

FERNANDO CANTOR RINCÓN

FATORES QUE AFETAM A EFICIÊNCIA DE PARASITÓIDES:
O CASO DOS PARASITÓIDES DA BROCA-DO-CAFÉ,
Hypothenemus hampei (FERRARI) (COLEOPTERA, SCOLYTIDAE)

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2001

Este trabalho foi realizado em parceria entre o “**Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFÉ**” da Colômbia, e a **Universidade Federal de Viçosa** do Brasil.

No Cenicafé, o trabalho foi aprovado pelo Comité Coordenador de Pesquisas desse Centro, sob o código ENT-0282, para o qual recebeu o apoio financeiro, científico e técnico. A coordenação geral do ENT-0282 foi designada pelo mesmo Comité ao **Dr. Alex E. Bustillo Pardey**, chefe da Disciplina de Entomologia do Cenicafé.

Agradecimentos

Sem dúvida nenhuma, muitas pessoas contribuíram para a conclusão deste trabalho, e será difícil esquecer-las. No entanto, é aos Drs. José Ricardo Cure e Evaldo Ferreira Vilela que expresso meus agradecimentos mais profundos. Também devo a eles minha admiração por suas capacidades de trabalho, e meu afeto pela confiança e amizade que sempre recebi deles.

As instituições também foram importantes. Meus agradecimentos à Universidade Federal de Viçosa (UFV), e em particular aos professores Og. F. F. DeSouza, Ângelo Pallini Filho e José Cola Zanuncio, da Pós-Graduação em Entomologia. À equipe técnica e científica das Disciplinas de Entomologia (Dr. Alex Bustillo), Biometria (Dra. Esther Cecilia Montoya) e Agroclimatologia (Dr. Orlando Guzmán), do “Centro Nacional de Investigaciones de Café - CENICAFE/Colômbia.

Os colegas e amigos fizeram parte importante do meu percurso. Por isso, quero expressar meus agradecimentos especiais aos amigos da UFV Harold Tafur (Univ. Nal. Colômbia, Palmira), Wellington Campos (FUNREI, São João del Rei, MG), Ronaldo Reis Jr. (atualmente na ESALQ, Piracicaba, SP), Adrián José Molina Rugama, e ao Lucas Zinato Carraro!!. Esses agradecimentos são igualmente estendidos aos amigos do Cenicafé: Juan Carlos López, Juan Carlos Vélez e Luis Fernando Aristizábal. Todos eles, os da UFV e os do Cenicafé, foram muito importantes já que deram contribuições importantes em alguma parte do trabalho.

Finalmente, mas não por isso menos importante, devo meus agradecimentos ao “**Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq/Brasil**”, pela bolsa concedida.

Biografia

Filho de Imperatriz Elena Rincón e Gonzalo Cantor, nasceu em Santafé de Bogotá (Colômbia) em 1970. Gradou-se em Biologia em 1995 pela “Universidad Nacional de Colombia” com sede em Bogotá. Trabalhou como professor de Biologia e Ecologia sob orientação das Dras. Maria Auxiliadora Consuegra e Alicia Amézquita de Rojas, no “Programa de Educación Continuada para Adultos de CAFAM”. Iniciou-se na pesquisa científica incentivado pelo Dr. José Ricardo Cure, quem fora inicialmente, seu professor co-orientador na graduação e, posteriormente seu chefe no “Departamento de Investigación & Desarrollo de MG Consultores Ltda” (empresa exportadora de flores). Através do Dr. Cure conheceu vários pesquisadores de prestígio na área de Entomologia, e entre eles, ao Dr. Evaldo Ferreira Vilela da UFV/Brasil. A partir de agosto de 1997, o Dr. Vilela passou a ser seu orientador ao nível de doutorado no Curso de Entomologia. Sob a orientação deste desenvolveu-se profissionalmente. Concluído o Doutorado em Entomologia em julho de 2001, retorna a Bogotá acompanhado de sua esposa Rosemary Silva Leão, uma linda brasileira. Em agosto do mesmo ano ingressa como Prof. de Biologia à Faculdade de Ciências Básicas da “Universidad Militar “Nueva Granada”, em Bogotá.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. EFEITO DA TEMPERATURA E DA UMIDADE RELATIVA NA TAXA LÍQUIDA DE INCREMENTO NATURAL DA BROCA-DO-CAFÉ <i>Hypothenemus hampei</i> (FERRARI) (COLEOPTERA, SCOLYTIDAE), E DE TRÊS ESPÉCIES DE SEUS PARASITÓIDES	1
1.1. ABSTRACT	1
1.2. RESUMO	2
1.3. INTRODUÇÃO	3
1.4. MATERIAL E MÉTODOS	5
1.4.1. Os tratamentos	5
1.4.1.1. Efeito da umidade relativa do ar	5
1.4.1.2. Efeito da temperatura	7
1.4.2. As amostragens	7
1.4.3. As análises estatísticas	9
1.5. RESULTADOS	10
1.6. DISCUSSÃO	11
1.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16

2.	TAXAS DE PARASITISMO E DURAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE <i>Phymastichus coffea</i> (La SALLE) (HYMENOPTERA, EULOPHIDAE), ENDOPARASITÓIDE DA BROCA-DO-CAFÉ, EM TRÊS ALTITUDES DIFERENTES DA ÁREA PRODUTORA DE CAFÉ DA COLÔMBIA	22
2.1.	ABSTRACT	22
2.2.	RESUMO	23
2.3.	INTRODUÇÃO	24
2.4.	MATERIAL E MÉTODOS	24
2.4.1.	Seleção dos locais para o experimento	24
2.4.2.	Infestações e parasitações induzidas	25
2.4.3.	As análises estatísticas	26
2.5.	RESULTADOS	26
2.6.	DISCUSSÃO	31
2.7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
3.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
3.1.	BASES TEÓRICAS PARA ANALISAR O SUCESSO/INSUCESSO TÉCNICO DE PARASITÓIDES EM PROGRAMAS DE CONTROLE BIOLÓGICO	36

3.1.1.	Hipótese 1: O potencial de ação dos parasitóides não permite gerar um programa de controle biológico bem sucedido	37
3.1.2.	Hipótese 2: O potencial de ação dos parasitóides depende de diversos fatores ou processos para gerar um programa de controle biológico bem sucedido.	38
3.1.2.1	Hipótese 2A: O potencial de ação de inimigos naturais é reduzido por processos que atuam verticalmente ao nível trófico a que pertencem	38
3.1.2.2.	Hipótese 2B: O potencial de ação de inimigos naturais é reduzido por processos que atuam lateralmente ao nível trófico a que pertencem	39
3.2.	ANÁLISE DO CONTROLE BIOLÓGICO DA BROCA-DO-CAFÉ <i>Hypothenemus hampei</i> (FERRARI) (COLEOPTERA, SCOLYTIDAE) COM PARASITÓIDES	40
3.2.1.	Aplicação das Hipóteses	41
3.2.2.	Conclusão	44
3.3.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
4.	CONCLUSÕES	52

RESUMO

CANTOR RINCÓN, Fernando, D.S. Universidade Federal de Viçosa, julho de 2001.

