café, podendo causar enfermidades nos insetos e ou interferir diretamente em sua alimentação e modo de vida, levando a morte por consequência.

Desde a chegada do *H. hampei* na Colômbia, o fungo *B. bassiana* foi reportado atacando a praga em 1990 (Vélez; Benavides 1990). Desde então, é considerado o maior agente de controle biológico para a broca-do-café na Colômbia, sendo amplamente recomendado e difundido seu uso no país (Góngora *et al.*, 2009).

O mecanismo de ação desses fungos entomopatogênicos consistem na contaminação do inseto por contato. O fungo penetra o tegumento do inseto por meio das partes vulneráveis

(articulações e abdômen), germinando os conídios do fungo, dando origem a um apressório, capaz de penetrar a cutícula do inseto por meio da ação mecânica auxiliado por enzimas. Após atingir o interior do inseto, o fungo começa a produzir enzimas e toxinas, e por consequência, causa danos aos insetos e posteriormente sua morte (González, 2012).

O uso de agentes de controle biológico são uma ferramenta indispensável para execução de um programa de Manejo integrado da broca-do-café, tendo como objetivo o uso racional de defensivos químicos e uma agricultura sustentável, visto o déficit de controle utilizando somente manejo químico, causado pela variação da eficácia devido a fatores ambientais e o hábito endofítico do *H. hampei*, ou seja, grande parte de seu ciclo está sendo desenvolvido dentro dos frutos de café, obtendo assim uma barreira de proteção física natural contra inseticidas químicos (González, 2012).

3.5 Perspectivas Futuras e Inovações

Na atualidade, diversas vertentes de pesquisas e desenvolvimento estão sendo executadas para encontrar melhores tecnologias de controle da broca-do-café, atendendo as normativas e legislaturas atuais com relação a saúde e meio ambiente.

Para o controle de *H. hampei*, as vertentes da criação de cultivares geneticamente modificados ou transgênicos (Barbosa, 2009); plantas híbridas de *C. arábica* e *C. eugenioides*, visto que a espécie *C. eugenioides* possui substâncias voláteis repelentes a broca-do-café (Sera *et al.*, 2005).

Recentemente, uma nova abordagem química foi lançada, visando também o controle de *H. hampei* na cultura do café. O isocloseram, é um novo ingrediente ativo de uma nova classe, com um mecanismo de ação distinto dos atuais já utilizados para o controle dessa praga, sendo um modulador alostérico dos canais de Cl⁻ mediados pelo GABA (IRAC, 2024). Diferentemente dos demais, o produto comercial do isocloseram, Joiner, apresenta além de um mecanismo novo de ação, um efeito residual extremamente prolongado, devido ao seu ingrediente ativo se fixar na superfície das folhas e frutos em formas de cristais, resistindo mais tempo aos efeitos das intempéries climáticas (Lira *et al.*, 2024).

Novas abordagens também estão sendo discutidas e desenvolvidas como a efetividade e utilização de metabólitos de fungos, bactérias e algas para o controle biológico da broca-do-café. Estes seres liberam grandes quantidades de metabólitos em circunstâncias específicas, metabólitos esses que possuem diversas funções (biorreguladores, toxinas, antibióticos, entre

outros), e podem ser utilizados para o controle de pragas e doenças, visto a sua diversidade de compostos (Morzelle, 2017).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Coleta de insetos

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Resistência de Plantas e manejo integrado de pragas do departamento de entomologia agrícola da Universidade Federal de Lavras (LARP-MIP UFLA).

Foram coletados frutos brocados da propriedade Bom Jardim, localizada na região do Cerrado Mineiro, no município de Patrocínio, Minas Gerais. O talhão selecionado para coleta, não houve aplicações de defensivos químicos e biológicos, via foliar e via solo, por um período de um ano, para garantir mínimas interferências nos resultados do trabalho. Foram selecionados somente frutos brocados de *Coffea arabica* cultivar Catuaí 144 provenientes da altitude de 920 metros.

Após a coleta, foram alojados em um recipiente de madeira com furos telados para manter a ventilação, e transportados para o laboratório em 48 horas para realização dos tratamentos.

