

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Voláteis de flores de café com etanol e metanol são sinérgicos para a
atração de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) em cafezais**

Mariana Oliveira Garrigós Leite

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Entomologia

**Piracicaba
2016**

Mariana Oliveira Garrigós Leite
Engenheira Agrônoma

**Voláteis de flores de café com etanol e metanol são sinérgicos para a
atração de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) em cafezais**

Orientador:
Prof. Dr. JOSÉ MAURÍCIO SIMÕES BENTO

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Entomologia

Piracicaba
2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Leite, Mariana Oliveira Garrigós

Voláteis de flores de café com etanol e metanol são sinérgicos para a atração de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) em cafezais / Mariana Oliveira Garrigós Leite. - - Piracicaba, 2016.

62 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Ecologia química 2. Voláteis de plantas 3. Armadilhas 4. Insetos não-alvo
5. Manejo integrado de pragas I. Título

CDD 632.768
L533v

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, pois sem eles isto não seria possível e aos produtores rurais que possam aproveitar estes resultados.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Luciano e Elizabete, pelo esforço que sempre fizeram por mim e meu irmão. Pela dedicação extrema, pelo amor infinito, pelas broncas necessárias, pelos sufocos passados, pelas viagens inesquecíveis e pelo apoio em todo o período do mestrado.

Agradeço meu namorado, Cumidoi, meu amigo, meu companheiro. Agradeço pelo amor mais puro e sincero, que sempre me deu alegrias e me ajudou a concluir esse trabalho.

Agradeço ao Dr. Weliton Dias Silva (P.S), pela paciência, pelos aprendizados, pelas broncas necessárias e pela ajuda incalculável nesse projeto. Agradeço por não ter desistido de mim!!!

Agradeço ao Prof. Dr. José Maurício Simões Bento pela orientação e oportunidade ao longo desses 5 anos, de fazer parte de um dos melhores laboratórios do Brasil.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Mestrado no Brasil;

Ao INCT Semioquímicos na Agricultura e à ESALQ

Agradeço aos meus amigos que me acompanharam em campo, Weliton, Mateus, Davi, Camila Costa, Camila Colepicolo, Laura Cristina (Ar.), Juliana (Ds.), Pedro Ribas (Pt.), Caio Pellicani (Ff.), Koen, Julian, em especial à Kamila e Natalia por terem me acompanhado tantas vezes.

Agradeço ao Prof. Dr. Jamil de Moraes pela área concedida para realização dos experimentos, além da super ajuda durante o período do trabalho.

Agradeço ao Dr. Valmir Antonio Costa pela ajuda na identificação dos microhymenopteras

Agradeço à toda minha família, meu irmão, minha vó, minhas tias, meus tios, primos e primas, pelo amor, confiança, apoio e até pela ajuda incansável em capturar insetos pro “insetário”.

Agradeço aos meus amigos do Laboratório, Fran, Rafa, Kamila, Pati, Luiza, Camila Costa, Camila Colepicolo, Arodi, Fernando C., Emile, em especial à Talita, Fernando Sujimoto, Lucila, Aline, Diego, Natalia, Kamila e Koen pela amizade, ajuda no trabalho de mestrado e suporte emocional. Vamo toma um café?

Agradeço à minha segunda família, a mansão O Beko, a maior mansão da ESALQ, pelo amor e amizades que vou carregar pra vida toda. Pelos aprendizados de vida, que em

nenhuma escola nunca aprenderia. Por ter ganhado irmãs (inclusive Joana e Sula Miranda) e uma segunda mãe (Dona Ilza) pra vida!!!

Agradeço às minhas melhores amigas de São José, Francine, Renata, Pati, Loira e Thassia, por todas as aventuras que vivemos juntas, por terem me permitido compartilhar uma das melhores fases da minha vida junto delas!!!

Agradeço à Coração de Mãe, à Holok-usto e à Pensão Atecubanos pela amizade eterna, os momentos de alegria e tristeza, pois esses nos fizeram mais fortes!!!

Agradeço à minha parcerita Natalia e à Marina pelo amor, amizade e aventura nesses últimos anos e pela ajuda no projeto.

EPÍGRAFE

"Até que os leões inventem as suas próprias histórias,
os caçadores serão sempre os heróis das narrativas de caça"
Provérbio Africano

SUMÁRIO

RESUMO	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Características gerais da bioecologia de <i>H. hampei</i>	17
2.2 Importância econômica e manejo de <i>H. hampei</i>	18
2.3 Planta do café e <i>H. hampei</i>	19
2.4 Fonte de dispersão	20
2.5 Ecologia química de <i>H. hampei</i>	20
2.6 Monitoramento de <i>H. hampei</i> com armadilhas	22
2.7 Amostragem da população de <i>H. hampei</i>	24
2.8 Inimigos naturais	24
2.9 Ecologia química de outros Scolytinae	26
2.10 Compostos da flor do café	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 Semioquímicos	31
3.2 Armadilhas	31
3.3 Bioensaios de campo	33
3.4 Avaliação dos insetos coletados	36
3.5 Análise estatística	38
4 RESULTADOS	39
4.1 Experimento I	39
4.2 Experimento II	43
5 DISCUSSÃO	45
6 CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	51

RESUMO

Voláteis de flores de café com etanol e metanol são sinérgicos para a atração de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) em cafezais

Neste estudo, foi testada a atratividade de novos semioquímicos a fêmeas da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari), que é a principal praga da cultura do café no mundo. Armadilhas iscadas com compostos voláteis de flores de café 'CFloC' (ou seja, mistura 1:1:1:1 de metil salicilato, citral, geraniol e nerol), compostos voláteis de frutos de café (ou seja, mistura 1:1:1:1 de 2-heptanol, 2-heptanona, benzaldeído, etilbenzeno e (*R*)-(+)-limoneno) e compostos voláteis de plantas hospedeiras de escolitíneos (besouros da casca) 'CS' (ou seja, a mistura 1:1:1:1:1 de (-)- α -pineno, (+)- α -pineno, (-)- β -pineno, 2-feniletanol, mirceno e mirtenol) foram testadas em combinação ou não com etanol e metanol 'E:M' (mistura 1:1) em uma área de cafezal localizada em Inconfidentes-MG, Brasil. O resultado mais importante foi que armadilhas iscadas com CFloC + E:M atraíram significativamente mais adultos da broca-do-café do que os outros tratamentos isolados ou combinados. Por outro lado, armadilhas iscadas com compostos voláteis de frutos de café 'CFruC' + E:M não diferiram de E:M. Já armadilhas iscadas com CS + E:M atraíram menos besouros do que E:M. Um número significativo de outras espécies de Scolytinae também foram atraídos por armadilhas iscadas com CFloC + E:M e E:M. Além disso, um número muito baixo de outros insetos de, pelo menos, oito ordens também foram atraídos por estes dois tratamentos. Tomados juntos, estes resultados oferecem evidências convincentes de que CFloC e E:M são sinérgicos para a captura de *H. hampei*, favorecendo o desenvolvimento de uma nova estratégia para o manejo integrado desta espécie em cafezais.

Palavras-chave: Ecologia química; Voláteis de plantas; Armadilhas; Insetos não-alvo; Manejo integrado de pragas

ABSTRACT

Coffee flower volatiles with ethanol and methanol are synergistic for the attracton of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) in coffee growing areas

In this study, it was tested the attractiveness of new semiochemicals to coffee berry borer females, *Hypothenemus hampei* (Ferrari), that is the most important pest of coffee in the world. Traps baited with coffee flower volatile compounds 'CFloC' (1:1:1:1 mixture of methyl salicylate, citral, geraniol, and nerol), coffee fruit volatile compounds (i.e., 1:1:1:1:1 mixture of 2-heptanol, 2-heptanone, benzaldehyde, ethylbenzene, and (*R*)-(+)-limonene) and scolytine (bark beetles) host plant volatile compounds 'CS' (1:1:1:1:1:1 mixture of (-)- α -pinene, (+)- α -pinene, (-)- β -pinene, 2-phenylethanol, myrcene, and myrtenol) were tested in combination or not with ethanol and methanol "E:M" (1:1 mixture) in a coffee growing area located in Inconfidentes, MG, Brazil. The most relevant result is that traps baited with CFloC + E:M attracted significantly more coffee berry borer adults than the other treatments. On the other hand, traps baited with coffee fruits volatile compounds 'CFruC' + E:M were similar to the ones bated with E:M. Yet traps with CS + E:M attracted significantly less beetles than traps with E:M. A significant number of other Scolytinae species were also attracted by CFloC + E:M and E:M. Moreover, a very low number of other insects from, at least, eight orders were also attracted by these two treatments. Taken together, these results offer compelling evidences that CFloC and E:M are synergistic for the capture of *H. hampei*, promoting the development of a new strategy for the integrated management of this species in coffee growers.

Keywords: Chemical ecology; Plant volatiles; Traps; Non-target insects; Integrated pest management

1 INTRODUÇÃO

A broca do café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) é a principal praga da cafeicultura no mundo, causando perdas quantitativas e qualitativas na produção de café (INFANTE; PÉREZ; VEGA, 2012). Somente no Brasil, os prejuízos anuais por esta praga ultrapassam 300 milhões de dólares (OLIVEIRA et al., 2013).

A broca-do-café possui comportamento críptico, passando todo o seu ciclo de vida (ovo a adulto) dentro do fruto de café (BERGAMIN, 1943), o que dificulta a ação dos agentes de manejo da praga (DAMON, 2000). As poucas estratégias disponíveis para manejo de *H. hampei* têm sido baseadas, principalmente, no uso de inseticidas sintéticos, tais como aqueles do grupo do endossulfân (DAMON, 2000). Contudo, devido a toxicidade ao homem e poluição do meio ambiente, além do surgimento de casos de resistência de pragas relacionadas a estes produtos (BRUN et al., 1989, BRUN; MARCILLAUD; GAUDICHON, 1994, DAMON, 2000), seu uso foi banido em diversas partes do mundo. No Brasil, o uso de endossulfân foi proibido a partir de 2013, mas, desde então, surtos populacionais de *H. hampei* têm sido relatados nas principais regiões produtoras do país (PEREIRA et al., 2012). Por essa razão, a busca por novas estratégias para o manejo da broca-do-café, tais como o uso de semioquímicos tem se tornado cada vez mais importantes (JARAMILLO; BORGEMEISTER; BAKER, 2006, ARISTIZÁBAL; BUSTILLO; ARTHURS, 2016).

Após a cópula, fêmeas de *H. hampei* normalmente abandonam o fruto de café no qual se desenvolveram, visando a colonização de novos frutos. Por esta razão são chamadas de ‘fêmeas colonizadoras’ (MATHIEU et al. 1997, 2001). Fatores ambientais como temperatura, umidade (BAKER; BARRERA; RIVAS, 1992) e luz (MATHIEU et al. 1997), assim como o estado da musculatura alar (LÓPEZ-GUILLÉN et al., 2011), e do tegumento do inseto (SILVA et al., 2014), são primordiais para desencadear o processo de dispersão da espécie.

No campo, aparentemente, fêmeas colonizadoras de *H. hampei* utilizam os voláteis dos frutos de café para localizar um novo hospedeiro (GIORDANENGO; BRUN; FRÉROT, 1993). Neste caso, a intensidade da resposta olfativa do inseto varia com o estágio de amadurecimento do fruto, sendo preferidos os maduros ao invés dos verdes ou secos (GIORDANENGO; BRUN; FRÉROT, 1993). A presença de álcoois nos voláteis destes frutos parece ser uma das explicações pelas quais armadilhas contendo etanol e metanol capturam a broca-de-café (MENDOZA-MORA, 1991). De fato, armadilhas contendo a mistura 1:1 ou 1:3 de etanol e metanol têm sido amplamente utilizadas para monitoramento e manejo populacional de *H. hampei* (DUFOUR; FRÉROT, 2008, FERNANDES et al., 2011,

PEREIRA et al., 2012). Estudos mais detalhados têm demonstrado respostas eletrofisiológicas em antenas de fêmeas colonizadoras a alguns compostos presentes nos voláteis de frutos de café (MENDESIL et al., 2009, JARAMILLO et al., 2013; ROBLERO; MALO, 2013). Por outro lado, a incorporação destes voláteis em armadilhas não tem resultado em aumentos de capturas da broca-do-café em comparação as obtidas com etanol e metanol (NJIHIA et al., 2014). Recentemente, novos compostos eletrofisiologicamente ativos a *H. hampei* foram identificados nos voláteis de flores de café (Silva, 2014), porém sua resposta no campo ainda não foi investigada.

Tomadas juntas, estas informações demonstram muitas lacunas acerca da utilização de semioquímicos no manejo de *H. hampei*. Neste sentido, este trabalho teve por objetivo, selecionar a melhor composição química para a captura da broca-do-café, *H. hampei*, a partir de compostos voláteis eletrofisiologicamente ativos, isoladamente, ou em mistura com outros compostos, já utilizados na comunicação química de diferentes espécies de Scolytinae. Adicionalmente, considerando que muitas espécies não alvo, como outros escolitíneos, também são capturadas nestas armadilhas, este trabalho visou ainda, avaliar o impacto destes atraentes na captura destes insetos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Características gerais da bioecologia de *H. hampei*

A broca-do-café, *H. hampei*, é um coleóptero pertencente à família Curculionidae, subfamília Scolytinae, sendo o adulto um besouro preto luzido, de corpo cilíndrico e ligeiramente recurvado para a região posterior. É na fase larval que ocorrem os maiores danos no fruto de café (FERNÁNDEZ; CORDERO, 2007). Teve seu primeiro registro na América do Sul feito no Brasil, em 1913, na cidade de Campinas (BERTHET, 1913). Desde então, *H. hampei* foi se disseminando e hoje está presente em todas as regiões cafeeiras do Brasil (BENASSI, 2007).

A broca é uma espécie críptica, passando seu ciclo de vida (ovo a adulto) dentro do fruto de café (BERGAMIN, 1943; MATHIEU et al., 2001). Dessa forma, a reprodução ocorre dentro do fruto do café, com os acasalamentos ocorrendo entre a progênie (BERGAMIN, 1943). Geralmente os machos e fêmeas atingem a maturidade sexual ao mesmo tempo, dentro de 2 dias (BAKER; BARRERAS; RIVAS, 1992; SILVA et al., 2012). O ciclo dessa praga é multivoltino com sobreposição de gerações, podendo ter de 3 até 9 gerações em um ano (BERGAMIN, 1943; BAKER, 1999; TICHELER, 1963; GIORDANENGO; BRUN; FREROT, 1993; JARAMILLO et al., 2009). A sobreposição de gerações resulta na presença de indivíduos de diferentes idades dentro do mesmo fruto. Assim, quando os machos se encontram maduros sexualmente, eles iniciam a cópula com suas irmãs dentro do fruto (SILVA et al., 2012).