Fatores que afetam a eficiência de parasitóides: o caso dos parasitóides da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera, Scolytidae).

Professor Orientador: Evaldo Ferreira Vilela. Professores Conselheiros: Og Francisco Fonseca de Souza e José Ricardo Cure Hakim.

A broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera, Scolytidae), é considerada como uma espécie que provoca perdas econômicas em lavouras de café. Para seu controle biológico, têm sido utilizados, entre outros organismos, os ectoparasitóides larvais *Cephalonomia stephanoderis* (Betrem) (Hymenoptera, Bethyilidae) e *Prorops nasuta* (Waterston) (Hymenoptera, Bethyilidae). No entanto, apesar da ação desses parasitóides, a broca-do-café continua sendo considerada como a principal praga das lavouras de café nos países produtores de café do mundo. Em 1990 foi registrado *Phymastichus coffea* (La Salle) (Hymenoptera, Eulophidae), como um endoparasitóide de adultos da broca-do-café com potencial para controlar as populações dessa praga. No entanto, devido à insuficiência de dados que permitam comparar o potencial de *P. coffea* com o de *C. stephanoderis* e *P. nasuta* para reduzir populações da broca-do-café, foram objetivos do presente trabalho, i) avaliar em condições de laboratório, a taxa líquida de incremento natural (r_m) desses três parasitóides e da broca-do-café, em função de diferentes temperaturas e umidades relativas do ar, e, ii) quantificar em condições semicontroladas de campo, a duração do ciclo de vida e as taxas de parasitismo de *P. coffea* em cafezais com diferente altitude.

A proposta consistiu em explicar como pode ser afetado o sucesso técnico desses parasitóides, quando atuam sobre eles, algumas variáveis ecológicas presentes em campo (temperatura, umidade relativa do ar, e, altitude). Em condições de laboratório, os diferentes valores de umidade relativa não afetaram as taxas de crescimento populacional das espécies estudadas, mas, quando considerados os diferentes valores de temperatura, os parasitóides *C. stephanoderis* e *P. nasuta* apresentaram uma taxa de crescimento populacional mais baixa que a de *P. coffea*, na faixa térmica compreendida entre 12 e 28°C. Segundo os resultados de

laboratório, *P. coffea* se apresenta como o parasitóide com maior potencial para o controle biológico da broca-do-café em cafezais localizados numa ampla faixa térmica. No entanto, quando avaliadas as taxas de parasitismo de *P. coffea* em condições de campo, estas diminuíram quando diminuía a altitude onde se localiza a lavoura. Foi evidenciado e quantificado a infecção espontânea e natural do fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana* sobre adultos da broca-do-café previamente parasitados pelo *P. coffea*. Ainda, estas infecções estiveram inversamente relacionadas com a diminuição gradativa do número de adultos da broca-do-café parasitados por *P. coffea*. Finalmente, numa análise teórica, são consideradas além das variáveis avaliadas no presente trabalho, outras que poderiam explicar hipoteticamente, o insucesso técnico de parasitóides em geral, e dos parasitóides da broca-do-café em particular.

ABSTRACT

CANTOR RINCÓN, Fernando. Universidade Federal de Viçosa. July 2001. **Factors affecting parasitoid efficiency: the case of coffee borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera, Scolytidae) parasitoid.** Adviser: Evaldo Ferreira Vilela. Committee Members: Og Francisco Fonseca de Souza and José Ricardo Cure Hakim.

The coffee borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera, Scolytidae), is considered a species that causes economic losses in coffee crops. To its biological control larvae ectoparasitoids have been used, among other organisms, such as *Cephalonomia stephanoderis* (Betrem) (Hymenoptera, Bethyridae) and *Prorops nasuta* (Waterston) (Hymenoptera, Bethyridae). Despite the action of these parasitoids, however, the coffee borer continues to be considered as the main pest of coffee crops in the coffee producer countries in the World. In 1990, the coffee borer adult endoparasitoid *Phymasticus coffea* (La Salle) (Hymenoptera, Eulophidae) has been registered and considered as potential controller of populations of coffee borer. Because data allowing to compare the potential of *P. coffea*, *C. stephanoderis* and *P. nasuta* in reducing borer coffee populations are scarce, this work aimed: i) to evaluate in laboratory conditions the net rate of natural increase (r_m) of these three parasitoids and of the coffee borer, varying the temperature and air moisture, and ii) quantify in semi-controlled field conditions the life cycle duration and parasitism rates of *P. coffea* in coffee plantations in different altitudes.

The proposal consisted in explaining how the technical success of such parasitoids may be affected by ecological variables that are present in field conditions (temperature, air moisture and altitude). In laboratory conditions the different values of air moisture did not affect populations increase rates of studied species, but temperature affected *C. stephanoderis* and *P. nasuta*, which presented a smaller population increase rate than *P. coffea* in the range of 12 and 28 °C. According to laboratory results, *P. coffea* is the parasitoid with larger potential use in biological control in coffee crops located in an ample temperature range. However, when *P. coffea* parasitism rates were evaluated in field conditions, they decrease with altitude decrease. The spontaneous and natural infection by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* on previously parasitized coffee borer adults was

evidenced and quantified. Such infections were inversely related to decrease of adult number in the coffee borer adults parasitized by *P. coffea*. Finally, in a theoretical analysis, several other variables, besides those evaluated in the present work, are considered to the hypothetical explanation of the technical lack of success of parasitoids in general, and of the coffee borer parasitoids in particular.