No laboratório, foi realizada a remoção de 180 indivíduos de *Hypothenemus hampei*, com cautela, para a montagem dos tratamentos.

4.2 Produtos utilizados

O experimento foi constituído de 9 tratamentos, utilizando os produtos químicos Sperto e Polo, e os produtos biológicos BioOlimpo, Biokato e V-Core, nas doses comerciais e suas devidas proporcionalidades para um litro de água.

Tabela 1- Produtos comerciais utilizados no experimento, com seus ingredientes ativos e suas respectivas doses.

Produto Comercial	Ingrediente ativo	Concentração
Polo	Diafentiruon	500 g/L
Sperto	Acetamiprido + Bifentrina	250 g/kg + 250 g/kg
BioOlimpo	<i>Beauveria bassiana</i> +	$1,4 \times 10^5$ UFC/g
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	+
Biokato	<i>Pseudomonas fluorescens</i> +	$1,4 \times 10^5$ UFC/g.
	<i>Pseudomonas chlororaphis</i>	$1,1 \times 10^4$ UFC/mL
V-Core	<i>Metabólitos</i> +	+
	<i>Pseudomonas fluorescens</i> + <i>Pseudomonas chlororaphis</i>	$5,2 \times 10^7$ UFC/mL
		Não disponível

Fonte: Autor, 2024.

4.3 Experimento

Os insetos previamente coletados de acordo com o item 4.1 foram submetidos a desinfecção por imersão em água contendo 5% de hipoclorito de sódio a 5% de concentração.

Foram Dispostos quatro indivíduos vivos de *Hypothenemus hampei*, juntamente com 4 frutos de *Coffea Arabica* sadios, anteriormente submetido a desinfecção e aos devidos tratamentos por meio da imersão por 10 segundos com embalagens perfuradas do tipo *Voal*, em placas de *petri*, seladas com parafilme, e acondicionados em ambiente com controle de temperatura, fixada em uma faixa ideal para a reprodução e atividade da broca-do-café, e luminosidade natural, simulando as condições de campo.

4.4 Esquema experimental

O experimento foi montado utilizando os seguintes tratamentos e suas respectivas dosagens de acordo com Tabela 2

Tabela 2 – Tratamentos com produtos comerciais, ingrediente ativo, concentração, doses comerciais e sua proporção.

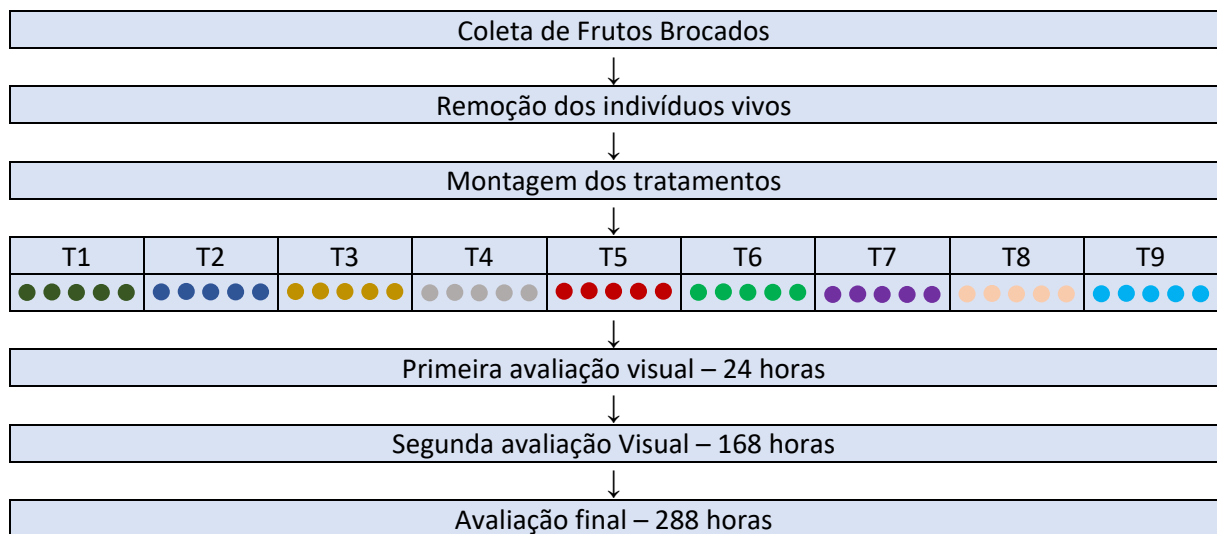
Tratamento	Produto Comercial	Dose comercial (lts/ha)	Proporção ml/1 lt.
T1	Água	-	-
T2	Sperto	0,5	1,25
T3	Polo	0,8	2,0
T4	BioOlimpo	0,5	1,25
T5	V-Core	1,5	3,75
T6	Biokato	1,5	3,75
T7	BioOlimpo + Biokato	0,5 + 1,5	1,25 + 3,75
T8	BioOlimpo + V-Core	0,5 + 1,5	1,25 + 3,75
T9	BioOlimpo + Biokato + V-Core	0,5 + 1 + 1	1,25 + 2,5 + 2,5