A broca do café exibe haplodiploidia funcional. Os machos são produzidos apenas a partir de ovos não fertilizados e as fêmeas a partir de ovos fertilizados, resultando em machos haplóides e fêmeas diploides (VEGA et al., 2002). Das larvas eclodidas após a oviposição, a maioria é predominantemente fêmea, com uma razão sexual de 10:1 (BAKER; BARRERAS; RIVAS, 1992; VEGA et al., 2002). Essa proporção enviesada ocorre devido à presença da bactéria *Wolbachia* que manipula a reprodução do hospedeiro a partir de vários mecanismos, incluindo a conversão de sexo, partenogênese e a eliminação do sexo masculino (VEGA et al., 2002).

Na broca-do-café, as fêmeas que abandonam o fruto nativo na fase de dispersão são chamadas de ‘fêmeas colonizadoras’ (MATHIEU et al., 1997; MATHIEU et al., 2001). Após encontrar um fruto em condições adequadas, ela inicia a infestação, perfurando o fruto na região da coroa (COSTA; FARIA, 2001) e fazendo galerias para a oviposição. Depois de

instalada, a broca-do-café pode começar a ovipositar desde a primeira semana depois da entrada na semente (CAMILO; OLIVARES; JIMÉNEZ, 2003).

H. hampei é o único inseto especializado em se alimentar e completar o seu ciclo de vida exclusivamente dentro da semente do fruto do café (VEGA; DAVIS; JARAMILLO, 2012). Essa característica é exclusiva de *H. hampei*, pois este apresenta um núcleo da microbiota intestinal responsável pela degradação da cafeína do trato digestivo do inseto. Essa microbiota intestinal é compartilhada entre os indivíduos de *H. hampei* de diferentes regiões geográficas (CEJA-NAVARRO et al., 2015).

2.2 Importância econômica e manejo de *H. hampei*

O café é considerado a *commodity* agrícola mais importante em 70 países tropicais (JARAMILLO; BORGEMEISTER; BAKER, 2006) sendo o produto com a maior demanda do mundo depois do petróleo (VEGA, 2008). Nesse cenário, o Brasil se encontra como o maior produtor mundial (OLIVEIRA, et al. 2013; COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2016), e deverá ter uma produção superior aos 50 milhões de sacas em 2016 (LINGENHELD, 2016), gerando um capital que ultrapassará os 7 bilhões de dólares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2016). Embora difíceis de estimar, as perdas econômicas geradas pelos danos diretos da brocas-do-café no Brasil, atingem mais de 300 milhões de dólares por ano (OLIVEIRA, et al. 2013; INFANTE; PÉREZ; VEGA, 2012; JARAMILLO et al., 2013).

A broca-do-café, *H. hampei* é o problema fitossanitário mais importante da cafeicultura (VEGA et al., 2009; JARAMILLO et al., 2013, OLIVEIRO et al., 2013). Atualmente, a praga encontra-se distribuída em 84 países produtores de café (CABI, 2016), e os danos da praga afetam diretamente o sustento de aproximadamente 100 milhões de pequenos produtores em todo o mundo (NJIHIA, 2014).

O hábito críptico e o ciclo multivoltino contribuem para que o seu controle seja dificultado (VEGA et al., 2009). Em virtude disso, poucas opções de controle mostram-se efetivas para esta praga, sendo ainda hoje, o controle químico o método mais utilizado. Muitos cafeicultores contam com a aplicação de inseticidas sintéticos para o controle de *H. hampei*. No entanto, apesar de efetivo, o controle químico traz como consequências problemas ambientais e toxicológicos destes produtos. Ademais, há relatos de resistência de *H. hampei* e de outros escolitídeos aos principais inseticidas utilizados (BRUN et al., 1989; BRUN, 1994), o que vêm impondo barreiras para utilização dos mesmos. No Brasil, desde

2014 o uso do inseticida Endosulfan na agricultura está proibido (AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA, 2014), todavia, esse era o inseticida mais utilizado e eficiente para o controle de *H. hampei* (DAMON et al., 2000; PEREIRA et al., 2012), sendo necessário estudos para o desenvolvimento de novas formas de controle.

2.3 Planta do café e broca-do-café

As espécies de café mais cultivadas (*C. arabica* e *C. canephora*) são espécies que tem sua origem nas florestas tropicais e sub-bosque na África, onde encontram ambientes de alta umidade e diversidade de plantas (DAVIS et al., 2006). Elas são tradicionalmente cultivadas em áreas sombreadas, no entanto, podem ser plantadas em áreas de sol pleno ou sob diferentes níveis de sombreamento (VEGA et al., 2009). O sistema moderno de cultivo é caracterizado pela diminuição no sombreamento, aumento de produção do café e da utilização de produtos químicos para controle de pragas e poda (PERFECTO et al., 1996).

Essas mudanças no sistema de cultivos do café resultam em um aumento da radiação solar no solo, com consequente aumento da temperatura do microclima do cultivo, impactando diretamente o efeito das chuvas e uma diminuição da umidade relativa no microclima da área (PERFECTO et al., 1996). Em plantações de café a pleno sol, flutuações na temperatura e umidade se tornam mais extremas em relação aos cultivos sombreados (PERFECTO et al., 1996). No entanto, essas mudanças edafoclimáticas interferem diretamente na produção do café, pois interferem no ciclo de floração, reprodução e desenvolvimento da planta do café.

Durante o período reprodutivo do café, geralmente há mais do que um evento de floração (ALVIM, 1960). A floração de *C. arabica* ocorre em ondas sincronizadas, estimuladas por fortes chuvas após um período seco, assim como a revoada das primeiras fêmeas colonizadoras de *H. hampei* no campo, que são estimuladas a emergir quando há umidade relativa acima de 90% (VEGA et al., 2009).

As fêmeas que abandonam o fruto nativo na fase de dispersão são conhecidas como ‘fêmeas colonizadoras’ (MATHIEU et al., 1997; MATHIEU et al., 2001). Estas fêmeas abandonam o hospedeiro estimuladas por fatores climáticos do ambiente, como intensidade luminosa (MATHIEU et al., 1997), umidade relativa do ar e temperatura (BAKER; BARRERAS; RIVAS, 1992). O trânsito das fêmeas colonizadoras se dá num período de 12 horas, entre as 6 da manhã as 6 da tarde, sendo mais intenso entre as 12:00 e 17:00h (CAMPOS-ALMENGOR, 1982; BORBÓN-MARTÍNEZ et al. 2000) com voos a altitude de 4-5m, e distâncias de até 400 m, de acordo com Leroy (1936)

A perfuração pode começar com o fruto do café ainda no estágio verde e o fator determinante para a penetração é a porcentagem de umidade (peso seco) do fruto do café, que deve ser de ao menos 20% (BAKER, 1999; BUSTILLO et al., 1998). São necessários no mínimo 2 dias para que a fêmea inicie a construção da galeria dentro do fruto (WRIGLEY, 1988). Normalmente, apenas uma fêmea entra por fruto, exceto em casos de altas infestações. (MENDESIL; JEMBERE; SEYOUM, 2004; VEGA; KRAMER; JARAMILLO, 2011).

2.4 Fonte de dispersão

Durante a entressafra ou durante o período sem frutos, elas podem viver nos frutos não colhidos nas plantas de café, ou em frutos caídos no chão (WEBGE, 2003). Esses frutos servem como uma fonte para a dispersão e infestação para a próxima safra (JARAMILLO; BORGEMEISTER; BAKER, 2006). Entretanto, já foi reportado que *H. hampei* também pode se reproduzir em outras espécies de plantas, em especial da família Fabacea (DAMON, 2000). Esse é um importante fator nas áreas de produção de café onde a produção é sazonal. A eliminação destas plantas hospedeiras alternativas e de frutos de café caídos no chão depois da colheita, contribuem para a redução da infestação de *H. hampei*. De acordo com Baker (1984), mais de 500 mil insetos/ha podem estar presentes em frutos caídos no solo após a colheita. No México, a prática de catação de frutos no chão foi considerado tão efetiva quanto duas aplicações de inseticidas em uma área (VILLANUEVA, 1990).

2.5 Ecologia química de *H. hampei*

As fêmeas colonizadoras de *H. hampei*, utilizam aparentemente os voláteis das plantas de café para localizar um novo hospedeiro (GIORDANENGO; BRUN; FRÉROT, 1993). Diversos trabalhos já foram conduzidos visando a identificação dos voláteis dos frutos de café, com vistas ao seu uso no manejo de *H. hampei* (GIORDANENGO, BRUN, FREROT, 1993; MATHIEU et al., 1996; MATHIEU; MALOSSE; FRÉROT, 1998; ORTIZ et al., 2004; BARRERA, 2005; MENDESIL et al., 2009; JARAMILLO et al., 2013; ROBLERO; MALO, 2013; NJIHIA et al., 2014). A presença frequente de álcoois em tais voláteis parece ser uma das razões pelas quais armadilhas iscadas com etanol e metanol são efetivas na captura da broca-de-café (ORTIZ et al., 2004). Mendoza-Mora, (1991) foi o primeiro a identificar compostos alcoólicos nos frutos do café e a atratividades dos mesmos para as brocas do café. Através de bioensaios em laboratório, Giordanengo et al. (1993) observou que fêmeas de *H.*

hampei eram significativamente mais atraídas por voláteis de frutos de café vermelhos em comparação a voláteis de frutos verdes. As fêmeas também responderam à voláteis de extratos de frutos verdes e acetona.

Mathieu et al. (2001) reportou que fêmeas colonizadoras eram atraídas para placas de Petri onde haviam fruto de café vermelho, em comparação a placas que não haviam frutos. Gutiérrez-Martínez; Ondarza (1996) foram os primeiros a testar extratos de café em laboratório e em campo. Eles testaram extratos diferentes partes da planta do café (flor, folhas, fruto, ramos e raízes) da espécie *C. canephora*, e observaram que o extrato de frutos maduros com cloreto de metileno e etanol foi o que obteve maior atração para as brocas-do-café. Velasco-Pascual, Llavén-Gómez; Velásquez-Velásquez (1997) realizaram bioensaios de campo utilizando armadilhas iscadas com dois extratos diferentes (*C. Arabica* e *C. canephora*) + etanol e metanol (1:1,5) em uma plantação de *C. canephora*. Em campo, eles reportaram diferenças significativas na captura de brocas-do-café em relação à variedade de café utilizado no extrato.

Mathieu et al., 1996; Mathieu; Malosse; Frerot, 1998, identificaram 28 e 45 compostos nos frutos do café, respectivamente. Frutos vermelhos de *C. canephora* liberaram, principalmente, os compostos (α)-pineno, β -pineno, mirceno, limoneno, cariofileno e humuleno. Frutos vermelhos de *C. arabica* liberaram notavelmente limoneno, e linalool; enquanto frutos secos de *C. arabica* liberaram 2-pentanol, isopentanol e 2-heptanol, cis- e trans-óxido de linalol. Os compostos limoneno, linalool e dois óxidos de linalol foram identificados pela primeira vez em extratos de frutos vermelhos e secos de *C. arabica*. Ortiz et al. (2004) identificou 27, 34, 41 e 68 compostos em frutos verdes, meio maduros, maduros e super maduros, respectivamente. A partir daí estes autores realizaram a identificação dos compostos de frutos secos, e testes eletroantagráficos, e observaram a resposta para três compostos ativos às fêmeas de *H. hampei* – nonane, 3-etil-4-metilpentanol e 1-octen-3-ol – como voláteis de frutos do café. Além disso, quatro desses compostos elicitaram atratividade em bioensaios de olfatosmetria: 3-etil-4-metilpentanol, nonane, metilciclohexano, e etilbenzeno, assim como uma mistura desses quatro compostos.

Mendesil et al. (2009) verificaram que metilciclohexano, etilbenzeno, nonano, 3-etil-4-metilpentanol, 1-octano-3-ol e (R)-limoneno foram eletrofisiologicamente ativos a fêmeas de *H. hampei*, mas que somente os quatro primeiros compostos mencionados foram atrativos aos insetos. Em contraste, Jaramillo et al. (2013) encontrou 50 compostos em frutos de café amarelo-laranja (*C. arabica* var. Ruiru 11), em sua maioria compostos oxigenados, e determinaram que (5*S*,7*S*)-conofitorin e 1,6-dioxaspiro[4,5]-decano, frontalín e α -pineno

foram os voláteis eletrofisiologicamente ativos dos frutos de café, sendo que apenas os dois primeiros foram atrativos aos insetos. Além disso, neste último trabalho foram testados em GC-EAD os mesmos compostos encontrados por Mendesil et al. (2009), mas os resultados não se confirmaram.

Roblero, Malo (2013) determinaram somente a resposta eletroantegráfica dos voláteis de frutos de café e verificaram que 2-heptanona, 2-heptanol, 3-etil-4-metilpentanol, álcool fenil-etil, metil salicilato e α -copaeno elicitaram resposta antenal em fêmeas de *H. hampei*. Njihia et al. (2014) encontrou que (5S,7S)-conophthorin, frontalín e brocaín aparentaram ser voláteis essenciais no processo de colonização do hospedeiro de *H. hampei*. Segundo o grupo, o comportamento de colonização do hospedeiro de *H. hampei* ocorre possivelmente pelo sistema ‘push-pull’, onde o frontalín age como o ‘push’ (repelente) e o conophthorin age como o ‘pull’ (atraente). Eles testaram os compostos no campo, no entanto, apenas o frontalín apresentou resultados significativos, resultando em 77 % menos captura de fêmeas de *H. hampei*.

Silva (2014) encontrou evidências pioneiras no laboratório sobre respostas eletroantegráficas de fêmeas colonizadoras de *H. hampei* aos voláteis de flores de café, metil salicilato, neral e geranial – juntos estes dois últimos formam o composto citral. Os compostos encontrados nas flores do café somente haviam sido identificados anteriormente em dois trabalhos, porém, em estudos não relacionados com qualquer praga do café (EMURA et al, 1997; STASHENKO et al., 2013). Os compostos geranial, neral, geraniol, nerol, α -pineno, limoneno e metil salicilato foram identificados dentre dezenas de outros compostos por Stashenko et al., 2013, enquanto Emura et al., 1997 encontrou os compostos benzaldeído, metil salicilato, mirceno, limoneno e geraniol, dentro outros voláteis.

O composto metil salicilato já foi reportado como composto produzido pelo fruto do café depois de danos mecânicos e/ou por frutos infestados (CRUZ-LOPEZ; DÍAZ-DÍAZ; ROJAS, 2016), e possivelmente, por esse motivo que brocas-do-café sejam mais atraídas por frutos infestados do que por frutos saudáveis (MENDOZA-MOORA, 1991).

2.6 Armadilhas para captura de *H. hampei*

A presença de álcoois nos voláteis de frutos do café tem sido considerada uma das explicações pelas quais armadilhas contendo etanol e metanol funcionam na captura da broca-de-café. Mendoza-Mora (1991) foi o primeiro a demonstrar o efeito sinérgico da mistura etanol e metanol (1:3) na atração de brocas-do-café. De fato, armadilhas contendo a mistura

1:1 ou 1:3 de etanol e metanol têm sido amplamente utilizadas para monitoramento e manejo populacional de *H. hampei* (MATHIEU et al., 1997; CARDENAS, 2000; BORBÓN-MARTÍNEZ et al., 2000; DUFOUR; FRÉROT, 2008; FERNANDES et al., 2011; PEREIRA et al., 2012).