1. EFEITO DA TEMPERATURA E DA UMIDADE RELATIVA, NA TAXA LÍQUIDA DE INCREMENTO NATURAL DA BROCA-DO-CAFÉ *Hypothenemus hampei* (FERRARI) (COLEOPTERA, SCOLYTIDAE), E DE TRÊS ESPÉCIES DE SEUS PARASITÓIDES.

1.1. ABSTRACT

The coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera, Scolytidae) is a major pest of coffee in South America and throughout the world. Efforts had been made in different countries to develop biocontrol programs with parasitoids, namely *Cephalonomia stephanoderis* (Betrem) (Hymenoptera, Bethylinidae) and *Prorops nasuta* (Waterston) (Hymenoptera, Bethylinidae) or entomopathogens, but the pest continues to challenge production. A third parasitoid, *Phymastichus coffea* (La Salle) (Hymenoptera, Eulophidae) that attack borer adults, was reported in 1990, as a good potential natural enemy. This work is a contribution to the comparative biology of the three parasitoids, for modeling their relative contribution in regulating the coffee berry borer population dynamics in the field. Intrinsic rate of natural increase (r_m) was calculated for the three parasitoids and the coffee berry borer at six temperatures (12, 16, 20, 24, 28 e 32°C) and two relative humidities (70 to 80% and 90 to 100%). Temperature accounts for most of the variation observed ($F_{[1;187]}=15.09$; $p<0.001$) in the four species studied. Maximum r_m for the different species studied (based on adjusted curves) were 0.035 for *C. stephanoderis* at 30.5°C ($R^2=0.44$); 0.034 for *P. nasuta* at 29.19°C ($R^2=0.90$); 0.037 for *P. coffea* at 24.64°C ($R^2=0.51$) and 0.031 for *H. hampei* at 29.69°C ($R^2=0.70$).

1.2. RESUMO

A broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Scolytidae) é considerada como a maior praga dos países cafeicultores da América do Sul e do resto do mundo. Muitos esforços tem sido feitos em alguns desses países para desenvolver programas de controle biológico com os parasitóides *Cephalonomia stephanoderis* (Betrem) (Hymenoptera, Bethylidae) e *Prorops nasuta* (Waterston) (Hymenoptera, Bethylidae) ou com organismos entomopatógenos. Um terceiro parasitóide, o *Phymastichus coffea* (La Salle) (Hymenoptera, Eulophidae), foi reportado em 1990 como um inimigo natural com potencial para controlar populações da broca-do-café. No entanto, para conhecer o potencial deste parasitóide em relação com os outros dois betilídeos, é preciso fazer uma biologia comparativa deles nas mesmas condições. Assim sendo, este trabalho teve como objetivo avaliar a taxa de incremento populacional (r_m) da broca-do-café e de três espécies de seus principais parasitóides, sob o efeito de duas umidades relativas (70 a 80%, e, 90 a 100%) e seis temperaturas constantes (12, 16, 20, 24, 28 e 32°C) em condições de laboratório. Variações no valor de r_m foram explicadas pela temperatura ($F_{[1;187]}=15.09$; $p<0,001$) e não pela umidade nas quatro espécies de insetos. Os máximos valores de r_m (baseados no ajuste de curvas) foram: 0.035 para *C. stephanoderis* a 30.5°C ($R^2=0.44$); 0.034 para *P. nasuta* a 29.19°C ($R^2=0.90$); 0.043 para *P. coffea* a 24.64°C ($R^2=0.51$), e finalmente 0.036 para *H. hampei* a 29.69°C ($R^2=0.70$).

1.3. INTRODUÇÃO

A broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera, Scolytidae) é considerada a principal praga das lavouras de café em muitos países do mundo (MURPHY e MOORE, 1990). Apesar de várias tentativas de controle biológico dessa praga na América, com a introdução de parasitóides de origem africana (HEMPEL, 1934; TOLEDO-PIZA Jr. e FONSECA, 1935; TOLEDO, 1942; BARRERA et al., 1990; MURPHY e RANGI, 1991), os resultados têm sido pouco promissores (BAKER, 1999).

Alguns autores têm analisado holisticamente as causas de insucesso dos programas de controle biológico e a ação do clima é indicada como uma dessas causas (STILING, 1993; REIS Jr. et al., 2000), já que modifica a dinâmica das populações de insetos (WEISSER et al., 1997). Ao nível populacional, o microclima (temperatura e umidade) que percebem os indivíduos pode variar radicalmente de um ambiente para outro, e gerar mudanças no valor dos parâmetros estatísticos nas tabelas de vida dos indivíduos (GUTIERREZ, 1996), bem como na intensidade das interações entre os organismos (BEGON e MORTIMER, 1986; HARRINGTON et al., 1999).

O clima é considerado uma condição local e este pode variar em função da heterogeneidade espacial (TILMAN e PACALA, 1993). Assim sendo, se a heterogeneidade espacial gera locais com condições diferentes, pode se argumentar que insetos-praga poderiam ocupar locais com condições extremas, porém, toleráveis por eles, para escapar do ataque de seus inimigos naturais. Essa hipótese já se conhece como a "hipótese do refúgio" (MURDOCH et al., 1996; HOCHBERG e HOLT, 1995) e tem sido utilizada para explicar a persistência e estabilidade do sistema hospedeiro-parasitóide (HASTINGS, 2000), e inclusive, para explicar a perda do potencial de ação de parasitóides utilizados em programas de controle biológico (HAWKINS et al., 1993).

Estudos de tolerância a fatores ambientais como temperatura têm sido reportados para *H. hampei* (BERGAMIN, 1943; COSTA e VILLACORTA 1989;

PORTILLA, 1999) e para o ectoparasitóide larval *Cephalonomia stephanoderis* (Betrem) (Hymenoptera, Bethylidae) (INFANTE et al., 1992; INFANTE e LUIS, 1993; PORTILLA, 1999), enquanto estudos com variações na umidade relativa têm sido reportados por BAKER et al., (1992) e PORTILLA (1999) para a broca-do-café. Os resultados desses estudos foram aproveitados basicamente para a otimização de métodos de cria da broca-do-café e seus parasitóides em dietas naturais (BUSTILLO et al., 1996) e artificiais (VILLACORTA e BARRERA, 1996; PORTILLA e BUSTILLO, 1995; PORTILLA, 1999). No entanto, estudos do efeito da temperatura e da umidade relativa sobre indivíduos da broca-do-café e de seus parasitóides, não têm sido interpretados desde o ponto de vista da dinâmica populacional (taxa líquida de incremento populacional) da broca-do-café e seus parasitóides.