O tratamento 9 teve uma redução na dose comercial utilizada de referência com intuito de diminuir o custo final de venda.

Fonte: Autor, 2024.

Na figura 1, está representado um esquema experimental para melhor entendimento da sequência da metodologia utilizada.

Figura 1 – Representação esquemática do desenho experimental.



Número de indivíduos com 5 repetições: (4 indivíduos) x (5 repetições) x (9 tratamentos) = 180 indivíduos.

Fonte: Autor, 2024.

Desse modo, o experimento teve um total de nove tratamentos, com 5 repetições, cada repetição conteve 4 indivíduos vivos e 4 frutos sadios de *Coffea arabica*, totalizando 180 indivíduos vivos de *Hypothenemus hampei* e 45 unidades experimentais.

4.5 Avaliação dos frutos

O bioensaio foi realizado em sala aclimatada (25 ± 2 °C; 60 ± 10 % UR; 12 C: 12 Eh).

Após 24 horas de acomodação em sala aclimatada, foi realizada uma primeira avaliação visual, com intuito de verificar a mortalidade e o efeito de choque, efeito de repelência por meio da quantidade de perfurações iniciais e distúrbios no hábito do inseto possivelmente causados pelos defensivos utilizados.

Foi realizado outra inspeção visual, aos 7 dias de tratamento, com intuito de observar a mortalidade, possível esporulação de microrganismos presentes nos defensivos biológicos e alguma atividade incomum dos indivíduos frente a resposta dos defensivos.

Ao décimo segundo dia de tratamento, foi realizada a abertura das placas para a avaliação final. Para a última avaliação, foram contabilizados indivíduos vivos e mortos presente nas placas que não se situavam no interior dos frutos, posteriormente, foram abertos individualmente todos os frutos utilizando lâmina de corte, e posteriormente, com auxílio de uma lupa 10x, foi realizado a contagem de indivíduos mortos, deposição e quantidade de ovos, quantidade de larvas e quantidade de pupas.

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) para execução do experimento, com 9 tratamentos e 5 repetições

4.6 Análise estatística

Os resultados obtidos em cada tratamento foram analisados por meio do software *Statística*, sendo realizadas análises de variância (ANOVA) para os tratamentos. Ao serem identificadas e apresentadas diferenças significativas no teste F, foram aplicados o teste LSD de Fischer com 5% de probabilidade.

Também foram obtidos a partir dos dados de número de insetos vivos nos diferentes tratamentos e testemunha a eficiência de controle (%) dos bioinseticidas por meio da fórmula de Abbott (1925), onde:

$$\text{Eficiência de controle (\%)} = \frac{(C-T)}{C} \times 100$$

C = número de insetos vivos na testemunha

T = número de insetos vivos em cada tratamento avaliado.