Diversas armadilhas para captura da broca-do-café têm sido desenvolvidas e testadas ao longo dos anos em diversos países produtores de café. Por exemplo, no Brasil a armadilha IAPAR (VILLACORTA et al., 2001); no México a Ecobroca, ECOIAPAR e ETOTRAP (VELASCO-PASCUAL et al., 1997; BARRERA et al., 2008); na Colômbia a CENICAFE (CÁRDENAS, 2000); e na Costa Rica a Fiesta (BORBÓN-MARTÍNEZ et al., 2000; BARRERA et al., 2008). A maioria dessas armadilhas são feitas manualmente utilizando garrafas Pet 2 L vazias como os modelos IAPAR, ECOIAPAR, ETOTRAP, CENICAFE, ou copos de plástico como a Fiesta. Essa particularidade auxilia os produtores na redução dos custos, pois os mesmos podem manufaturar a armadilha, além do aspecto ambiental, devido a reciclagem do material. Apenas uma armadilha, chamada BROCAP®, foi desenvolvida pelos institutos PROCAFE em El Salvador e CIRAD na França, a qual tem sido utilizada em muitos países na América Latina (GONZÁLEZ, DUFOUR, 2000).

Muitos fatores influenciam a eficácia de captura da broca-do-café pelas armadilhas, incluindo a cor da armadilha, formato, localização no campo e na planta e o atrativo utilizado (da SILVA et al., 2006; BARRERA et al., 2005). Por exemplo, Mathieu et al. (1997) e Dufour, Frérot (2008) observaram que armadilhas vermelhas ou com uma faixa vermelha resultaram em uma maior taxa de captura comparado com outras cores. Em relação à disposição da armadilha na planta, quando fixada a 1,2 m de altura na planta, ela captura três vezes mais do que disposta no chão (DUFOUR; FRÉROT, 2008).

Além do etanol e metanol serem efetivos na atração da broca do café, aparentemente, há um efeito adicional na captura quando compostos voláteis do fruto do café são incluídos nesta mistura (GUTIÉRREZ-MARTÍNEZ, HERNÁNDEZ-RIVAS, VIRGEN-SÁNCHEZ, 1993; VELASCO-PASCUAL, LLAVÉN-GÓMEZ, VELÁSQUEZ-VELÁSQUEZ, 1997).

Contudo, apesar dessas capturas serem relativamente altas, elas ainda representam uma pequena fração da população de *H. hampei*, sendo por isso tais armadilhas consideradas não efetivas na redução populacional da praga, por meio desta coleta massal (JARAMILLO et al., 2013). Além disso, um problema na utilização de armadilhas iscadas somente com atraentes alcoólicos é que, eles acabam capturando diferentes espécies de escolitíneos e outros tipos de insetos, por não se tratarem de compostos específicos para *H. hampei*. Por exemplo, de 2850 a 9048 espécies de insetos não-alvo foram capturadas por armadilhas espalhadas em

quatro locais no campo, segundo Pereira et al. (2012). Além do problema ecológico da captura de outros insetos, esses teriam de ser contados manualmente para separar *H. hampei* dos outros, sendo um processo trabalhoso e que aumentaria os custos de mão-de-obra para o produtor (MESSING, 2012).

2.7 Amostragem da população de *H. hampei*

Um aspecto importante, e base do Manejo Integrado de Pragas é a amostragem da praga na área, possibilitando assim determinar a sua localização e taxa de infestação. Essa amostragem pode ser realizada por meio de armadilhas iscadas com atraentes, que economizam tempo na tomada de decisão do controle e são fáceis de serem usadas (FERNANDES et al., 2012). Outra possibilidade é por meio da amostragem aleatória de frutos dos pés de café, quantificando-se a porcentagem de frutos brocados, que continua sendo o método mais utilizado (ARISTIZÁBAL; BUSTILLO; ARTHURS, 2016). Os índices utilizados para a tomada de decisão são o nível de dano econômico (NDE) que corresponde ao número mínimo de insetos necessários para causar prejuízo na cultura, e o nível de controle (NC) que se refere à população de pragas em que o controle deve ser implementado para evitar alcançar o NDE (FERNANDES et al., 2012). No Brasil, o NDE para a tomada de decisão de controle da broca-do-café durante a fase de floração, ‘chumbinho’ (quando o fruto está em média com 0,5 a 1,0 cm de diâmetro), e frutos maduros é de 426, 85 e 28 adultos/armadilha, respectivamente (FERNANDES et al., 2012). Em uma amostragem aleatória, o nível de dano econômico é de 4,3 % de frutos brocados em 300 g de frutos, para cultivos convencionais e orgânicos considerando perdas quantitativas e qualitativas (FERNANDES et al., 2012).

2.8 Inimigos naturais

Agentes de controle biológico também podem ser utilizados no manejo da broca-do-café. Os parasitoides são os agentes de controle biológico mais promissores em função dos hábitos da praga (MURPHY; MOORE, 1990). Até o momento foram reportados na literatura apenas 6 parasitoides com o ciclo de vida completo em *H. hampei*: *Prorops nasuta* Waterson, *Cephalonomia stephanoderis* Betrem e *C. hyalinipennis* Ashmead, da família Bethyridae; *Phymastichus coffea* LaSalle da família Eulophidae; *Heterospilus coffeicola* Schmiedeknecht e *Cryptoxilos sp.* Viereck da família Braconidae (MORALLO-REJESUS; BALDOS, 1980;

BENASSI, 1995; BUSTILLO et al., 2002). As espécies mais promissoras incluem *P. nasuta* e *C. stephanoderis* que são ectoparasitoides de ovos, larvas e pupas de brocas-do-café (INFANTE; MUMFORD; BAKER, 2005; LAUZIÈRE; BRODEUR; PÉREZ-LACHAUD, 2001). *C. stephanoderis* ataca e se alimenta das fêmeas de *H. hampei*, enquanto *P. nasuta* usa apenas o abdômen das fêmeas para bloquear a entrada da galeria no fruto no café, sem se alimentar das mesmas (INFANTE; MUMFORD; BAKER, 2005; LAUZIÈRE; BRODEUR; PÉREZ-LACHAUD, 2001). Este parasitoide já foi relatado no Brasil, de acordo com Souza et al. (2006).

As formigas predadoras (Hymenoptera: Formicidae) também funcionam como importantes agentes de controle biológico em vários agroecossistemas (PHILPOTT; ARMBRECHT, 2006). Elas podem preda as brocas-do-café no momento em que essas estão expostas, à procura de novos frutos para infestar ou as formigas mais pequenas podem entrar nos frutos através do buraco que a broca-do-café fez e preda os adultos e as larvas, dentro das galerias (PERFECTO; VANDERMEER, 2006). Varón et al. (2004), por exemplo, reportaram alta predação de brocas-do-café em laboratório pelas espécies *Solenopsis geminata* (F.), *Pheidole radoszkowskii* Mayr e *Crematogaster torosa* Mayr. No primeiro trabalho de predação realizado em campo, seis de oito espécies de formigas reduziram significativamente o número de frutos brocados, em relação ao controle (ramos de café com frutos + brocas sem formigas vs. ramos de café com frutos + brocas com formigas) sendo elas: *Azteca instabilis* que teve 88 % menos brocas-do-café nos frutos, *Pheidole synanthropica* que teve 200 % menos frutos brocados, *Pseudomyrmex ejectus* com 66 %, *Pseudomyrmex simplex* com 43 %, *Tapinoma* sp. com 210 % menos brocas-do-café em frutos e *Wasmannia auropunctata* que teve 86 % menos frutos infestados do que os ramos sem formigas (GONTHIER et al., 2013). Em outro trabalho, a presença de *Azteca sericeasur* em ramos de café reduziu significativamente a taxa de infestação de brocas-do-café nos frutos, mesmo com alta densidade de *H. hampei* (MORRIS; VANDERMEER; PERFECTO, 2015). No Brasil já foi relatado a presença de *Crematogaster curvispinosus*, ocasionalmente se alimentando das fases imaturas de *H. hampei* (FONSECA, ARAUJO, 1939 apud. BENASSI (1995); BENASSI, 1995).

No entanto, é importante considerar que a utilização de formigas para predação de *H. hampei* em um programa de controle biológico pode ser difícil, além de perigoso, pois devido às características generalistas desse grupo, elas podem atacar não só as plantas de café como outros inimigos naturais.

2.9 Ecologia química de Scolytinae

Besouros Scolytinae têm sido acidentalmente introduzidos na Europa, América do Norte e Austrália. Aproximadamente 3700 das 7500 espécies conhecidas de gorgulhos (Curculionidae) na subfamília Scolytinae atacam árvores florestais (GITAU et al., 2013).

Estes coleópteros possuem um sistema de comunicação muito complexo mediado por semioquímicos, dos quais se destacam os feromônios de agregação. Há muitos anos estes feromônios têm sido estudados em escolitíneos de importância florestal onde exercem um papel importante na ecologia química destes insetos (BYERS; LANNE; LÖFQVIST, 1989).

Nos escolitíneos, os feromônios de agregação têm sido bem documentados, principalmente em relação à supressão da resistência da planta hospedeira (BYERS; LANNE; LÖFQVIST, 1989). Neste caso, o processo de colonização se inicia a partir de um besouro pioneiro de um dos sexos, dependendo da espécie, o qual é guiado na floresta por voláteis de folhas verdes ('GLVs') emitidos por uma árvore hospedeira. Ao alcançá-la, o inseto inicia a construção de uma galeria no caule ao mesmo tempo em que inicia a produção do feromônio de agregação para atração de coespecíficos de ambos os sexos. O ataque em massa do hospedeiro pelos besouros, juntamente com o fungo inoculados por eles, superam as defesas da planta a qual acaba morrendo (WOOD, 1982, PAINE; RAFFA; HARRINGTON, 1997). Contudo, deve ser salientado que a densidade de ataque é, em algum momento, regulada pela produção de outros semioquímicos pelos insetos, que agiram como 'feromônios de antiagregação', causando a colonização de árvores adjacentes (WOOD, 1982, BYERS, 1989).

Hospedeiros suscetíveis para estes besouros estão distribuídos desigualmente no tempo e espaço ao longo das florestas (ATKINS, 1966). Com isso, os besouros têm que detectar e localizar o hospedeiro certo e mais suscetível dentro do habitat florestal (RAFFA; BERRYMAN, 1987). Nesse processo, observa-se que a participação da planta hospedeira é indispensável, devido à produção de voláteis de folha verde que auxiliam na sua localização, além de fornecer compostos químicos precursores aos insetos, por meio dos quais eles sintetizam seus semioquímicos (BYERS; LANNE; LÖFQVIST, 1989).

Em angiospermas, as plantas liberam relativamente grandes quantidades de voláteis de folha verde, enquanto que em coníferas, os voláteis dominantes são predominantemente monoterpenos (ZHANG et al., 1999). No entanto, os compostos alcoólicos parecem ser a pista mais consistente para a localização da maioria dos besouros Scolytinae (MOECK, 1981) e esses compostos frequentemente agem sinergicamente com outros grupos de compostos liberados pelas plantas, como monoterpenos (LIU; MCLEAN, 1989).

Liu; Dai (2006), por exemplo, realizaram um experimento em que demonstraram que a utilização da mistura (5%/95%) (-)- α -pinene obteve atratividade significativa para a maior quantidade de espécies diferentes de besouros da casca, incluindo algumas espécies prejudiciais, tais como *Dendroctonus* sp., *Scolytu* sp. e *Ips* sp. (LIU; DAI, 2006). Em outro trabalho, onde foi testado (-)- α -pineno, etanol sozinho e a mistura de ambos, observou-se que o tratamento (-)- α -pineno e etanol trabalharam sinergicamente em relação a taxa de atratividade de espécies de besouro da casca (SCHROEDER; LINDELOW, 1989).

Alguns compostos encontrados nos voláteis de folha verde podem aumentar ou inibir a atratividade dos escolitíneos ao seus feromônios. Por exemplo, em *Ips typographus* (L.) foi observado que o composto (-)- α -pinene, que faz parte dos voláteis do hospedeiro *Picea abies* (L.), aumenta a resposta dos besouros ao seu feromônio de agregação (ERBILGIN, et al., 2007). Entretanto, essa resposta pode ser inibida na presença dos compostos voláteis de plantas não hospedeiras, (Z)-3-hexeno-1-ol e 1-hexanol (BYERS, et al., 1998).

Os compostos monoterpenos α -pineno, mirceno e metil salicilato são compostos comuns encontrados em diversas espécies de plantas utilizadas por escolitídeos (MATHIEU; MALOSSE; FRÉROT, 1998). Erbilgin; Raffa (2000) observaram que a utilização do composto (-)- α -pineno, atraiu a espécie *Ips grandicollis* e aumentou a atração de *Ips grandicollis* para seu feromônio, ipsenol. Nenhum monoterpeno inibiu a resposta de *I. grandicollis* ao seu feromônio. O besouro *Dendroctonus valens*, mostrou baixa atração para (+)- α -pineno e, em alguns casos, a (-)- α -pineno. A ausência de uma forte atração de (+)- α -pineno e atração parcial de (-)- α -pineno sugerem que os efeitos de diferentes estereoisômeros do α -pineno em *D. valens* variam ao longo da sua área geográfica.

O composto mirceno é um volátil que também possui um efeito sinérgico quando misturado com outros voláteis atrativos para besouros da casca. Ele é um monoterpeno que é liberado pela planta em baixa concentração, porém quando o besouro se alimenta, aumentam a taxa de liberação. Byers, (1981) realizou um trabalho onde ele utilizou diferentes concentrações de vapor de mirceno (GLC purificado > 99.8%) para determinar a conversão do composto mirceno no feromônio de agregação, (+) (-) ipsdienol.

Alguns besouros da casca (Scolytinae) utilizam o metil salicilato para identificar plantas não hospedeiras e assim evitá-las (HUBER et al., 2000; BYERS; ZHANG; BIRGERSSON, 2004, SHEPHERD et al., 2008; SHEPHERD; SULLIVAN, 2013). Este também já foi reportado como composto floral liberado por plantas de morangos e que obteve resposta comportamental ao curculionídeo, *Anthonomus musculus* (SZENDREI et al., 2009). Em contraste, para a espécie *Dendroctonus frontalis*, uma mistura de compostos contendo

benzaldeído, álcool benzílico, guaiacol, heptanal, metil salicilato, nonanal e salicilaldeído foi o menos atrativos para fêmeas da espécie (SHEPHERD; SULLIVAN, 2013).

A complexidade do sistema de ecologia química dos Scolytinae dificulta o entendimento de como a broca-do-café localiza a planta de café. No entanto, a cultura do café já foi tão manipulada, que para compreender esse sistema, é necessário compreender o cenário no qual o café se originou.