Ainda, perante o registro do parasitóide *Phymastichus coffea* (La Salle) (Hymenoptera, Eulophidae) como excelente alternativa para o controle biológico da broca-do-café (La Salle, 1990), é necessário comparar a potencialidade deste parasitóide para controlar a broca-do-café, nas diversas condições térmicas e de temperatura que é avaliada a potencialidade dos parasitóides betílideos. Segundo um modelo de simulação matemática elaborado por GUTIERREZ et al. (1998), a potencialidade de *P. coffea* é superior em relação com a do betílideos para controlar populações da broca-do-café. No entanto, esses resultados são gerados a partir de poucas informações da literatura relacionados com a biologia da broca-do-café e seus parasitóides.

Devido ao interesse que tem se levantado sobre a potencialidade de *P. coffea* para controlar populações da broca-do-café, já foi considerada a introdução deste inimigo natural desde a África para a América, por países produtores de café como Colômbia (LÓPEZ-VAAMONDE e MOORE, 1998). Porém, antes de considerar a introdução de *P. coffea* no Brasil, é importante conhecer se o potencial de controle de *P. coffea* poderia expressarse em condições da cafcultora brasileira, onde as características agroclimatológicas da lavoura do café são diferentes às colombianas.

Assim sendo, para avaliar o potencial dessas três espécies de parasitóides da broca-do-café, foi considerado que o objetivo do presente trabalho fosse quantificar

as taxas de crescimento populacional (índice r_m) da praga e dos parasitóides em questão, sob diferentes condições de temperatura e umidade relativa.

1.4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado nos laboratórios de Entomologia do “Centro Nacional de Investigaciones del Café” (Cenicafé) na Colômbia. Indivíduos adultos da broca-do-café, *H. hampei*, bem como das três espécies de parasitóides: *C. stephanoderis*, *P. nasuta* e *P. coffea*, foram obtidos de criação massal, como descrita em BUSTILLO et al. (1996).

Fêmeas de cada espécie foram liberadas em grupos de 200, em recipientes plásticos com capacidade de 1470 cm³ (17.5 cm x 12 cm x 7 cm) cada. Os recipientes onde foram liberadas as fêmeas da broca-do-café, continham 200 sementes sadias de café pergaminho seco, com teor de umidade entre 30-40%; nos que foram liberadas as fêmeas de *C. stephanoderis* ou *P. nasuta* continham sementes de café pergaminho com 20-25 dias de infestação por indivíduos da broca-do-café, o qual garantiu a presença de estágios larvais susceptíveis para alimentação e/ou oviposição para o parasitóide. Os recipientes onde foram liberadas as fêmeas de *P. coffea* continham 200 indivíduos da broca-do-café que estiveram infestando sementes de café pergaminho, por um período inferior a 24 horas.

1.4.1. Os tratamentos

1.4.1.1. Efeito da umidade relativa do ar

Com o fim de imitar em laboratório algumas condições de umidade relativa que podem se apresentar em campo, tentou-se avaliar a variação da taxa líquida de crescimento populacional das quatro espécies em duas faixas de umidade relativa diferentes, que representaram a condição seca e a condição úmida.

Para conseguir as condições de umidade relativa desejadas em laboratório, previamente foi realizada uma avaliação para determinar o tipo de substância higroscópica que apresentaria maior estabilidade no valor da umidade relativa dentro dos recipientes. Essa condição de estabilidade foi avaliada em três temperaturas constantes (12, 25 e 32°C) e com duas quantidades diferentes de grãos de café pergaminho seco (50 e 200 grãos). As substâncias higroscópicas avaliadas foram: NaCl, KCl, NaCl+KCl (1:1), KClO₃, MgNO₃, NaH₂PO₄, KOH e H₂S04 em quantidade de 10 g por recipiente. A testemunha foi constituída por recipientes aos que não foi adicionada nenhuma substância higroscópica. Para os ensaios foram utilizados recipientes com capacidade de 1470 cm³ e com presença de um orifício de 30 mm de diâmetro numa das suas laterais. Esse orifício permitiu adaptar o sensor higrométrico digital (Hanna Instruments, HI 8564) para fazer a leitura de umidade dentro do recipiente. Durante o tempo que não se faziam as leituras, o orifício permanecia fechado com uma tampa que garantia uma condição hermética. Em cada avaliação, foi registrada a umidade após meia hora do sensor ser adaptado ao recipiente. Finalmente, a substância selecionada para manter o valor de umidade relativa dentro do recipiente foi KOH. Os recipientes nos quais não foi adicionada a substância higroscópica pura, apresentaram valor da umidade relativa com variações entre 90-100% (condição úmida), e naqueles que continham o KOH, apresentaram valor de umidade relativa com variações entre 70-80% (condição seca).

Recipientes semelhantes aos da avaliação prévia, foram utilizados para monitorar a estabilidade da umidade relativa do ar durante os experimentos com os insetos nas diferentes temperaturas constantes. No entanto, para que os insetos a serem liberados dentro de cada recipiente não entrassem em contato com os 10 g da substância higroscópica colocados na base do mesmo, foram instalados transversalmente e a 2 cm de altura aproximadamente, arames para suportar um tecido que sustentou o sistema grãos-broca-parasitóides.

1.4.1.2. Efeito da temperatura

Para avaliar o efeito da temperatura na taxa líquida de crescimento populacional das quatro espécies de insetos, foram consideradas não só as temperaturas médias em que se encontra a cafeicultura dos diferentes países, e que eventualmente representam os ótimos de desenvolvimento das quatro espécies de insetos. Também foram consideradas temperaturas mínimas e máximas extremas que poderiam ser seus umbrais mínimos e máximos de desenvolvimento. Assim sendo, os recipientes que continham estágios em desenvolvimento das diferentes espécies de insetos, foram colocados de maneira aleatória dentro de câmaras térmicas, a seis temperaturas diferentes e constantes: 12, 16, 20, 24, 28 e 32°C.