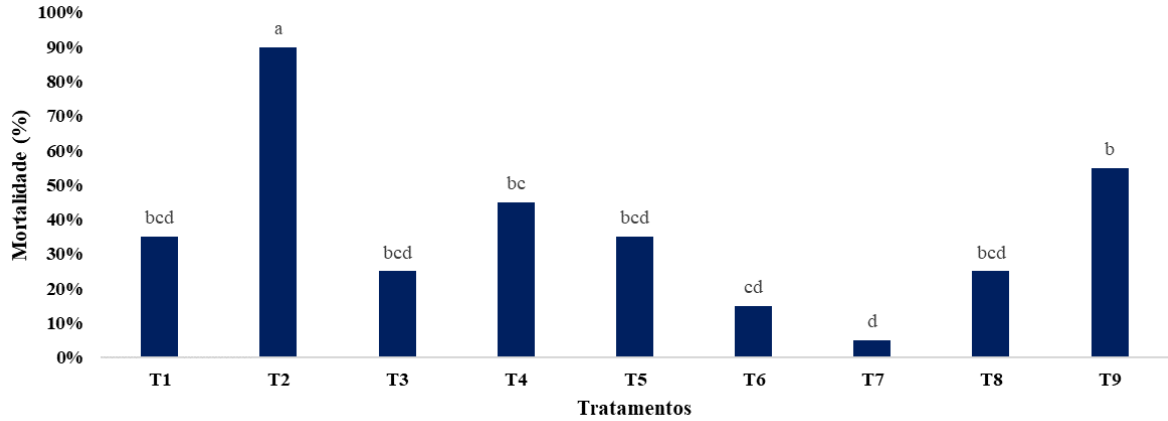
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resultados

Para o controle positivo (Sperto), houve controle total dos indivíduos após 11 dias de tratamento. Contudo, para o controle químico alternativo (Polo), não houve diferença significativa em relação à testemunha (água). Os resultados apresentados na Figura 2 evidenciaram que os bioinseticidas analisados (BioOlimpo, V-Core e Biokato) obtiveram respostas distintas quando utilizados isoladamente ou em associação. A associação dos três bioinseticidas teve a melhor resposta à mortalidade de adultos de *H. hampei*. Contudo, o tratamento com o produto BioOlimpo isolado obteve o mesmo desempenho da associação com os três bioinseticidas. O produto V-Core não apresentou diferença significativa quando comparado à testemunha. Já o produto Biokato se mostrou menos eficiente para o controle de *H. hampei* que a testemunha, com menores médias (Tabela 2). As demais associações de bioinseticidas foram menos eficientes no controle que a testemunha, quando comparadas as percentagens de mortalidade de adultos de *H. hampei*, sendo que, a associação de BioOlimpo + V-Core não se diferiu das médias dos demais bioinseticidas, e a associação de BioOlimpo + Biokato revelou maiores médias de sobrevivência de indivíduos adultos, quando comparados à testemunha.

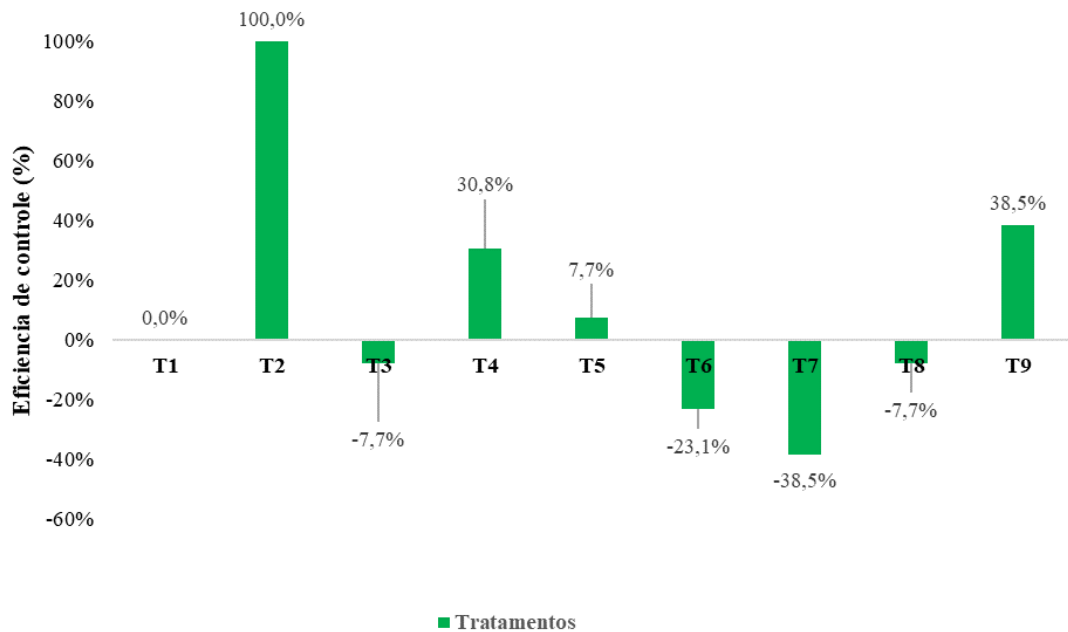
Os resultados na Figura 3 apresentam as médias da eficiência de controle da broca-do-café (%) entre os tratamentos pela fórmula de Abbott. Após a correção da mortalidade natural da testemunha, o inseticida químico alternativo não obteve nenhuma resposta de controle. Para os bioinseticidas, somente o BioOlimpo e a associação com os três bioinseticidas obtiveram resultado, sendo 30,8% e 38,5% respectivamente. Portanto, mesmo não possuindo diferença significativa, ambos os tratamentos apresentaram percentuais de mortalidade.