2.10 Compostos da flor do café

Dos compostos utilizados neste trabalho e denominado de tratamento CFloC, o metil salicilato, nerol e geraniol já haviam sido identificados como voláteis da flor do café (EMURA et al., 1997; SILVA, 2014, dados não publicados), e foram atrativos eletrofisiologicamente às fêmeas de *H. hampei* (SILVA, 2014, dados não publicados). O odor floral de *C. arabica* é uma mistura complexa de compostos voláteis, de diferentes volatilidades, níveis de concentrações e grupos funcionais (STASHENKO et al., 2013). As flores do café contêm componentes que são muito comuns a uma grande diversidade de voláteis florais, por exemplo, nerol, geraniol, e seus ésteres neral e geranial, linalol, citronello, limoneno, *trans*-ocimene, mirceno, 6-methyl-5-hepten-2-one, benzaldeído, metil salicilato, álcool benzílico e índole (EMURA et al., 1997).

O composto metil salicilato já foi comprovado como atrativo para fêmeas e dois parasitoides de *H. hampei* (CRUZ-LOPEZ; DÍAZ-DÍAZ; ROJAS, 2016), assim como já foi relatado como ativos a outros Scolytinae. Esse composto é geralmente produzido pelo fruto do café após danos mecânicos e/ou por frutos infestados (CRUZ-LOPEZ; DÍAZ-DÍAZ; ROJAS, 2016), e talvez por esse motivo a broca-do-café seja mais atraída por frutos infestados do que por frutos não infestados (MENDOZA, 1991).

Geraniol é um dos compostos mais presentes em óleos essenciais de plantas (EMURA et al, 1997), além de ser um mensageiro dominante na comunicação química de abelhas (SHEARER; BOCH, 1966). Este composto é o único volátil em *Pinus ponderosa*, a qual é hospedeira do besouro da casca *D. ponderosa* (FETTIG; McKELYEY; DABNEY, 2012; SHEPHERD, et al. 2008). O composto geraniol, juntamente com o metil salicilato são ativos a outros Scolytinae. Por exemplo, para *D. brevicornis*, quatro compostos (camphene, β -cubebene, geraniol, e metil salicilato) provocam resposta da antena das fêmeas, enquanto que os machos, não demonstram nenhum comportamento (FETTIG; McKELYEY; DABNEY, 2012; SHEPHERD et al, 2008).

O composto citral nunca havia sido reportado anteriormente como composto floral do café, e tampouco como atraente as fêmeas de *H. hampei*. Este também, juntamente com nerol e geraniol está mais relacionado a atração de cerambicídeos, como por exemplo, *Megacyllene caryae* (Gahan) (LACEY et al., 2008).

Dessa forma, os compostos nerol e citral, por serem compostos menos comuns à ecologia química da broca-do-café, talvez possam ser utilizados para distinguir entre a planta do café e as plantas não-hospedeiras, já que esses compostos aparecem em menor proporção dentro da família Scolytinae.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Compostos sintéticos

Os compostos voláteis sintéticos utilizados nos bioensaios de campo visando à atração da broca-do-café estão listados na Tabela 1. Estes compostos foram selecionados com base na literatura referente a *H. hampei* e as outras espécies da subfamília Scolytinae.

Tabela 1 - Compostos sintéticos utilizados nos experimentos

Composto	Pureza (%)	Fonte
(-)- α -pineno	98	Aldrich
(-)- β -pineno	Padrão analítico	Fluka
(+)- α -pineno	98	Aldrich
(R)-(+)-limoneno	Padrão analítico	Fluka
2-feniletanol	≥ 99	Aldrich
2-heptanol	98	Aldrich
2-heptanona	99	Sigma-Aldrich
Benzaldeído	$\geq 99,5$	Aldrich
Citral	95	Aldrich
Etanol	99,8	Sigma-Aldrich
Etilbenzeno	Padrão analítico	Fluka
Geraniol	98	Aldrich
Metanol	99,8	Sigma-Aldrich
Metil salicilato	≥ 98	Aldrich
Mirceno	Padrão analítico	Fluka
Mirtenol	≥ 95	Aldrich
Nerol	Padrão analítico	Fluka

3.2 Armadilha

A armadilha utilizada para a captura de adultos de *H. hampei* foi uma adaptação do tipo IAPAR (VILLACORTA et al., 2001), confeccionada com garrafa ‘PET’ de 2 litros (Figura 1). Esta armadilha possuiu uma abertura de 13 cm de largura \times 18 cm de comprimento contendo uma fita vermelha de 10 cm de largura colada na parte inferior da abertura. Esta fita vermelha foi utilizada, pois alguns estudos demonstraram que a cor vermelha pode funcionar como um atraente visual para a broca a curtas distâncias, aumentando as taxas de captura (GIORDANENGO; BRUN; FRÉROT, 1993; MATHIEU et al., 1997). Os recipientes

difusores, responsáveis pela liberação dos compostos voláteis foram fixados no terço superior e dentro da armadilha com pedaços de arame galvanizado de 0,5 mm.

Os difusores com atraentes alcoólicos (etanol e metanol) consistiram de frascos de vidro de 14 mL do tipo ‘conta gotas’ de cor âmbar. Na ‘pera’ do conta gotas foi feito um furo, por onde passou o tudo de vidro (1 cm de Ø) do conta gotas (Figura 2A). A pera mais o tubo de vidro foram inseridos dentro do frasco, de forma que ~1 cm da extremidade do tubo que continha o orifício de menor diâmetro (1 mm) permaneceu exposta para a liberação do atraente. A taxa de evaporação dos atraentes nos difusores foi determinada por gravimetria (dados não apresentados).

Os demais atraentes foram colocados dentro de microtubos do tipo ‘Eppendorf’ de 1,5 mL de cor âmbar. Na tampa do microtubo foi feito um furo de 1,5 mm de diâmetro para a liberação dos voláteis (Figura 2B).

As armadilhas foram fixadas sobre tubos de PVC (2,5 cm de diâmetro × 1,5 m de altura) apoiados sobre uma haste de aço (1 m de altura × 3/8” Ø) cravada a 0,5 m no solo na margem da linha dos cafeeiros. Uma solução de água + detergente (2%) + sal (10%) foi colocado na parte inferior da armadilha para retenção e preservação dos insetos capturados.

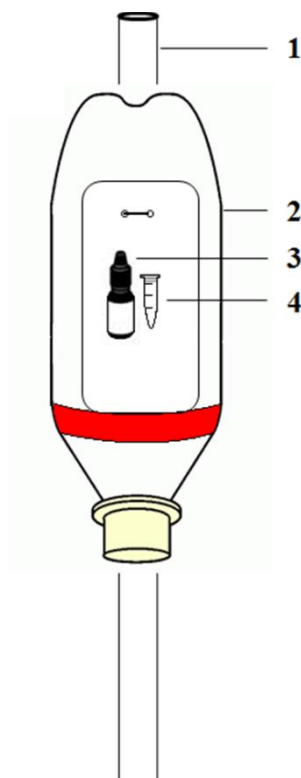


Figura 1 – Ilustração da armadilha adaptada do modelo IAPAR utilizada na captura de *Hypothenemus hampei*: 1- Tubo de PVC para sustentação da armadilha; 2 – Garrafa PET; 3 – Frasco difusor de etanol + metanol; 4 - Microtubo do tipo ‘Eppendorf’ para difusão de voláteis sintéticos de plantas

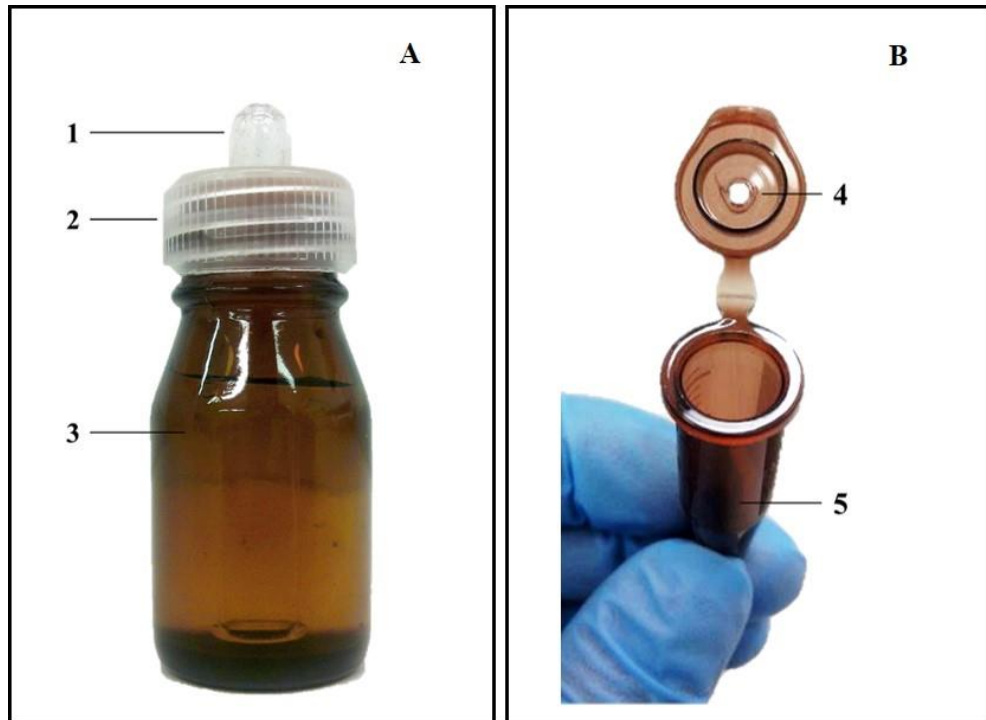


Figura 2 – Frasco de vidro do tipo ‘conta gotas’ para liberação de etanol e metanol (A), e microtubo do tipo ‘Eppendorf’ para liberação dos demais voláteis de plantas (B). 1: tubo de vidro por onde voláteis são liberados; 2: tampa do frasco; 3: frasco de vidro; 4: tampa com furo para difusão dos atraentes; e 5: microtubo ‘Eppendorf’

3.3 Bioensaios de campo

Os bioensaios foram realizados em um cafezal de 1,5 ha do Instituto Federal do Sul de Minas, em Inconfidentes, MG (22°31’04,14” S; 46°33’58,53” O). Os cafeeiros, *Coffea arabica* L. cv. Catuaí-Vermelho possuíam cinco anos de idade e altura de ~1,80 m. Eles foram plantados com um espaçamento de 1 m (linha) × 1,5 m (entre linhas) em terreno com aclive de ~45° (Figura 3).



Figura 3 – Vista aérea da área experimental (A) e vista panorâmica do cafezal (B) do Instituto Federal do Sul de Minas, em Inconfidentes-MG

Os experimentos foram realizados em duas etapas entre setembro de 2014 e junho de 2015, e descritos a seguir.

Experimento I

Este experimento foi realizado entre 12 de setembro a 26 de outubro de 2014. Foram testados os compostos voláteis sintéticos de flores de café, *C. arabica*, referidos como eletrofisiologicamente ativos a fêmeas colonizadoras de *H. hampei* (SILVA, 2014). Os tratamentos foram: (i) compostos de flores de café (CFloC), ou seja, mistura 1:1:1:1 de metil salicilato, citral, geraniol e nerol (50 μ L de cada composto); (ii) CFloC + E:M, ou seja, 10 mL da mistura 1:1 de etanol e metanol; (iii) E:M (controle); e (iv) Branco (armadilha com difusores vazios).

Os tratamentos foram distribuídos em blocos aleatorizados, com quatro blocos para cada tratamento, de acordo com o croqui da Figura 4.

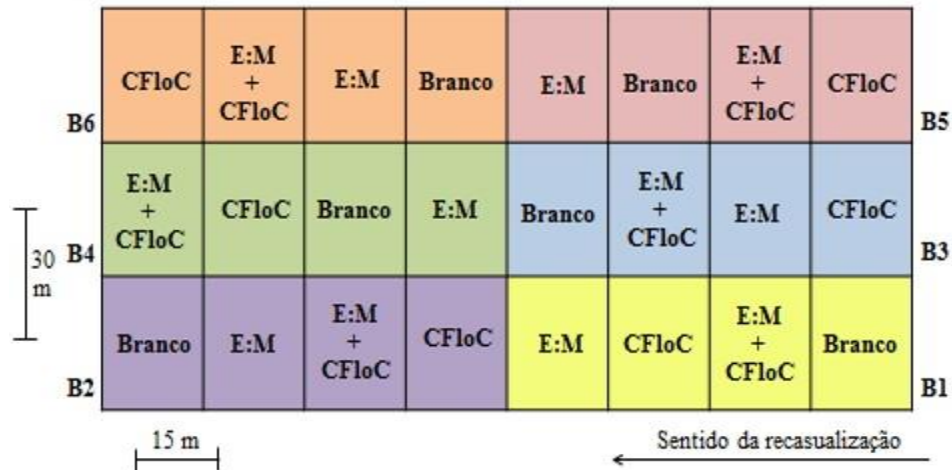


Figura 4 - Croqui do Experimento I, visando a atração da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* para diferentes compostos voláteis. CFloC: compostos de flores de café; E:M: mistura 1:1 de etanol e metanol; e Branco: difusores sem atraente. Os blocos estão representados pela letra “B” e enumerados de 1 a 6 (cores distintas entre si).

A avaliação foi realizada semanalmente, oportunidade na qual as armadilhas foram alternadas uma posição dentro do bloco para controlar algum efeito de posição.

No momento da instalação, a condição fenológica das plantas era vegetativa, com poucos brotos, passando pelo estágio de florescimento ao longo do experimento.

Experimento II

Este experimento foi realizado entre 07 de maio a 17 de junho de 2015. Nele foram testados os compostos sintéticos de frutos de café, *C. arabica*, referidos previamente na literatura como sendo eletrofisiologicamente ativos e/ou atrativos à broca-do-café. Além disso, foram testados alguns compostos sintéticos contendo voláteis de plantas hospedeiras de outras espécies de Scolytinae. Os tratamentos utilizados foram: (i) compostos de frutos de café (CFruC), ou seja, mistura 1:1:1:1:1 de 2-heptanol, 2-heptanona, benzaldeído, etilbenzeno e (*R*)-(+)-limoneno (50 µL de cada composto); (ii) compostos de Scolytinae (CS), ou seja, mistura 1:1:1:1:1:1 de (-)- α -pineno, (+)- α -pineno, (-)- β -pineno, 2-feniletanol, mirceno, mirtenol (50 µL de cada composto); (iii) CFruC + E:M, ou seja, 10 mL da mistura 1:1 de etanol e metanol; (iv) CS + E:M; (v) E:M (controle); e (vi) branco (armadilhas com frascos difusores vazios).

O delineamento experimental foi realizado em blocos aleatorizados, com seis blocos para cada tratamento, sendo que as armadilhas foram distribuídas nos blocos de acordo com o croqui da Figura 5.