Para o registro de variáveis correspondentes a *H. hampei*, foram liberadas cinco indivíduos da broca-do-café por cada dois grãos de café pergaminho sadios e com teor de umidade entre 40-45%. Para o registro de variáveis dos parasitóides *C. stephanoderis* e *P. nasuta* foi liberada uma fêmea para cada grão de café pergaminho infestado por indivíduos da broca-do-café, enquanto que para o caso do *P. coffea* foram liberadas 30 vespas para 200 indivíduos da broca-do-café, já que segundo a literatura uma única fêmea gera mais progênie do que *C. stephanoderis* ou *P. nasuta*.

1.4.2. As amostragens

As unidades amostrais foram constituídas pelos recipientes em cada um dos tratamentos. Em cada caso houve quatro repetições. De cada unidade amostral foram retirados 10 grãos de café pergaminho com frequências diferentes de amostragens em função da temperatura. Em temperaturas baixas o período entre amostragens foi maior que em temperaturas altas. No entanto, para todas as temperaturas foram feitas 16 amostragens. Os grãos retirados foram dissecados para a contagem e registro de cada um dos indivíduos em diferentes estágios biológicos de indivíduos tanto da broca-do-café quanto de seus parasitóides.

Para a avaliação dos diferentes estágios de desenvolvimento (ovo, larva, pupa, adulto) de indivíduos da broca-do-café, assim como de *C. stephanoderis* e *P. nasuta*, foram feitas dissecações tendo em conta a metodologia estabelecida pelo Cenicafé. Isto é, foi aberto o grão de café pergaminho, e com a ajuda de uma lupa estereoscópica foram observados os indivíduos em diferentes estágios de desenvolvimento. Para o caso das dissecações de indivíduos da broca-do-café, parasitados pelo *P. coffea*, cada um destes foi submerso numa gota de água que estava sobre uma lâmina de vidro, a qual descansava sobre um fundo preto. Com a ajuda de pinças foi separado o abdome do mesotórax. O conteúdo de cada secção separada do corpo de cada indivíduo da broca-do-café era esvaziado dentro da gota de água para os diferentes estágios do parasitóide.

Estimativa da taxa líquida de crescimento populacional (r_m)

A taxa líquida de crescimento populacional das quatro espécies em cada um dos tratamentos, foi estimada utilizando a expressão:

$$r_m = \left[\frac{\log R_o}{TG} \right]$$

Onde TG é o tempo que o indivíduo leva para completar uma geração desde o estágio de ovo até adulto, e R_o é a taxa líquida de reprodução, ou seja, o número de novas fêmeas a partir de uma fêmea parental.

1. Estimativa do tempo de uma geração (TG)

O tempo que transcorre desde o desenvolvimento de ovo até a emergência, mais o período de pré-oviposição de um indivíduo é conhecido como o tempo de uma geração (CAREY, 1993). Esse período de tempo foi estimado somando o tempo de pré-oviposição dos parentais com o de desenvolvimento de seus imaturos até atingir o estágio de adulto. O tempo de desenvolvimento de cada estágio dos indivíduos imaturos para cada espécie foi estimado a partir da relação entre o número

de indivíduos obtidos em cada caso com o número de dias após a liberação do indivíduo parental. Para cada caso, os cálculos foram feitos da seguinte maneira (p. ex. larvas): em duas colunas foi registrado o número total de larvas obtidas em função do número de dias transcorridos após serem liberadas as fêmeas parentais. Numa terceira coluna, foi obtido o produto numa mesma linha do número de larvas encontradas pelo número de dias transcorridos após a liberação dos parentais. A somatória total desse produto foi dividida pelo número total de larvas obtidas ao final do experimento, no respectivo tratamento. Este procedimento é uma aproximação ao método de “indivíduos-dia”, sugerido por CAREY (1993) e SOUTHWOOD e HENDERSON (2000) para estimar o tempo médio de desenvolvimento de indivíduos.

2. Estimativa da taxa líquida de reprodução (R_o)

A taxa líquida de reprodução foi obtida dividindo o total de adultos obtidos entre o valor da proporção sexual de cada uma das espécies. As proporções sexuais (número de fêmeas por macho) utilizadas foram obtidas da literatura, sendo que para a broca-do-café foi de nove (BAKER, 1992), para *C. stephanoderis* foi de seis (PORTILLA, 1999) e para *P. nasuta* foi 2,72 (MURPHY e RANGI, 1991). No caso do parasitóide *P. coffea* foi utilizada a proporção de uma fêmea para cada macho (FELDHEGE, 1992).

1.4.3. As análises estatísticas

Considerou-se temperatura como uma variável contínua, a umidade uma variável categórica e a espécie uma co-variável. O efeito da temperatura e da umidade relativa do ar sobre a taxa líquida de crescimento populacional (índice r_m) em cada uma das quatro espécies foi explorado através de análises de covariância. Visando estabelecer diferenças desse índice entre as quatro espécies, foi transformada em linha reta a curva de r_m obtida para cada espécie, utilizando a transformação [$\text{Log}_{10}(r_m + 1)$]. Diferenças estatísticas entre espécies para a variável transformada, foram testadas através da análise de covariância.

1.5. RESULTADOS

As análises de covariância indicaram que a temperatura afeta o valor do índice r_m ($F=5.05_{[1;42]}$; $p=0.0297$) das quatro espécies de insetos, enquanto a umidade não ($F=0.05_{[1;42]}$; $p = 0.824$) (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de covariância da taxa líquida de incremento populacional (r_m) da broca-do-café e três de seus parasitóides, em função da temperatura, da umidade relativa do ar, e da espécie.