Figura 2- Mortalidade (%) de adultos de *Hypothenemus hampei* após aplicação de produtos químicos e biológicos via imersão em laboratório.



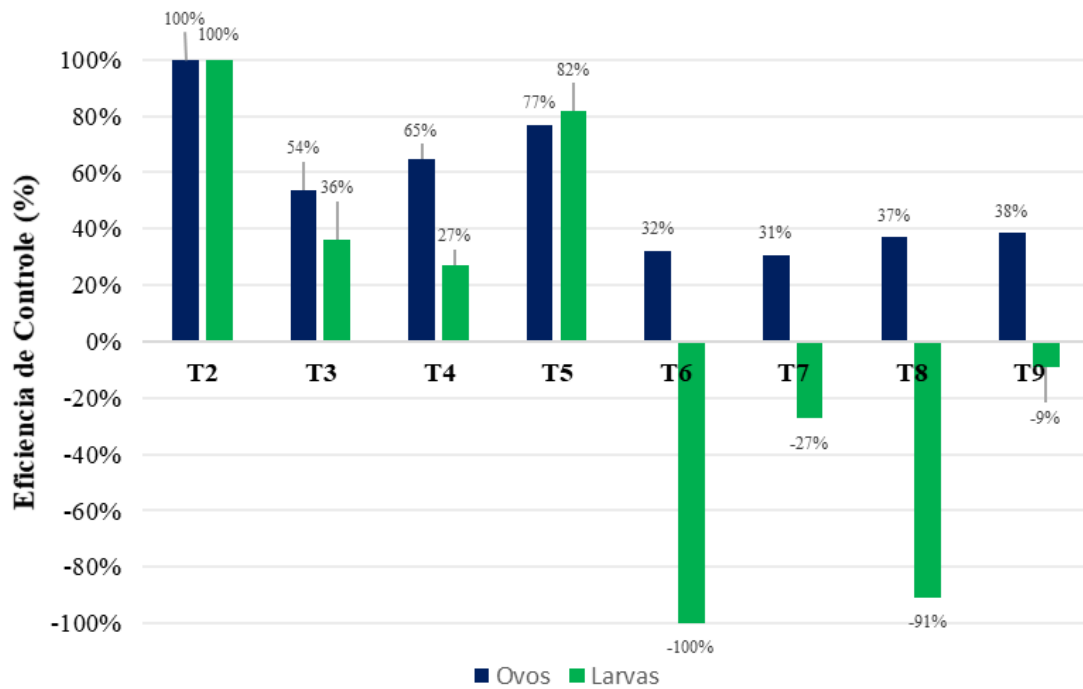
Fonte: Autor, 2024.

Figura 3 - Resultados da eficiência de controle (%) de adultos de *Hypothenemus hampei*, após aplicação de produtos químicos e biológicos via imersão em laboratório.