Os insetos capturados foram coletados das armadilhas a cada duas semanas. No momento da instalação do experimento, os cafeeiros estavam na fase de frutificação, com frutos em diferentes estádios de maturação.

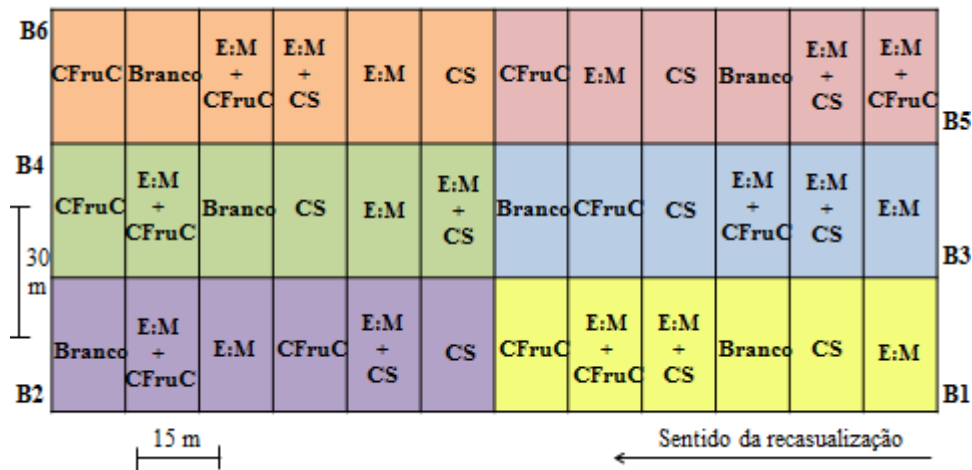


Figura 5 - Croqui do Experimento II, visando a atração da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* para diferentes compostos voláteis. CFruC: compostos de frutos de café; CS: compostos de Scolytinae; E:M: mistura 1:1 de etanol e metanol; e Branco: armadilhas com difusores sem atraente. Os blocos estão representados pela letra 'B' e enumerados de 1 a 6 (cores distintas entre si)

3.4 Avaliação dos insetos capturados

No momento da avaliação das armadilhas dos Experimentos I e II, os insetos capturados foram coletados com auxílio de um funil forrado com um papel filtro. A água do reservatório foi drenada pela parte inferior da armadilha e os insetos retidos no papel filtro (Figura 7). Os papéis filtros, correspondentes aos diferentes tratamentos foram levados ao Laboratório de Ecologia Química e Comportamento de Insetos, da ESALQ-USP, em Piracicaba-SP, e mantidos em freezer (- 4 °C) até a classificação e quantificação dos insetos capturados.

Inicialmente, as fêmeas adultas da broca-do-café, *H. hampei*, capturadas nas armadilhas dos diferentes tratamentos foram separadas das demais espécies de insetos presentes nas amostras, sob um microscópio estereoscópico binocular. Os insetos foram separados e quantificados nas seguintes categorias: (i) *H. hampei*; (ii) outros Scolytinae; e (iii) demais ordens (Figura 8A). Os escolitíneos, incluindo *H. hampei*, foram colocados em frascos de acrílico de 10 ml com solução de álcool 70% (Figura 8B). Nos experimentos I e II, as demais espécies de insetos foram quantificadas e armazenadas em um frasco de plástico com

solução de álcool 70% para conservação e posterior identificação em nível de Família ou Gênero.

No Experimento I, os microhimenópteros capturados foram enviados ao Dr. Valmir Antonio Costa, do Instituto Biológico (IB), Campinas-SP, para serem classificados a nível de Subfamília. Já, as formigas foram identificadas pelo MSc. Fernando Ribeiro Sujimoto a nível de Gênero (FERNANDEZ; SHARKEY, 2006) *Voucher specimens* foram depositados no museu do Departamento de Entomologia e Acarologia, da ESALQ/USP, em Piracicaba-SP.



Figura 7 - Coleta da broca-do-café, *Hypothenemus hampei*, capturados nas armadilhas contendo voláteis

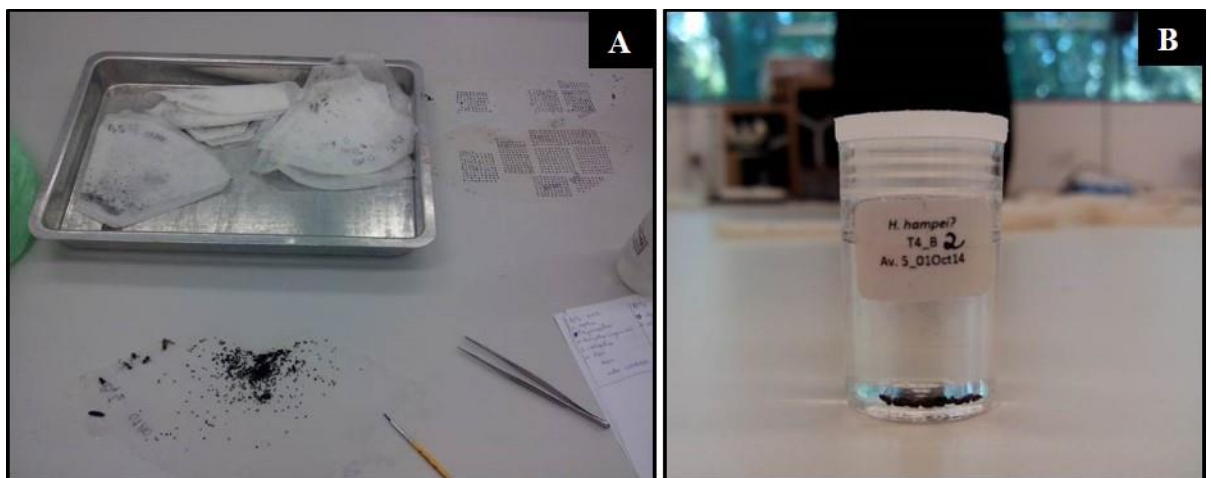


Figura 8 - Separação dos insetos coletados nas armadilhas contendo voláteis para captura da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (A), e os mesmos identificados e colocados em frascos de acrílico com álcool 70% (B)

3.5 Análise estatística

As diferenças entre os tratamentos quanto a captura de adultos de *H. hampei* e de outras espécies de Scolytinae foram testadas usando o teste não paramétrico de Friedman (PROC FREQ opção CMH, SAS Institute, 2002), pois os dados violaram os critérios de normalidade e/ou homocedasticidade (SOKAL; ROHLF, 1995). Diferenças entre pares de médias foram testadas com o teste de Ryan, Einot, Gabriel, Welch (REGWQ), com controle do erro experimental do tipo I (PROC GLM, SAS Institute, 2002). Dados com blocos contendo zero de captura foram excluídas das análises.

4 RESULTADOS

4.1 Experimento I

Houve diferença entre os tratamentos envolvendo as capturas de adultos da broca-do-café, *H. hampei* (teste de Friedman, $Q_{3,192}=128,7177$; $P<0,0001$), em comparação com outros escolitíneos (teste de Friedman, $Q_{3,192}=136,9915$; $P<0,0001$). Desse modo, levando-se em conta somente as capturas de *H. hampei*, o tratamento E:M + CFloC foi superior aos demais, atraindo em média $242,52 \pm 59,81$ fêmeas da broca-do-café por armadilha (Figura 9).

Por outro lado, considerando-se somente as capturas de besouros de outras espécies de escolitíneos, o tratamento E:M + CFloC não diferiu de E:M, e ambos foram superiores aos demais tratamentos (Figura 10).

Neste Experimento I foram coletados 17.241 indivíduos da broca-do-café, *H. hampei* (65,05%), 4.972 indivíduos de outras espécies de escolitíneos (18,77%), e outros 4.291 indivíduos de diversas ordens (16,18%). Estes últimos estão representados na Tabela 2.

Uma análise mais profunda acerca dos himenópteros capturados durante o Experimento I revelou a presença de 22 microhimenópteros, distribuídos em 14 subfamílias (Tabela 3). Os dados revelaram a presença de indivíduos de três famílias de Hymenoptera os quais possuem representantes conhecidos como agentes de controle biológico da broca-do-café, sendo elas Bethyidae, Braconidae e Eulophidae. Além disso, os dados demonstram ainda que as armadilhas capturaram 11 gêneros de formigas distribuídos em cinco subfamílias de Formicidae (Tabelas 4). No total, o gênero *Paratrechina* representou 69,1% das 1.017 formigas capturadas.

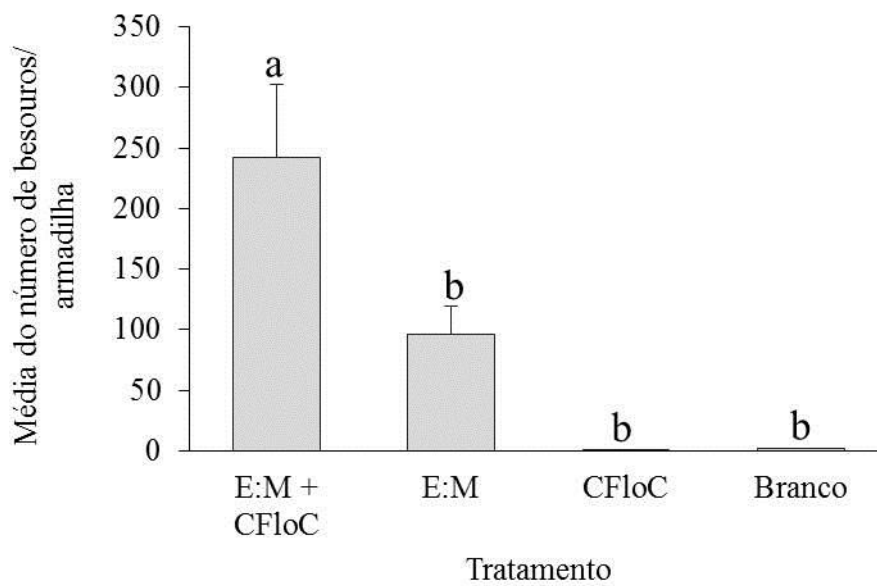


Figura 9 - Adultos (Média \pm erro padrão) de *Hypothenemus hampei* capturados com armadilhas iscadas com diferentes semioquímicos. CFloC = compostos de flores de café (*Coffea arabica*), ou seja, mistura 1:1:1:1 de metil salicilato + citral + geraniol + nerol; E:M = mistura 1:1 de etanol e metanol; Branco = armadilha com frasco difusor vazio. Barras seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (teste de REGWQ, $P < 5\%$)

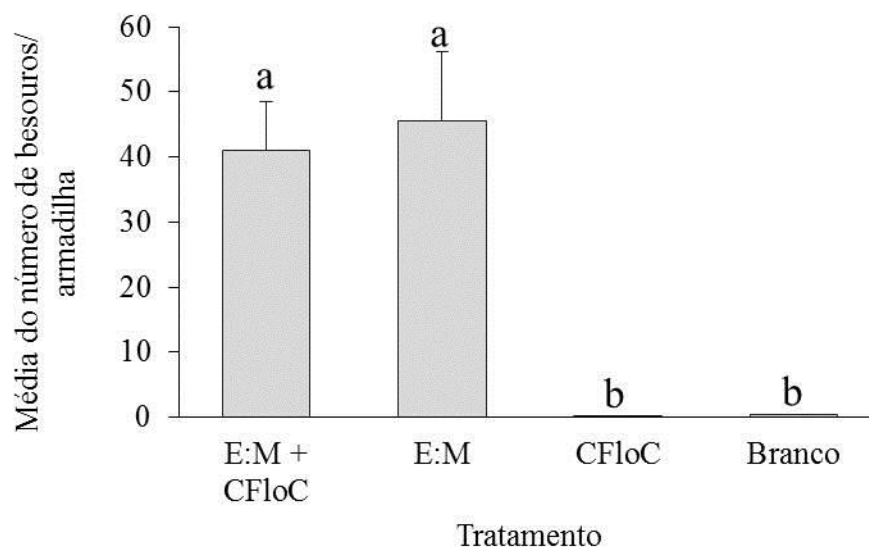


Figura 10 - Adultos (Média \pm erro padrão) de outras espécies de Scolytinae capturados com armadilhas iscadas com diferentes semioquímicos. CFloC = compostos de flores de café (*Coffea arabica*), ou seja, mistura 1:1:1:1 de metil salicilato + citral + geraniol + nerol; E:M = mistura 1:1 de etanol e metanol; Branco = armadilha com frasco difusor vazio. Barras seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (teste de REGWQ, $P < 5\%$)

Tabela 2 - Número de outras ordens de insetos capturadas com armadilhas iscadas com diferentes semioquímicos. CFloC = compostos de flores de café (*Coffea arabica*), ou seja, mistura 1:1:1:1 de metil salicilato + citral + geraniol + nerol; E:M = mistura 1:1 de etanol e metanol; Branco = armadilha com frasco difusor vazio. Números em parênteses representam a porcentagem.

Tratamento	Coleoptera*	Hymenoptera	Hemiptera	Lepidoptera	Diptera	Neuroptera	Outros	Total
E:M + CFloC	266 (6,2)	469 (11)	63 (1,5)	27 (0,6)	223 (5,3)	15 (0,3)	122 (2,9)	1185 (27,8)
E:M	406 (9,6)	391 (9,3)	61 (1,4)	21 (0,5)	204 (4,8)	14 (0,3)	109 (2,5)	1206 (28,4)
CFloC	188 (4,3)	466 (11)	45 (1,0)	36 (0,8)	171 (4,0)	15 (0,3)	74 (1,7)	995 (23,1)
Branco	155 (3,5)	305 (7,2)	60 (1,4)	55 (1,3)	218 (5,1)	25 (0,5)	87 (1,9)	905 (20,9)
Total	1015 (23,6)	1631 (38,5)	229 (5,3)	139 (3,2)	816 (19,2)	69 (1,4)	392 (9)	4191 (100)

*Não incluiu *H. hampei* e outros escolitíneos

Tabela 3 – Número total de microhimenópteros capturados com armadilhas contendo diferentes semioquímicos durante o Experimento I. CFloC = compostos de flores de café (*Coffea arabica*), ou seja, mistura de metil salicilato + citral + geraniol + nerol; E:M = mistura 1:1 de etanol e metanol; Branco = armadilha com frasco difusor vazio

Tratamento	Chalcidoidea		Ichneumonoidea				Chrysoidea				Cynipoidea	Diaprioidea	Evanoidea	Platyastroidea	Total
	Eulophidae	Ceraphronidae	Braconidae		Ichneumonidae		Bethylidae		Figitidae	Diapriidae	Evaniidae	Scelionidae			
	Entedoninae	Desconhecido	Doryctinae	Cheloninae	Microgastrinae	X	Bethylinae	Scleroderminae	Epyrinae	X	Eucoilinae	X	X	Telenominae	
E:M + CFloC	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
E:M	0	0	1	2	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	8
CFloC	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	4
Branco	0	0	0	2	0	2	0	0	1	0	1	0	1	1	8
Total	1	1	1	5	1	3	1	1	1	1	3	1	1	1	22

Tabela 4 - Número total de formigas (Hymenoptera: Formicidae) capturadas com armadilhas contendo diferentes semioquímicos durante o Experimento I. CFloC = compostos de flores de café (*Coffea arabica*), ou seja, mistura de metil salicilato + citral + geraniol + nerol; E:M = mistura 1:1 de etanol e metanol; Branco = armadilha com frasco difusor vazio

Tratamento	Formicinae		Myrmicinae			Pseudomyrmicinae	Dolichoderinae	Ponerinae	Total
	<i>Paratrechina</i>	<i>Camponotus</i>	<i>Cephalotes</i>	<i>Solenopsis</i>	<i>Pheidole</i>	<i>Pseudomyrmex</i>	<i>Linepithema</i>	<i>Pachycondyla</i>	
E:M + CFloC	153	33	2	0	5	4	57	0	254
E:M	266	41	0	0	0	3	1	1	312
CFloC	183	103	0	2	1	4	1	1	295
Branco	101	34	0	1	0	8	11	1	156
Total	703	211	2	3	6	19	70	3	1017

4.2 Experimento II

Do mesmo modo que o experimento anterior, no Experimento II houve diferença entre os tratamentos envolvendo as capturas de adultos da broca-do-café, *H. hampei* (teste de Friedman, $Q_{5,54}=20,5954$; $P<0,0010$), em comparação com outros escolitíneos (teste de Friedman, $Q_{5,144}=88,5550$; $P<0,0001$).