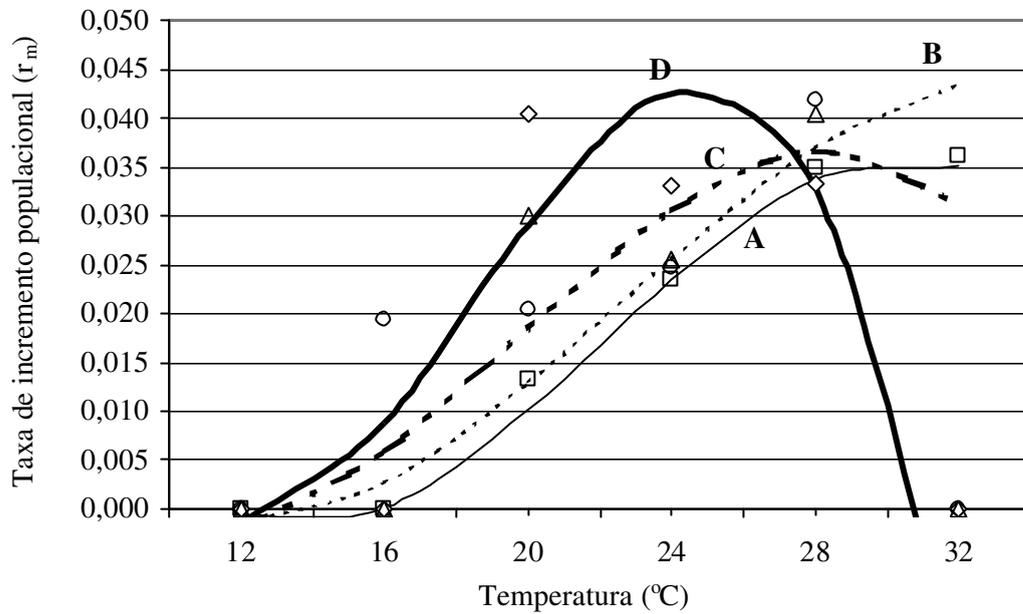
F.V.	G.L.	SQ	QM	F	p
Modelo	5	3.164×10^{-2}	6.328×10^{-4}	2.51	0.0447
Temperatura	1	1.272×10^{-3}	1.272×10^{-3}	5.05	0.0297 **
Umidade	1	1.408×10^{-5}	1.408×10^{-5}	0.05	0.824
Espécie	3	6.26×10^{-4}	6.26×10^{-4}	2.49	0.073
Resíduo	42	1.056×10^{-2}			
Total	47	1.373×10^{-2}			

Como não houve influência da umidade no índice r_m , valores médios dos dados para cada espécie foram representados unicamente em função da temperatura (Figura 1). A partir desses valores médios de cada espécie foram ajustados a um modelo para representar a tendência do padrão do índice r_m . Os modelos que mais se ajustaram aos dados estão representados na mesma Figura 1 com uma linha, e os parâmetros para cada um, bem como os respectivos estatísticos se indicam na Tabela 2.

Tabela 2 Parâmetros e estatísticos do modelo ajustado para descrever a variação da taxa líquida de incremento populacional da broca-do-café e três de seus parasitóides, em função da temperatura.

Espécie	Modelo ($Y = a + bx^{2,5} + ce^x$)			Valor		
	a	b	c	R ²	F	p
<i>C. stephanoderis</i>	-0,0057	$6,72 \times 10^{-6}$	$-1,17 \times 10^{-16}$	0,90	79,40	$6,43 \times 10^{-9}$
<i>P. nasuta</i>	-0,0097	$1,05 \times 10^{-5}$	$-6,49 \times 10^{-16}$	0,51	11,11	0,003
<i>P. coffea</i>	-0,0010	$1,7 \times 10^{-5}$	$-1,12 \times 10^{-15}$	0,70	54,56	$2,12 \times 10^{-9}$
<i>H. hampei</i>	-0,0074	$7,22 \times 10^{-6}$	$-4,35 \times 10^{-16}$	0,44	18,13	$9,18 \times 10^{-5}$

Figura 1. Variação da taxa de incremento populacional da broca-do-café e três de seus parasitóides em função da temperatura. *C. stephanoderis* (observado: símbolo ?; estimado: curva A), *P. nasuta* (○ ; B), *H. hampei* (△ ; C). *P. coffea* (? ; D).



1.6. DISCUSSÃO

Alguns esforços prévios foram feitos por outros pesquisadores para encontrar a condição térmica que permite obter um número maior de novas fêmeas adultas do parasitóide a partir de uma fêmea parental. Porém, esses estudos foram realizados sobre dietas artificiais, envolvendo unicamente as espécies: *H. hampei* e *C. stephanoderis* (INFANTE et al., 1992; PORTILLA, 1999). Os máximos valores do índice r_m obtidos por eles foram superiores aos estimados no presente trabalho em 75% (Tabela 3), provavelmente porque o índice r_m avaliado nesses trabalhos foi obtido a partir de indivíduos que se desenvolviam sobre dieta artificial melhorada. A respeito, já tem sido identificado que diferenças na qualidade e quantidade nutricional gera variações na taxa líquida de incremento populacional de parasitóides. Por exemplo, YU et al., (1990) reportaram que o valor de r_m para

parasitóides da espécie *Encarsia perniciosis*, foi maior quando aos parasitóides eram fornecidos indivíduos de *Aonidiella aurantii* (Homoptera: Diaspididae) em segundo estágio de desenvolvimento, do que quando oferecidos indivíduos menores.

Tabela 3 – Variação da taxa líquida de incremento populacional em função da temperatura para *C. stephanoderis* e *H. hampei*, segundo diferentes autores.

Espécie	Fonte	Condição térmica (°C)						
		17	22	23	25	27	29	32
	Infante& Luis (1993)	-0,018	0,058	-	-	0,104	-	0,145
<i>C. stephanoderis</i>	Portilla (1999)	-	-	0,089	0,092	0,099	0,106	-
	Neste estudo	0,002	0,001	0,011	0,015	0,020	0,024	0,024
	Infante& Luis (1993)	-	-	-	-	-	-	-
<i>H. hampei</i>	Portilla (1999)	-	-	0,048	0,059	0,068	0,078	-
	Neste estudo	0,001	0,009	0,011	0,015	0,020	0,024	-0,001

Os índices de r_m encontrados para os parasitóides *C. stephanoderis* e *P. nasuta*, assim como para a broca-do-café, foram relativamente baixos. Devido a que o índice r_m é uma unidade composta pela capacidade de oviposição da espécie (número de ovos) e pelo tempo necessário para que a espécie complete uma geração, os valores baixos encontrados podem ser explicados, para os parasitóides, pelo número reduzido de ovos que iniciam o ciclo (Figura 2A – 2B), e para a broca-do-café, pelo tempo em que demora em completar-se uma geração (Tabela 4). O índice r_m do parasitóide *P. coffea* é superior ao das outras espécies avaliadas, porque esse parasitóide apresenta uma maior capacidade de oviposição em relação aos outros parasitóides e também em relação à broca-do-café (Fig. 2A – 2B). Ainda o tempo de desenvolvimento de uma geração de *P. coffea* é mais reduzido em relação às espécies avaliadas (Tabela 4).