Fonte: Autor, 2024

Figura 4 - Resultados da eficiência na redução (%) de ovos e larvas de *Hypothenemus hampei*, após aplicação de produtos químicos e biológicos via imersão em laboratório.



Fonte: Autor, 2024

Os resultados na Figura 4 apresentam as médias da eficiência de controle de ovos e larvas da broca-do-café (%) entre os tratamentos pela fórmula de Abbott. Após a correção da mortalidade natural da testemunha, o inseticida químico alternativo obteve uma resposta de controle mediana. Para os bioinseticidas, os produtos BioOlimpo e V-Core, apresentaram bons percentuais de controle, contudo, foi evidenciado que o controle efetivo sobre ovos e larvas do produto BioOlimpo pode ter sido devido a mortalidade de adultos. Já o bioinseticida V-Core, apresentou alto controle em ovos e larvas (77 e 82% respectivamente), mesmo com sua eficácia na mortalidade de indivíduos adultos menores que as do BioOlimpo, inferindo que este produto possui potencial de controle também nas fases de ovo e larva, sendo esse controle não inerente a mortalidade dos adultos. Os demais bioinseticidas e suas associações, não apresentaram porcentagens de controle satisfatórias para ovos e larvas.

5.2 Discussão

Devido ao hábito críptico de *H. hampei*, o controle da broca-do-café se torna uma difícil realidade em condições de campo, sendo necessárias alternativas eficientes e sustentáveis. Os resultados do presente trabalho na avaliação da mortalidade de adultos de *H. hampei* para a alternativa química, utilizando o produto comercial a base de Diafentiuron (Polo) não se mostrou eficaz para o controle da praga. Segundo Ruder, Benson e Kayser (1991), existem fortes evidências que o Diafentiuron pode ser utilizado como um pró-inseticida, visto que sua degradação, por meio da luz do sol e oxigênio, produz um ativo chamado carbodiimida, que além de ser volátil, um mecanismo de dispersão interessante para o controle da broca-do-café, é potencialmente mais tóxico a insetos que o Diafentiuron. No experimento, não houve favorecimento para as condições de degradação do ativo em condições de laboratório. Portanto, mais estudos são necessários sobre os fatores de degradação do Diafentiuron em carbodiimida, suas concentrações e se há efeitos, em concentrações adequadas, em coleópteros.

Os bioinseticidas de modo geral, apresentaram baixas eficiências de controle (máxima de 38%) quando comparado ao trabalho de Samuels, Pereira e Gava (2002), que verificaram 50%-90% de controle com os fungos *B. bassiana* e *M. anisopliae*. Os produtos BioOlimpo e Biokato, possuem baixas concentração de unidades formadoras de colônias ($1,4 \times 10^5$ UFC/g e $1,4 \times 10^5$ UFC/g, respectivamente) em comparação aos demais produtos comercializados com os mesmos agentes de controle biológico, o que pode ter influenciado nos resultados. Contudo, de acordo com Neves e Hirose (2005), o aumento da concentração de conídios, nem sempre resultam em uma maior taxa de mortalidade, pois existe uma grande variação da virulência dos isolados e uma complexa gama de fatores que pode influenciar no controle da broca-do-café. Além disso, diversos fatores bióticos e abióticos podem influenciar no processo de infecção do hospedeiro segundo (Alves, 1998). Logo, trabalhos futuros utilizando os isolados de *B. bassiana* e *M. anisopliae* pertencentes aos respectivos produtos deverão avaliar em doses maiores para avaliação do controle de *H. hampei*.

Os resultados do bioinseticida V-Core, constituído de metabólitos de *P. fluorescens* e *P. chlororaphis* evidenciaram um efeito promissor, com resultados satisfatórios para o controle da praga quando comparado a outros bioativos já amplamente testados em campo. Os fungos entomopatogênicos e bactérias secretam grandes quantidades de metabólitos secundários, tanto para sua manutenção vital, quanto para a efetiva infecção do hospedeiro (Wiermann, 2022). A utilização de metabólitos como bioinseticidas vem cada vez mais demonstrando bons resultados e diversas possibilidades de controle fitossanitário. De acordo com Donzelli e Krasnoff (2016),

os metabólitos secundários secretados pelos microrganismos entomopatogênicos são capazes de danificar o sistema nervoso dos insetos ou diminuir a sua resistência.