Notavelmente, foram capturados somente 28 indivíduos da broca-do-café em todos os tratamentos, número este muito inferior ao observado no Experimento I. Apesar disso, foi verificado que, exceto em relação ao tratamento CFruC + E:M, as armadilhas iscadas com E:M atraíram mais adultos de *H. hampei* ($1,6 \pm 0,4$ indivíduos/armadilha) em relação aos demais tratamentos (Figura 11).

Por outro lado, o tratamento E:M atraiu uma média de $9,1 \pm 2,8$ indivíduos de outras espécies de Scolytinae por armadilha, superando os demais tratamentos (Figura 12).

Para este experimento, além dos 28 indivíduos da broca-do-café (1,71%), foram coletados 659 indivíduos de outras espécies de escolitíneos (40,45%), e outros 1629 insetos de outras ordens. Estes últimos superiores em número $\sim 3,5$ vezes ao de *H. hampei* e outros escolitíneos, e representados na Tabela 5.

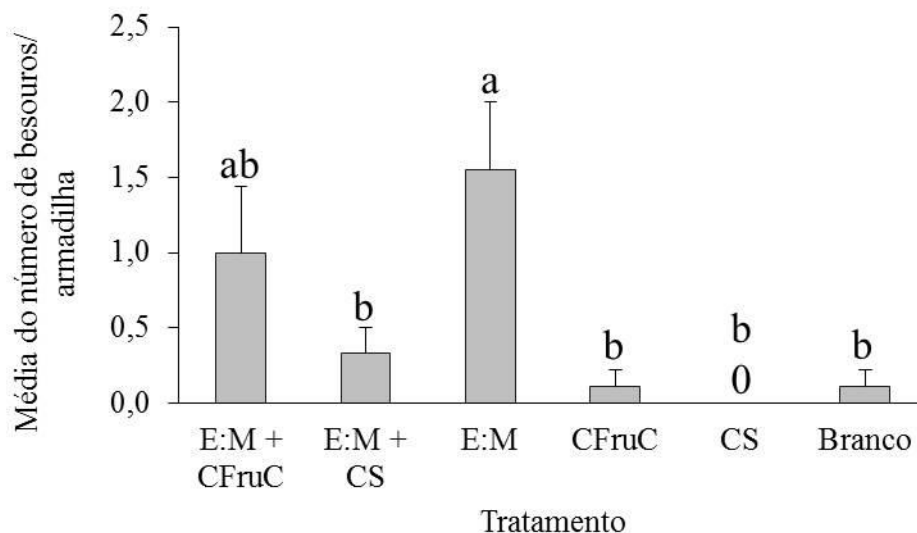


Figura 11 - Número médio (\pm erro padrão) de adultos de *Hypothenemus hampei* capturados com armadilhas iscadas com diferentes semioquímicos. CFruC = compostos de frutos de café (*Coffea arabica*), ou seja, mistura 1:1:1:1:1 de 2-heptanol + 2-heptanona + benzaldeído + etilbenzeno + (*R*)-(+)-limoneno; CS = compostos de Scolytinae, ou seja, mistura 1:1:1:1:1 de (-)- α -pineno + (+)- α -pineno + (-)- β -pineno + 2-feniletanol + mircenol + mirtenol; E:M = mistura 1:1 de etanol e metanol; Branco = armadilha com frasco difusor vazio. Barras seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (teste de REGWQ, $P < 5\%$)

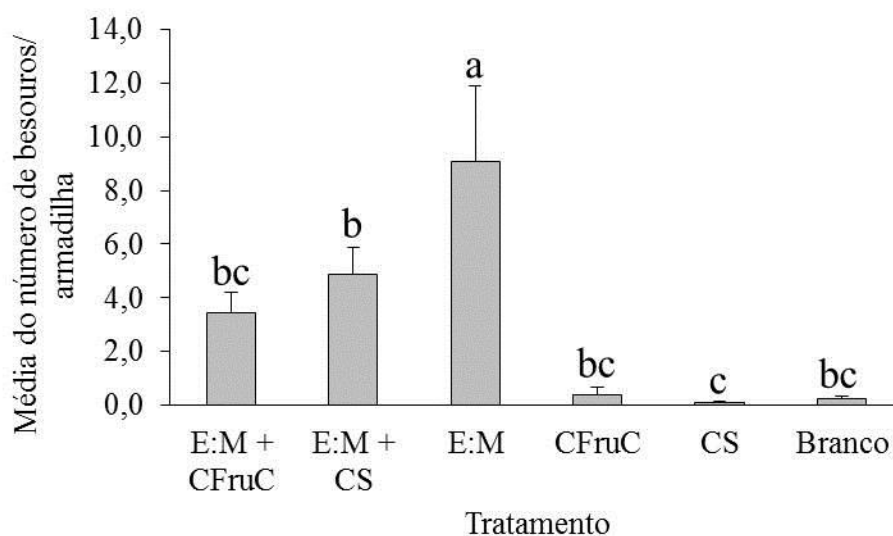


Figura 12 - Número médio (\pm erro padrão) de adultos de outras espécies de Scolytinae capturados com armadilhas iscadas com diferentes semioquímicos. CFruC = compostos de frutos de café (*Coffea arabica*), ou seja, mistura 1:1:1:1 de 2-heptanol + 2-heptanona + benzaldeído + etilbenzeno + (*R*)-(+)-limoneno; CS = compostos de Scolytinae, ou seja, mistura 1:1:1:1:1 de (-)- α -pineno + (+)- α -pineno + (-)- β -pineno + 2-feniletanol + mircenol + mirtenol; E:M = mistura 1:1 de etanol e metanol; Branco = armadilha com frasco difusor vazio. Barras seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si (teste de REGWQ, $P < 5\%$)

Tabela 5 - Número de outras ordens de insetos que foram capturadas com armadilhas iscadas com diferentes semioquímicos. CFruC = compostos de frutos de café (*Coffea arabica*), ou seja, mistura 1:1:1:1 de 2-heptanol + 2-heptanona + benzaldeído + etilbenzeno + (*R*)-(+)-limoneno; CS = compostos de Scolytinae, ou seja, mistura 1:1:1:1:1 de (-)- α -pineno + (+)- α -pineno + (-)- β -pineno + 2-feniletanol + mircenol + mirtenol; E:M = mistura 1:1 de etanol e metanol; Branco = armadilha com frasco difusor vazio. Números em parênteses representam a porcentagem.

Tratamento	Coleoptera*	Hymenoptera	Hemiptera	Lepidoptera	Diptera	Neuroptera	Outros	Total
E:M +CFruC	119 (7,3)	47 (3,0)	25 (1,5)	9 (0,5)	78 (4,8)	5 (0,3)	12 (0,7)	295 (18,1)
E:M +CS	80 (4,9)	35 (2,1)	21 (1,3)	17 (1,1)	72 (4,4)	6 (0,4)	7 (0,4)	238 (14,6)
E:M	106 (6,6)	69 (4,2)	31 (1,9)	8 (0,5)	64 (3,9)	2 (0,1)	8 (0,5)	288 (17,7)
CFruC	70 (4,3)	58 (3,6)	25 (1,5)	19 (1,2)	92 (5,6)	1 (0,1)	5 (0,3)	270 (16,6)
CS	35 (2,1)	80 (4,9)	40 (2,4)	9 (0,5)	112 (7,0)	1 (0,1)	3 (0,2)	280 (17,2)
Branco	59 (3,6)	67 (4,1)	26 (1,6)	6 (0,4)	90 (5,5)	2 (0,1)	8 (0,5)	258 (15,8)
Total	469 (28,8)	356 (21,9)	168 (10,2)	68 (4,2)	508 (31,2)	17 (1,1)	43 (2,6)	1629 (100)

*Não incluiu *H. hampei* e outros escolitíneos

5 DISCUSSÃO

O presente trabalho traz novas informações sobre a ecologia química de *H. hampei*, a partir de bioensaios de campo com armadilhas iscadas com diferentes semioquímicos. Com exceção de etanol, metanol e benzaldeído, todos os outros compostos utilizados neste trabalho nunca haviam sido testados no campo para a broca-do-café.

O resultado mais surpreendente deste trabalho foi que a combinação dos compostos de flores de café, *C. arábica* (CFloC – metil salicilato, citral, geraniol e nerol) com etanol:metanol (E:M, 1:1) aumentou significativamente a taxa de captura de *H. hampei*, comparado ao uso destes compostos separadamente. Por outro lado, os compostos de frutos de café, *C. arabica* (CFruC – 2-heptanol, 2-heptanona, benzaldeído, etilbenzeno e (*R*)-(+)-limoneno) e, principalmente, compostos de Scolytinae (CS – (-)- α -pineno, (+)- α -pineno, (-)- β -pineno, 2-feniletanol, mirceno e mirtenol) quando combinados com E:M, podem diminuir a atração dos adultos da broca-do-café.

A utilização de armadilhas contendo etanol e metanol para o monitoramento e/ou coleta massal de indivíduos de *H. hampei* tem sido extensivamente estudada em diversas regiões produtoras de café no mundo (MATHIEU et al., 1999, da SILVA; VENTURA; MORALES, 2006, DUFORT; FRÉROT, 2008, FERNANDES et al., 2011, PEREIRA et al., 2012, FERNANDES et al., 2015, ARISTIZÁBAL; BUSTILLO; ARTHURS, 2015). Estes estudos são muito importantes, uma vez que os métodos de determinação do nível de controle da broca-do-café baseiam-se em amostragem de ramos e frutos de café. Contudo, estes métodos, além de destrutivos, são considerados laboriosos e caros, além de não estarem calcados sobre uma base científica sólida que comprove sua eficácia (FERNANDES et al., 2012). Entretanto, o uso de armadilhas com semioquímicos, ao contrário, são fáceis de se manusear e avaliar, além de oferecerem resultados mais rápidos e com maior precisão (FERNANDES et al. 2012). Fernandes et al. (2012) determinaram o nível de dano econômico para *H. hampei* utilizando armadilhas iscadas com etanol e metanol e chegaram aos valores de 426, 85 e 28 adultos/armadilha nas fases de florescimento, chumbinho e maturação de frutos, respectivamente, utilizando ~8,6 armadilhas/ha. Posteriormente, estabeleceram que os custos desta amostragem seriam em torno de U\$ 303,24/10 ha, considerando um avaliador em ~50 minutos/amostragem.

Como supracitado, os trabalhos realizados com armadilhas para o monitoramento da broca-do-café foram baseados quase que exclusivamente na utilização de etanol e metanol

como atraentes para este besouro. As tentativas visando o uso de semioquímicos mais atrativos do que o etanol e metanol ou, ainda, da adição de algum composto para melhorar a atratividade destes álcoois ainda permanecem pouco exploradas. Apesar da identificação de compostos de frutos de café eletrofisiologicamente ativos a fêmeas colonizadoras de *H. hampei* (MENDESIL et al., 2009, JARAMILLO et al., 2013, ROBLERO; MALO, 2013), testes de campo com algum destes compostos não foram bem-sucedidas, resultando em capturas iguais ou inferiores as obtidas com etanol e metanol (NJIHIA et al., 2014). Neste sentido, os resultados obtidos no presente trabalho, envolvendo os compostos voláteis dos frutos de café, que são conhecidamente EAD-ativos para *H. hampei*, também resultaram em capturas iguais ao branco e, quando utilizado em conjunto com E:M, tão pouco aumentou a eficiência na atração da broca-do-café. De modo semelhante, os CS mostraram um efeito antagonístico com E:M, resultando em capturas bem inferiores as obtidas com apenas E:M. Por outro lado, neste trabalho foi possível demonstrar que a adição de CFloC a E:M aumentou significativamente a captura de adultos da broca-do-café no campo.

Os fatores que influenciaram as baixas capturas de *H. hampei* com CFruC e CS ainda precisam ser esclarecidos em estudos futuros. Contudo, possivelmente com a mistura dos diversos compostos, pode ter ocorrido a inibição entre eles. Por exemplo, o tratamento CS possuía (-)- α -pineno que já foi demonstrado ser repelente a broca-do-café em bioensaios de laboratório (JARAMILLO et al., 2013). Além disso, todos os compostos foram testados nas mesmas proporções, o que poderia resultar em concentrações acima do limiar de atração levando a um efeito antagonístico na captura dos insetos. De fato, tem sido demonstrado que o brocain, composto EAD-ativo para *H. hampei* encontrado em frutos de café, possui efeito atrativo em baixas doses e repelente em altas (NJIHIA et al., 2014). Um outro ponto que deve ser salientado é que os experimentos com CFruC e CS foram realizados em uma época em que houve uma baixa densidade populacional da broca-do-café em trânsito no campo (maio e junho). Portanto, estudos adicionais devem testar a atratividade individual dos diferentes compostos em CFruC e CS para adultos de *H. hampei* e, preferencialmente, durante o período de trânsito da broca.

A luz dos conhecimentos atuais, este trabalho é primeiro a demonstrar claramente a presença de insetos não alvos capturados em armadilhas contendo atraentes para a broca-do-café. Muitos dos insetos não alvos capturados em grandes quantidades pertenciam a outros escolitíneos. Esta informação é importante, pois indica a necessidade de uma correta triagem do material coletado em armadilhas com atraentes, separando-se *H. hampei* de outros escolitíneos que, do contrário, poderia superestimar a captura da espécie alvo. Não obstante,

este trabalho mostra que estes coleópteros estão em grandes densidades em ambientes de cafezais. Se algumas destas espécies exercem algum impacto sobre o cafeeiro, isto ainda precisa ser estudado no futuro.