Tabela 4 - Tempos de desenvolvimento (em dias) desde ovo até adulto, da broca-do-café e três de seus parasitóides, em função de diferentes temperaturas constantes.

Tem	<i>H. hampei</i>			<i>C. stephanoderis</i>			<i>P. nasuta</i>			<i>P. coffea</i>		
	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.	Mín.	Méd.
12°C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16°C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40,0	33,0	36,5	0,0	0,0	0,0
20°C	47,0	47,0	47,0	47,3	43	45,2	42,0	40,0	41,0	47,0	47,0	47,0
24°C	40,2	34,9	37,6	37,0	31,0	34,0	36,3	30,1	33,2	40,3	39,0	39,7
28°C	31,8	30,8	31,3	29,0	25,0	27,0	24,2	20,0	22,1	32,0	18,0	25,0
32°C	0,0	0,0	0,0	23,3	20,9	22,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Essas diferenças geram conseqüências importantes do ponto de vista do controle biológico prático, e do ponto de vista puramente ecológico. Por exemplo, REIS et al. (2000) sugeriram que, entre outros fatores, baixos índices de r_m em inimigos naturais, podem ser uma causa de insucesso de programas de controle biológico. Por outro lado, em parasitóides as taxas de incremento populacional estão relacionadas, entre outros fatores, com as taxas de oviposição, e em conseqüência com as taxas de parasitismo. Neste sentido, HAWKINS (1994), argumenta que inimigos naturais com taxas de parasitismo maiores que 30% têm maiores possibilidades de gerar programas de controle biológico bem sucedidos, enquanto que são reduzidas as mesmas chances para inimigos naturais com taxas de parasitismo menores que essa porcentagem.

Segundo os resultados do presente trabalho, o parasitóide *P. coffea* teria mais possibilidade de gerar um programa de controle biológico bem sucedido, devido a que apresenta taxas de fecundidade e de crescimento populacional superiores à de seus heteroespecíficos. Ao comparar a média do total de ovos produzidos por cada espécie (Figura 2A - 2B), encontra-se que a grande diferença entre os parasitóides betilídeos: *C. stephanoderis* e *P. nasuta*, com *P. coffea* se deve à fecundidade.

Figura 2A - Total de ovos produzidos por *C. stephanoderis* e *P. nasuta* em diferentes temperaturas.

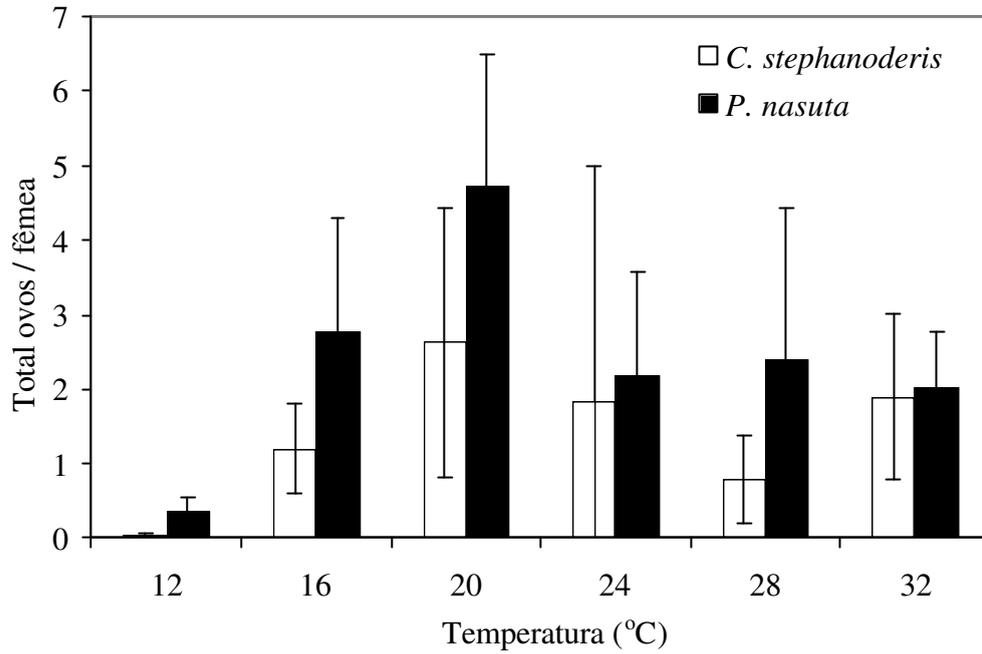
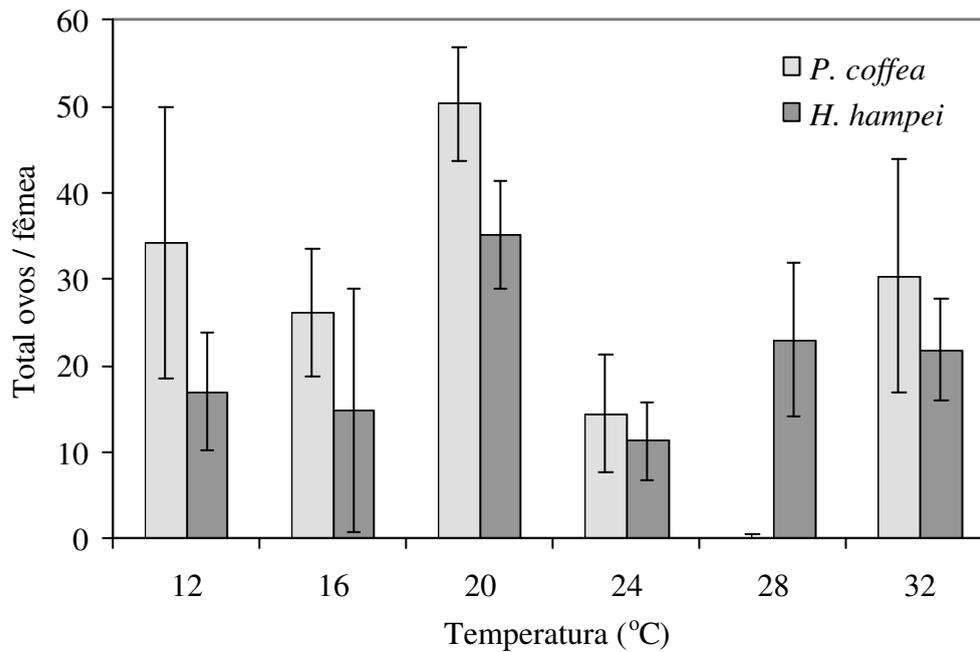


Figura 2B – Produção total de ovos de *P. coffea* e *H. hampei* em diferentes temperaturas.