A interação dos bioativos podem ter gerado incompatibilidade em alguns casos. Segundo Alves *et al.* (2002), estudos sobre a compatibilidade dos formulantes ou inertes presentes no produto comercial devem ser realizadas para verificar possíveis incompatibilidades. Portanto, a mistura dos diferentes bioinseticidas de acordo com a tabela 2, podem ter gerado incompatibilidade, reduzindo seu efeito quando comparado ao uso isolado dos mesmos.

6 CONCLUSÃO

- Conclui-se que em condições de laboratório, o ativo comercial Diafentiuron não se mostrou eficaz para o controle químico alternativo de *H. hampei*, com eficiência semelhante a testemunha.
- Para os ativos biológicos, o produto a base de *Beauveria bassiana* isolado IBCB 66 + *Metarhizium anisopliae* (Metsch) isolado IBCB 425 (BioOlimpo) se mostrou moderadamente eficiente ao controle da praga, com 30,8% de eficiência, mesmo em concentrações abaixo das comercializadas. O bioinseticida V-Core, a base de metabólitos secundários de fungos, e o Biokato (*Pseudomonas fluorescens* + *Pseudomonas chlororaphis*) não tiveram eficiência de controle. Somente a mistura com os 3 ativos apresentaram eficiência de controle (38,5%).

REFERÊNCIAS

- ALBA-ALEJANDRE, I.; ALBA-TERCEDOR, J.; VEGA, F.E. Observing the devastating coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) inside the coffee berry using micro-computed tomography. **Scientific Reports**, v. 8, n. 17033, p. 1-9, 2018.
- ALVES, R. T. *et al.* Effects of different formulations on viability and medium-term storage of *Metarhizium anisopliae* conidia. **Neotropical Entomology**, v. 31, n. 1, 2002.
- ALVES, S. B. **Controle microbiano de insetos**. 2. ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2014.
- ALVES, S.B. (Ed.). **Controle Microbiano de Insetos**. 2. ed. Piracicaba: Fealq, 1998.
- ANDRADE, A. L. de. **Eficácia de inseticidas para manejo da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (COLEOPTERA: SCOLYTIDAE)**. 2019. 20 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.
- AZRAG, A. G. A. *et al.* Temperature-dependent development and survival of immature stages of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). **Bull Entomol Res**, v. 110, n. 2, p. 207-218, 2020.
- BARBOSA, A. E. A. D. **Transformação genética de coffee arabica para resistência à broca-do-café**. 2009. Tese (Doutorado) - Universidade Católica de Brasília -, Brasília, 2009.
- BENASSI, V. L. R. M. **Levantamento dos inimigos naturais da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera: Scolytidae) no norte do Espírito Santo**. Espírito Santo: EMCAPA, 1995.
- BIDDINGER, D. J.; RAJOTTE, E. G. Integrated pest and pollinator management-adding a new dimension to an accepted paradigm. **Curr Opin Insect Sci**, v. 10, [s. n.], p. 204-209, 2015.
- BORÉM, F. M. **Tecnologia pós-colheita e qualidade de cafés especiais**. Lavras: UFLA, 2023. 407 p.
- COMITÊ Brasileiro de Ação à Resistência de Inseticidas - IRAC Brasil
- DONZELLI, B. G. G.; KRASNOFF, S. B. Chapter Ten - Molecular Genetics of Secondary Chemistry in *Metarhizium Fungi*. *Advances in Genetics*. B. **Academic Press**, v. 94, [s.n.], p. 365-436, 2016.
- DOWSON, R. J. An introduction to the principles of neurophysiology. **Pesticides Science**, v. 8, [s.n.], p. 651-660, 1977.
- FERREIRA, P. G. *et al.* Nicotina e a Origem dos Neonicotinoides: Problemas ou Soluções? **Revista Virtual de Química**, v. 14, n. 3, 2022.

GONGORA B, C. E., MARIN M, P., BENAVIDES M, P. Claves para el éxito del hongo *Beauveria bassiana* como controlador biológico de la broca del café. **Cenicafé**, 2009.