Outros insetos pertencentes a, pelo menos, oitos ordens também foram coletados. Neste trabalho, deu-se destaque especial a Hymenoptera, pois é uma ordem que abriga algum dos inimigos naturais da broca-do-café, como os parasitoides e predadores. Dos 11 gêneros de formigas identificados, *Paratrechina*, *Solenopsis*, *Crematogaster*, *Pheidole* e *Pseudomyrmex* tem sido reportados como predadoras da broca-do-café (BUSTILLO; CÁRDENAS; POSADA, 2002; VÉLEZ, 2002). Especialmente a formiga *Crematogaster curvispinosus* foi reportada no Brasil como sendo predadora de estágios imaturos de *H. hampei* (BENASSI, 1995). Em relação aos micro-himenópteros, três famílias capturadas neste trabalho possuem espécies que são parasitoides da broca-do-café, ou seja, Bethyridae: *Prorops nasuta* Waterston, *Cephalonomia stephanoderis* Betrem e *Cephalonomia hyalinipennis* Ashmead; Braconidae: *Heterospilus coffeicola* Schmiedeknecht e *Cryptoxilos* sp. Viereck; Eulophidae: *Phymastichus coffea* La Salle (MORALLO-REJESUS; BALDOS, 1980; BUSTILLO; CÁRDENAS; POSADA, 2002).

Excetuando-se os outros escolitíneos, incluindo *H. hampei*, no geral as capturas das demais espécies não alvos, representaram uma ínfima parcela do total de insetos capturados. Por exemplo, no caso dos himenópteros capturados nas armadilhas contendo E:M + CFloC correspondeu a 1,36 % do total de insetos capturados. Esta informação é muito importante, pois ela endereça quaisquer preocupações acerca da possibilidade de armadilhas com atraentes causarem algum impacto sobre populações de espécies não-alvo, especialmente a de inimigos naturais.

Em resumo, este trabalho traz novas informações acerca da ecologia química da broca-do-café, demonstrando que a utilização de CFloC juntamente com etanol e metanol pode resultar em capturas significativamente superiores as obtidas com apenas estes álcoois. Desse modo, este conhecimento pode resultar em uma nova estratégia baseada no uso de semioquímicos para o manejo integrado de *H. hampei* em cafezais.

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que:

- Compostos voláteis EAD-ativos de flores de café (CFloC) em combinação com etanol e metanol (E:M) promovem capturas de adultos de *H. hampei* superiores as obtidas com apenas E:M, indicando um efeito sinérgico entre CFloC e E:M;
- Armadilhas iscadas com alguns dos compostos EAD-ativos encontrados em frutos de café em combinação ou não com E:M resultam em capturas iguais ou inferiores as obtidas com E:M;
- Armadilhas iscadas com alguns dos compostos voláteis encontrados em plantas hospedeiras de algumas espécies de besouro da casca (escolitíneos) possui efeito antagônico sobre E:M;
- Armadilhas iscadas com CFloC + E:M, assim como E:M capturam uma grande quantidade de outras espécies de Scolytinae;
- Armadilhas iscadas com CFloC + E:M, assim como E:M capturam menos insetos de outras espécies não alvos, em relação a *H. hampei* e outros escolitíneos, indicando um baixo impacto destes atraentes sobre potenciais inimigos naturais;
- Armadilhas iscadas com CFloC + E:M possuem potencial de serem empregadas no manejo integrado da broca-do-café.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/portal/anvisa/home> >. Acesso em: 29 mar 2015.

ALVIM, P.T. Moisture stress as a requirement for flowering of coffee. **Science**, Washington, v. 132, p. 354, 1960.

ARISTIZÁBAL, L.F.; BUSTILLO, A.E.; ARTHURS, S.P. Integrated Pest Management of Coffee Berry Borer: Strategies from Latin America that Could Be Useful for Coffee Farmers in Hawaii. **Insects**, Basel, v. 7, p. 1-24, 2016.

ATKINS, M.D. Behavioral variation among scolytids in relation to their habitat. **The Canadian Entomologist**, Alberta, v. 98, p. 285–288, 1966.

BAKER, P.S. Some aspects of the behaviour of the coffee berry borer in relation to its control in southern Mexico (Coleoptera: Scolytidae). **Folia Entomológica Mexicana**, Montecillo, v. 61, p. 9–24, 1984.

BAKER, P.S. The coffee berry borer in Colombia. Final report of the DFID- Cenicafé- CABI Bioscience IPM for coffee project. Chinchiná. (Colombia), **DFID – CENICAFÉ**, 1999. 154p.

BAKER, P.S.; BARRERA, J.F.; RIVAS, A. Life-History studies of the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*, Scolytidae) on coffee trees in southern Mexico. **The Journal of Applied Ecology**, Oxford, UK, v. 29, n. 3, p. 656-662, 1992.

BARRERA, J.F. Investigación sobre la broca del café en México: logros, retos y perspectivas. In: SIMPOSIO SOBRE LA SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE LA INVESTIGACIÓN Y MANEJO DE LA BROCA DEL CAFÉ EN COSTA RICA, CUBA, GUATEMALA Y MÉXICO, 2005, Tapachula. **Anais...** Tapachula: Sociedad Mexicana de Entomología, 2005.p. 1–13.

BARRERA, J. F.; HERRERA, J.; CHIU, M.; GÓMEZ, J.; VALLE-MORA, J. La trampa de una ventana (ECOIAPAR) captura más broca del café *Hypothenemus hampei* que la trampa de tres ventanas (ETOTRAP). **Entomologia Mexicana**, Montecillo, v. 7, p. 619–624, 2008.

BENASSI, V.L.R.M. Levantamento dos inimigos naturais da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera: Scolytidae) no norte do Espírito Santo. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 24, n. 3, p. 635–638, 1995.

BENASSI, V.L.R.M. Parasitóides da broca-do-café no Brasil: histórico e perspectivas. In: MANEJO DA BROCA-DO-CAFÉ, 2007, Londrina. **Anais do manejo da broca-do-café Workshop Internacional**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 2007. p. 193–198.

BERGAMIN J. Contribuição para o conhecimento da biologia da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Ipidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 14, p.31–72, 1943.

BERTHET, J.J.A. Caruncho do café: informação prestada pelo Snr. Director do Instituto Agronomico a respeito de amostras de café vinda do Congo Belga. **Boletim de Agricultura**, São Paulo, v. 14, p. 312–313, 1913.

BORBÓN-MARTÍNEZ, O.; O. MORA-ALFARO, A.; CAM-OEHLSCHLAGER, L. M. GONZÁLEZ. Proyecto de trampas, atrayentes y repelentes para el control de la broca del fruto de cafeto, *Hypothenemus hampei* L. (Coleoptera: Scolytidae). In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE CAFICULTURA, 19., 2000, San José. **Annais...** San José: IICA, 2000. p. 331–348.

BRUN, L.O.; MARCILLAUD, C.; GAUDICHON, V.; SUCKLING, D.M. Endosulfan Resistance in *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) in New Caledonia. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 82, p. 1311-1316, 1989.

BRUN, L.O.; MARCILLAUD, C.; GAUDICHON, V.; SUCKLING, D.M. Cross resistance between insecticides in coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) from New Caledonia. **Bulletim of Entomological Research**, Cambridge, v. 84, p. 175-178, 1994.

BUSTILLO, A.E. Desarrollo de un programa de manejo integrado de la broca del café: **Innovación y Ciencia**, Bogotá, v. 5, p. 23–38, 1998.

BUSTILLO, A.E.; CÁRDENAS, R.; POSADA, F.J. Natural enemies and competitors of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) in Colombia. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 635-639, 2002.

BYERS, J.A. Pheromone biosynthesis in the bark beetle, *Ips paraconfusus*, during feeding or exposure ro vapours of host plant precursors. **Insect Biochemistry**, London , v.11, p. 563-569, 1981.

BYERS, J.A.; LANNE, B.S.; LÖFQVIST, J. Host-tree unsuitability recognized by pine shoot beetles in flight. **Experientia**, Basel, v. 45, p. 489–492, 1989.

BYERS, J.A.; ZHANG, Q.H.; BIRGERSSON, G. Avoidance of nonhost plants by a bark beetle, *Pityogenes bidentatus*, in a forest of odors. **Naturwissenschaften**, New York, v. 91, p. 215-219, 2004.

BYERS, J.A.; ZHANG, Q.H.; SCHLYTER, F.; BIRGERSSON, G. Volatiles from nonhost birch trees inhibit pheromone response in spruce bark beetles. **Naturwissenschaften**, New York, v. 85, p. 557–561, 1998.

CABI. **Invasive Species Compendium**. Disponível em: <<http://www.cabi.org/isc/?compid=5&dsid=51521&loadmodule=datasheet&page=481&site=144>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

CAMILO, J.E.; OLIVARES, F.F.; JIMÉNEZ, H.A. Fenología y reproducción de la broca del café (*Hypothenemus hampei* Ferrari) durante el desarrollo del fruto. **Agronomía Mesoamericana**, Alajuela, v. 14, n. 1, p. 59-63, 2003.

CAMPOS-ALMENGOR, O.G. Estudio de hábitos de la broca del fruto del café (*Hypothenemus hampei*, Ferr. 1867) en el campo. In: SIMPOSIO LATINO-AMERICANO SOBRE CAFICULTURA, SAN SALVADOR, 10., 1982. San Salvador. **Ponencias, Resultados y Recomendaciones de Eventos Técnicos No. 323**, San Salvador: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1982. p. 38–49.

CÁRDENAS, R. Trampas y atrayentes para monitoreo de poblaciones de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Col., Scolytidae), In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE CAFICULTURA, 19., Costa Rica, 2000. **Anais...** San José, Costa Rica, 2.000. p. 369–379.

CEJA-NAVARRO, J.A.; VEGA, F.E.; KARAOZ, U.; HAO, Z.; JENKINS, S.; LIM, H.C.; KOSINA, P.; INFANTE, F.; NORTHERN, T.R.; BRODIE, E.L. Gut microbiota mediate caffeine detoxification in the primary insect pest of coffee. **Nature Communications**, London, v. 6, p. 7618, 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Conjuntura Semanal**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_20_17_01_56_boletim_cafe_-_janeiro_2016.pdf>. Acesso em: 25 abril 2016.

CORBETT, G.H. Some Preliminary Observations on the Coffee Berry Beetle Borer *Stephanoderes (Cryphalus) hampei* Ferr. **Malayan Agricultural Journal**, Kuala Lumpur, v. 21, n. 1, p. 8-22, 1933.

COSTA, G.F.; FARIA, C.A. ¿Por qué fêmeas da broca do café perfuram preferencialmente a coroa dos frutos?. **Academia Insecta**, Viçosa, v. 1, n. 1, p. 1-4, 2001.

CRUZ-LÓPEZ, L.; DÍAZ-DÍAZ, B.; ROJAS, J.C. Coffee volatiles induced after mechanical injury and beetle herbivory attract the coffee berry borer and two of its parasitoids. **Arthropod-Plant Interactions**, Dordrecht, v. 10, p. 151-159, 2016.

DAMON, A. A review of the biology and control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). **Bulletin of Entomological Research**, London, v. 90, p. 453–465, 2000.

DAVIS; A.P.; GOVAERTS, R.; BRIDSON, D.M.; STOFFELEN, P. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 152, p. 465–512, 2006.

DUFOUR, B.; FRÉROT, B. Optimization of coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* Ferrari (Col., Scolytidae), mass trapping with an attractant mixture. **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v. 132, p. 591–600, 2008.

EMURA, M.; NOHARA, I.; TOYODA, T.; KANISAWA, T. The volatile constituents of the coffee flower (*Coffea arabica* L.). **Flavour and fragrance journal**, Hoboken, v. 12, p. 9-13, 1997.

ERBILGIN, N.; KROKENE, P.; KVAMME, T.; CHRISTIANSEN, E. A host monoterpene influences *Ips typographus* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) responses to its aggregation pheromone. **Agricultural and Forest Entomology**, Malden, v. 9, p. 35–140, 2007.

ERBILGIN, N.; RAFFA, K.F. Opposing effects of host monoterpenes on responses by two sympatric species of bark beetles to their aggregation pheromones. **Journal of Chemical Ecology**, Dordrecht, v. 26, n. 11, p. 2527-2548, 2000.

FERNANDES, F.L.; PICANÇO, M.C.; CAMPOS, S.O.; BASTOS, C.S.; CHEDIK, M.; GUEDES, R.N.C.; da SILVA, R.S. Economic Injury Level for the Coffee Berry Borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) Using Attractive Traps in Brazilian Coffee Fields. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 104, p. 1909-1917, 2012.

FERNANDEZ, F.; SHARKEY, M.J. **Introducción a los Hymenoptera de la región neotropical**. Bogotá: Sociedad Colombiana de Entomología y universidad Nacional de Colombia, 2006. p. 521-538.

FERNANDEZ, S.; CORDERO, J. Biología de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) en condiciones de laboratorio. **Bioagro**, Barquisimeto, v. 19, n. 1, p. 35 – 40, 2007.

FETTIG, C.J.; MCKELVEY, S.R.; DABNEY, C.P.; HUBER, D.P.W. Responses of *Dendroctonus brevicomis* (Coleoptera: Curculionidae) in behavioral assays: implications to development of a semiochemical-based tool for tree protection. **Forest Entomology**, Ottawa v. 105, n. 1, p. 149-160, 2012.

GIORDANENGO, P.; BRUN, L.O.; FRÉROT, B. Evidence for allelochemical attraction of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, by coffee berries. **Journal of Chemical Ecology**, Dordrecht, v. 19, p. 763–769, 1993.

GITAU, C.W.; BASHFORD, R.; CARNEGIE, A.J.; GURR, G.M. A review of semiochemicals associated with bark beetle (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) pests of coniferous trees: A focus on beetle interactions with other pests and their associates. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 297, p. 1–14, 2013.

GONTHIER, D.J.; ENNIS, K.K.; PHILPOTT, S.M.; VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. Ants defend coffee from berry borer colonization. **BioControl**, Dordrecht, v. 58, p. 815–820, 2013.

GONZÁ LEZ, M.O.; DUFOUR, B.P. Diseño, desarrollo y evaluación de trampas para el manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* Ferr. en El Salvador. **Boletín Promecafe**, São Salvador, v. 91/92, p. 11–19, 2001.

GUTIERREZ-MARTÍNEZ, A.; HERNÁNDEZ-RIVAS, S.; VIRGEN, A. Trampeo en el campo de la broca del fruto del café *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera: Scolytidae) con los semioquímicos volátiles del fruto de café (*Coffea canephora*) Pierre ex Froehner, In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE CAFICULTURA, 16., 1995, Managua. **Anais...** Managua: IICA, 1995, p. 51–52.

GUTIÉRREZ-MARTÍNEZ, A.; ONDARZA, R.N. Kairomone effect of extracts from *Coffea canephora* over *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). **Environmental Entomology**, Lanham, v. 25, p. 96–100, 1996.