GONZÁLEZ, J. J. Evaluación y validación de mezclas de *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin y *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin para el control de la Broca del café en frutos infestados caídos al suelo, **Universidad Nacional de Colombia**, 2012.

HIGLEY, L.G.; PEDIGO, L.P. **Economic thresholds for integrated pest management**. Lincoln: University of Nebraska Press, 1997.

KEUM, Y. S. *et al.* Photodegradation of diafenthiuron in water. **Pest Manag Sci**, v. 58, n. 5, p. 496-502, 2002.

LAURENTINO, E. **Descrição e caracterização biológica da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*, Ferrari 1867) no Estado de Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2004.

LIRA, R. *et al.* Assessment of Boll Weevil Susceptibility to Isocycloseram and Ethiprole and Differential Toxicity to Natural Enemies. **Neotropical Entomology**, v. 53, n. 3, p. 682-693, 2024.

MENDONÇA, R., *et al.* Abordagem sobre a bienalidade de produção em plantas de café. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 13, 2011.

MORAES, J. C. **Pragas do cafeeiro: importância e métodos alternativos de controle**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 74 p.

MORZELLE, M. C. *et al.* **Agroquímicos estimulantes, extratos vegetais e metabólitos microbianos na agricultura**. Piracicaba: ESALQ, 2017.

NEVES, P. M. O. J.; HIROSE, E. Seleção de isolados de *Beauveria bassiana* para o controle biológico da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 1, 2005.

PLATA-RUEDA, A., L. C. *et al.* Exposure to cyantraniliprole causes mortality and disturbs behavioral and respiratory responses in the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*). **Pest Manag Sci**, v. 75, n. 8, p. 2236-2241, 2019.

RUDER F. J.; BENSON, J. A.; KAYSER, H. The thiourea insecticide/acaricide diafenthiuron has a novel mode of action: Inhibition of mitochondrial respiration by its carbodiimide product. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 41, n. 2, 1991.

SAMUELS, R. I.; PEREIRA, R. C.; GAVA, C. A. T. Infection of the Coffee Berry Borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) by Brazilian Isolates of the Entomopathogenic Fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina: Hyphomycetes). **Biocontrol Science and Technology**, v. 12, n. 5, p. 631–635, 2002.

SANTOS, J. M. F. **Aspectos críticos na aplicação de defensivos agrícolas**. In: Anais... XIII Reunião Itinerantes de Fitossanidade do Instituto Biológico. p.108-128, 2005.

SANTOS, M. A. T. D.; AREAS, M. A.; REYES, F. G. R. Piretróides—uma visão geral. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 18, n. 3, p. 339-349, 2008.

SERA, G. H. *et al.* **Resistência à broca em espécies e variedades de café. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil** (4. : Londrina, PR : 2005). Anais. Brasília: Embrapa - Café, 2005.

SOUZA, J. C. de. *et al.* Controle químico da broca-do-café com cyantraniliprole. **SbiCafé**, v. 8, n. 4, p. 404-410, 2013.

SOUZA, J. C. de; REIS, P. R. **Broca-do-café: histórico, reconhecimento, biologia, prejuízos, monitoramento e controle**. 2. ed. Belo Horizonte: EPAMIG, 1997.

STERN, V. M. *et al.* The integrated control concept. **Hilgardia**, v. 29, [s.n.], p.81-101, 1959.

THAPA, S.; LV, M.; XU, H. Acetylcholinesterase: A Primary Target for Drugs and Insecticides. **Mini Rev Med Chem**, v. 17, n. 17, p. 1665-1676, 2017.

VÉLEZ, P. E; BENAVIDES, G. M. Registro e identificación de *Beauveria bassiana* en *Hypothenemus hampei* en Ancuya, departamento de Nariño, Colombia. **Cenicafé**, v. 41, n. 2, p. 50 – 57, 1990.

WIERMANN, I. S. D. M. **Metabólitos com atividade inseticida produzidos por fungos entomopatogênicos**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biotecnologia) - Universidade Federal de São João Del-Rei -, São João Del-Rei, 2022.