GUTIÉRREZ-MARTÍNEZ, A.; RIVAS, S.H.; SANCHEZ, A.V. Atracción química de la broca del fruto de café *Hypothenemus hampei* Ferrai (Coleoptera: Scolytidae) por las diferentes variedades de café en el Sononusco, Chiapas, México. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE CAFEICULTURA, 1993, Managua. **Anais...**, Managua: IICA, 1993. v. 16, p.1-8.

HUBER, D.P.W.; GRIES, R.; BORDEN, J.H. PIERCE Jr., H.D. A survey of antennal responses by five species of coniferophagous bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) to bark volatiles of six species of angiosperm trees. **Chemoecology**, Basel, v. 10, p. 103–113, 2000.

INAFNTE, F.; MUMFORD, J.; BAKER, P. Life history studies of *Prorops nasuta*, a parasitoid of the coffee berry borer. **BioControl**, Dordrecht, v 50, p. 259-270, 2005.

INFANTE, F., PÉREZ, J.; VEGA, F.E. Redirect research to control coffee pest. **Nature**, London, v. 489, p. 502, 2012.

JARAMILLO, J.; BORGEMEISTER, C.; BAKER, P. Coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae): searching for sustainable control strategies. **Bulletin of Entomological Research**, Cambridge, v. 96, p. 223–233, 2006.

JARAMILLO, J.; CHABI-OLAYE, A; POEHLING, H.; KAMONJO, C.; BORGEMEISTER, C. Development of an improved laboratory production technique for the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*, using fresh coffee berries. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 130, p. 275–281, 2009.

JARAMILLO, J.; TORTO, B.; MWENDA, D.; TROEGER, A.; BORGEMEISTER, C.; POEHLING, H.; FRANCKE, W. Coffee Berry Borer Joins Bark Beetles in Coffee Klatch, **PlosOne**, São Francisco, v. 8, p. 1-15, 2013.

LACEY, E.S.; MOREIRA, J.A.; MILLAR, J.G.; HANKS, L.M. A male-produced aggregation pheromone blend consisting of alkanediols, terpenoids, and an aromatic alcohol from the cerambycid beetle *Megacyllene caryae*. **Journal of Chemical Ecology**, Dordrecht, v. 34, p. 408-417, 2008.

LAUZIÈRE, I.; BRODEUR, J.; PÉREZ-LACHAUD, G. Host stage selection and suitability in *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethyridae), a parasitoid of the coffee berry borer, **Biological Control**, Orlando, v. 21, p. 128-133, 2001.

LEROY, J.V. Observations relatives à quelques insectes attaquant le Caféier. Publications de l'Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo Belge, **Série Scientifique**, Bruxelles, v. 8, p. 30, 1936.

LINGENHELD, M. Coffee's Weakness Masks Bullish Fundamentals, **Forbes**, New York, p.1-4, 2016.

LIU, Y.B.; MCLEAN, J.A. Field evaluation of responses of *Gnathotrichus sulcatus* and *G. retusus* (Coleoptera: Scolytidae) to semiochemicals. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 82, p. 1688-1690, 1989.

LIU, Y.; DAI, H. Application of bark beetle semiochemicals for quarantine of bark beetles in China. **Journal of Insect Science**, Oxford, v. 6, p. 1-6, 2006.

LÓPEZ-GUILLÉN, G.; VALDEZ-CARRASCO, J.; CRUZ-LÓPEZ, L.; BARRERA, J.F.; MALO, E.A.; ROJAS, J.C. Morphology and structural changes in flight muscles of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae) females. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 40, p. 441-448, 2011.

MATHIEU, F.; BRUN, L. O.; MARCHILAUD, C.; FRÉROT, B. Trapping of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* Ferr. (Col., Scolytidae) within a mesh-enclosed environment: interaction of olfactory and visual stimuli. **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v. 121, p. 181-186, 1997.

MATHIEU, F.; GAUDICHON, V.; BRUN, L.O.; FRÉROT, B. Effect of physiological status on olfactory and visual responses of female *Hypothenemus hampei* during host plant colonization. **Physiological Entomology**, Oxford, v. 26, p.189- 193, 2001.

MATHIEU, F.; MALOSSE, C.; FRÉROT, B. Identification of the volatile components released by fresh coffee berries at different stages of ripeness. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 46, p. 1106-1110, 1998.

MENDESIL, E.; BRUCE, T.J.A.; WOODCOCK, C.M.; CAULFIELD, J.C.; SEYOUM, E.; PICKETT, J.A. Semiochemicals used in host location by the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. **Journal of Chemical Ecology**, Dordrecht, v. 35, p. 944-950, 2009.

MENDESIL, E.; JEMBERE, B.; SEYOUM, E. Population dynamics and distribution of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) on *Coffea arabica* L. in southwestern Ethiopia. **Sinet**, Addis Ababa, v. 27, p. 127-134, 2004.

MENDOZA-MOORA, J.R. **Resposta da broca-do-café, *Hypothenemus hampei*, a estímulos visuais e semioquímicos**, 1991. 44p. Tese (Entomologia na área de) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 1991.

MESSING, R.H. The coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) invades Hawaii: Preliminary investigations on trap response and alternate hosts. **Insects**, Basel, v. 3, p. 640-652, 2012.

MOECK, H.A. Ethanol induces attack on trees by spruce beetles, *Dendroctonus rufipennis* (coleoptera: scolytidae). **The Canadian Entomologist**, Alberta, v. 113, p. 939-942, 1981.

MORALLO-REJESUS, B.; BALDOS, E.P.; TEJADA, A.M. Evaluation of insecticides against coffee berry borer and its residues in processed coffee. **Philippines Entomology**, Laguna, v. 4, p. 415-433, 1980.

MORRIS, J.R.; VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. A Keystone Ant Species Provides Robust Biological Control of the Coffee Berry Borer Under Varying Pest Densities. **PLoS ONE**, São Francisco, v. 10, p. 1-15, 2015.

MULLER, K.E.; FETTERMAN, B.A. **Regression and ANOVA: An Integrated Approach using SAS[®] Software**. SAS Institute: Cary, NC, 2002.

MURPHY, S.T.; MOORE, D. Biological control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae): previous programmes and possibilities for the future. **Biocontrol News and Information**, Oxfordshire, v. 11, p. 107-117, 1990.

NJIHIA, T.N.; JARAMILLO, J.; MURUNGI, L.; MWENDA, D.; ORINDI, B.; POEHLING, H.; TORTO, B. Spiroacetals in the colonization behaviour of the coffee berry borer: A 'push-pull' system. **PLoS ONE**, São Francisco, v. 9, n. 11, p. 1-15, 2014.

OLIVEIRA, C.M.; AUAD, A.M.; MENDES, S.M.; FRIZZAS, M.R. Economic impact of exotic insect pests in Brazilian agriculture. **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v. 137, p. 1-15, 2013.

ORTIZ, A.; VEGA, F.E.; POSADA, F.J. Volatile composition of coffee berries at different stages of ripeness and their possible attraction to the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Easton, v. 52, p. 5914-5918, 2004.

PAINE, T.D.; RAFFA, K.F.; HARRINGTON, T.C. Interactions among scolytid bark beetles, their associated fungi, and live host conifers. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 42, p.179-206, 1997.

PEREIRA, A.E.; VILELA, E.F.; TINOCO, R.S.; DE LIMA, J.O.G; FANTINE, A.K.; MORAIS, E.G.F; FRANÇA, C.F.M. Correlation between numbers captured and infestation levels of the Coffee Berry-borer, *Hypothenemus hampei*: A preliminary basis for an action threshold using baited traps. **International Journal of Pest Management**, Maryland, v. 58, p. 183-190, 2012.

PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. The effect of an ant-hemipteran mutualism on the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) in southern Mexico. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 117, p. 218–221, 2006.

PERFECTO, I.; RICE, R. A.; GREENBERG, R.; VAN DER VOORT, M. E. Shade Coffee: A Disappearing Refuge for Biodiversity. **BioScience**, Oxford, v. 46, p. 598-608, 1996.

PHILPOTT, S.M.; ARMBRECHT, I. Biodiversity in tropical agroforests and the ecological role of ants and ant diversity in predatory function. **Ecological Entomology**, London, v. 31, issue 4, p. 369-377, 2006.

RAFFA, K.F.; BERRYMAN, A.A. interacting selective pressures in conifer-bark beetle systems: a basis for reciprocal adaptations? **The American Naturalist**, Chicago v. 129, p. 234-262, 1987.

ROBLERO, E.N.C.; MALO, E.A. Chemical analysis of coffee berry volatiles that elicit an antennal response from the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*. **Journal of the Mexican Chemical Society**, Mexico D. F., v. 57, n. 4, p. 321-327, 2013.

SCHROEDER, L.M.; LINDELOW, A. Attraction of scolytids and associated beetles by different absolute amounts and proportions of α -pinene and ethanol). **Journal of Chemical Ecology**, Dordrecht, v. 15, p. 807-817, 1989.

SHEARER, D.A.; BOCH, R. Citral in the nassanoff pheromone of the honeybee. **Insect Physiology**, Oxford, v. 12, p. 1513-1521, 1966.

SHEPHERD, W.P.; HUBER, D.P.W.; SEYBOLD, S.J.; FETTIG, C.J. Antennal responses of the western pine beetle, *Dendroctonus brevicomis* (Coleoptera: Curculionidae), to stem volatiles of its primary host, *Pinus ponderosa*, and nine sympatric nonhost angiosperms and conifers. **Chemoecology**, Basel, v. 17, p. 209–221, 2008.

SHEPHERD, W.P.; SULLIVAN, B.T. Southern Pine Beetle, *Dendroctonus frontalis*, Antennal and Behavioral Responses to Nonhost Leaf and Bark Volatiles. **Journal of Chemical Ecology**, Dordrecht, v. 39, p. 481–493, 2013.

SILVA, W. D. **Idade de fêmeas colonizadoras de *Hypothenemus hampei* (Ferrari) e sua resposta aos voláteis de flores de café, *Coffea arabica* L.** - 2014. 56p. Tese eCiências com ênfase em Entomologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil, 2014.

SILVA, W.D.; MASCARIN, G.M.; ROMAGNOLI, E.M; BENTO, J.M.S. Mating Behavior of the Coffee Berry Borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). **Journal of Insect Behavior**, New York, v. 25, p. 408–417, 2012.

SILVA, F.C. da; VENTURA, M.U.; MORALES, L. Capture of *Hypothenemus hampei* Ferrari (Coleoptera, Scolytidae) in response to trap characteristics. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 63, p. 567–571, 2006.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. **Biometry**. 3rd ed. New York: WH Freeman, 1995.

STASHENKO, E.E.; MARTÍNEZ, J.R.; CÁRDENAS-VARGAS, S.; SAAVEDRA-BARRERA, R.; DURÁN, D. C. GC–MS study of compounds isolated from *Coffea arabica* flowers by different extraction techniques. **Journal of Separation Science**, Weinheim, v. 36, p. 2901-2914, 2013.

SZENDREI, Z.; MALO, E.; STELINSKI, L.; RODRIGUEZ-SAONA, C. Response of Cranberry Weevil (Coleoptera: Curculionidae) to Host Plant Volatiles. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 38, p. 861-869, 2009.

TICHELER, J.H.G. Estudio analítico de la epidemiología del escoltído de los granos de café *Stephanoderes hampei* Ferr. en Costa de Marfil. **Cenicafé**, Chinchina, v. 14, p. 223-294, 1963.

VARÓN, E.H.; HANSON, P.; BORBÓN, O.; CARBALLO, M.; HILJE, L. Potencial de hormigas como depredadores de la broca del café (*Hypothenemus hampei*) em Costa Rica. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**, Turrialba, v. 73, p. 42-50, 2004.

VEGA, F.E. Coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). 2nd ed. -In: CAPINERA, J.L. (Ed.). **Encyclopedia of Entomology**, New York: Springer, 2008, p. 959–960.

VEGA, F.E.; BENAVIDES, P.; STUART, J.A.; O’NEILL, S.L. *Wolbachia* Infection in the Coffee Berry Borer (Coleoptera: Scolytidae). **Annals of the Entomological Society of America**, College Park, v. 95, n. 3, p. 374-378, 2002.

VEGA, F.E.; DAVIS, A. P.; JARAMILLO, J. From forest to plantation? Obscure articles reveal alternative host plants for coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*. **Biological Journey of Linnean Society**, London, v. 107, p. 86–94, 2012.

VEGA, F.E.; INFANTE, F.; CASTILLO, A.; JARAMILLO, J. The coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Curculionidae): a short review, with recent findings and future research directions. **Terrestrial Arthropod Reviews**, Washington, v. 2, p. 129–147, 2009.

VEGA, F.E.; KRAMER, M.; JARAMILLO, J. Increasing coffee berry borer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) female density in artificial diet decreases fecundity. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 104, p. 87–93, 2011.

VELASCO PASCUAL, H.; LLAVÉN-GÓMEZ, J.M.; VELÁSQUEZ-VELÁSQUEZ, A.F. Respuesta a extractos de cerezas de café utilizados como atrayente para hembras intercosecha de la broca del fruto *Hypothenemus hampei* Ferr. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE CAFICULTURA, 18., 1997, San José. **Memorias...**, San José, 1997, p. 349-352.

VÉLEZ, M. Hormigas y su papel en el control biológico de la broca del café. In: **Memorias Curso Internacional Teórico – Práctico**. Sección II. Parasitoides y otros enemigos de la broca del café. Cenicafé, Chinchiná, marzo 18 al 22, 2002, p. 15–23.

VILLACORTA, A.; POSSAGNOLO, A.F.; SILVA, R.Z; RODRIGUES, P. S. Um modelo de armadilha com semioquímicos para o manejo integrado da broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) no Paraná. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Vitória, 2001. p. 2093–2098.

VILLANUEVA, E. Efectividad del control manual y químico para la broca del café, *H. hampei* en el Soconusco, Chiapas, México. In: SIMPÓSIO Taller Regional sobre la Broca del Fruto del Cafeto, 1990, San Salvador. (4), IICA-Promecafé, San Salvador, El Salvador, 1990, 3p.

WEGBE, K.; CILAS, C.; DECAZY, B.; ALAUZET, C.; DUFOUR, B. Estimation of production losses caused by the coffee berry borer (Coleoptera: Scolytidae) and calculation of an economic damage threshold in Togolese coffee plots. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 96, p. 1473–1478, 2003.

WOOD, D.L. The role of pheromones, kairomones and allomones in the host selection and colonization of bark beetles. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 27, p. 411-446, 1982.

WRIGLEY, G. **Coffee**. Longman Scientific & Technical. Essex: Cambridge, 1988. 639p.

ZHANG, Q.H.; BIRGERSSON, G.; ZHU, J.W.; LOFSTEDT, C.; LOFQVIST, J.; SCHLYTER, F.. Leaf volatiles from nonhost deciduous trees: Variation by tree species, season and temperature, and electrophysiological activity in *Ips typographus*. **Journal of Chemical Ecology**, Dordrecht, v. 25, p. 1923–1943, 1999.