O máximo número médio de ovos obtido dos betilídeos foi cinco, enquanto que para *P. coffea* foi dez vezes maior. Isto explicaria a superioridade de *P. coffea* em relação com seus heteroespecíficos. Apesar de não se observar diferenças na fecundidade entre *P. coffea* e a broca-do-café, a superioridade desse parasitóide se apresenta no tempo de desenvolvimento completo reduzido, quando comparado com o da broca-do-café. A superioridade de *P. coffea* já foi sugerida por GUTIERREZ et al. (1998) com a ajuda de um modelo de simulação matemática.

Do ponto de vista ecológico, é interessante considerar a persistência da broca-do-café em condições de campo, apesar de apresentar baixos índices de crescimento populacional. A teoria do refúgio argumenta que hospedeiros podem escapar de seus parasitóides, quando se livram parcial ou totalmente do ataque desses inimigos naturais (MURDOCH et al., 1996), ao utilizar refúgios espaciais (HAWKINS, 1992) e/ou temporais (BRIGGS e LATTO, 1996) que favoreçam populações do hospedeiro e desfavoreçam às dos inimigos naturais.

Devido a que o índice r_m para a broca-do-café é estatisticamente igual ou menor que o mesmo índice para seus parasitóides, poderia se considerar que *H. hampei* não utiliza as condições ambientais como mecanismo para se livrar do ataque de seus parasitóides, assim como ocorre no exemplo clássico de FORCE e MESSENGER (1964). Nesse estudo, o áfideo fitófago *Therioaphis maculata* mantém suas populações em locais com condições térmicas desfavoráveis para um de seus três principais parasitóides. Neste caso, pode se considerar ainda que, para se livrar desse ataque, a broca-do-café poderia utilizar outras estratégias (p. ex. capacidade de dispersão).

1.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARISTIZÁBAL., L.F. Efectos del parasitóide *Cephalonomia stephandoeris* (Betrem) (Hymenoptera: Bethyridae) sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera: Scolytidae) en condiciones de campo. Colômbia: Tese Ing. Agr., Univ. Caldas, Fac. Agronomia, 1995, 129p.
- BAKER, P.S. **The coffee berry borer in Colombia.** DFID-Cenicafé-CABI Bioscience. 1999, 148p.
- BAKER, P.S., LEY, C., BALBUENA, R., BARRERA, J.F. Factors affecting the emergence of *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) from coffee berries. **Bulletin of Entomological Research**, London, v.82, p.145-150, 1992.
- BARRERA, J.F., BAKER, P.S., SCHWARZ, A., VALENZUELA, J.E.. Introducción de dos especies de parasitoides africanos a México paara el control biológico de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). **Folia Entomológica Mexicana**, Mexico, v.79, p.245-247, 1990.
- BEGON, M., MORTIMER, M. **Population ecology, a unified study of animals and plants.** London: Oxford Blackwell Scientific Publications, Second edition, 1986, 220p.
- BERGAMIN, J. Contribuição para o conhecimento da biologia da broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Col: Ipidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo v.14, p.31-72, 1943.
- BRIGGS, C.J., LATTO, J. The window of vulnerability and its effect on relative parasitoid abundance. **Ecological Entomology**, v.21, p.128140, 1996.
- BUSTILLO, A.E., OROZCO, J., BENAVIDES, M. PORTILLA, M. Producción masiva y uso de parasitoides para el control de la broca del café en Colombia. **Revista Cenicafé**, Colombia, v.47, p.215-230, 1996.

- CAREY, J.R. **Applied demography for biologist with special emphasis on insects.**
New York: Oxford University Press, 1993, 205p.
- COSTA, T.C.S., VILLACORTA, A. Modelo acumulativo para *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Scolytidae) com base em suas exigências térmicas. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.18, p.91-99, 1989.
- FELDHEGE, M.R. Rearing techniques and aspects of biology of *Phymastichus coffea* (Hymenoptera: Eulophidae), a recently described endoparasitoid of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). **Café-Cacao-The**, v.36, p.45-54, 1992.
- FORCE , D.C., MESSENGER, P.S. Fecundity, reproductive rates, and innate capacity for increase of three parasites of *Terioaphis maculata* (Buchton). **Ecology**, v.45, p.706-715, 1964.
- GUTIERREZ, A.P. **Applied population ecology, a supply-demand approach.**
USA: John Wiley & Sons, 1996. 300p.
- GUTIERREZ, A.P., VILLACORTA, A., CURE, J.R., ELLIS, C.K. A tritrophic analyses of the coffee (*Coffea arabica*) - coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* (Ferrari)) - parasitoid system. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.27, p.357-385, 1998.
- HARRINGTON, R., WOIWOD, I., SPARKS, T. Climate change and trophic interactions. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, v.14, p.146-150, 1999.
- HASTINGS, A.. The lion and the lamb find closure. **Science**, v. 290, p.1712, 2000.
- HAWKINS, B.A. Parasitoid-host food webs and donor control. **Oikos**, v.65,p.159-162, 1992.

- HAWKINS, B.A. **Pattern and process in host-parasitoid interactions**. London: Cambridge University Press, 1994, 190p.
- HAWKINS, B.A., THOMAS, M.B., HOCHBERG, M.E. Refuge theory and biological control. **Science**, v.262, p.1429-1432, 1993.
- HEMPEL, A.A. *Prorops nasuta* Waterston no Brasil. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.5, p.197-212, 1934.
- HOCHBERG, M.E., HOLT, R.D. Refuge evolution and the population-dynamics of coupled host-parasitoid associations. **Evolutionary Ecology**, v.9, p.633-661, 1995.
- INFANTE, F., LUIS, J.H. Estadísticos demográficos de *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethyridae) a temperaturas constantes. **Folia Entomológica Mexicana**, México, v.87, p.61-72, 1993.
- INFANTE, F., LUIS, J.H., BARRERA, J.F., GOMEZ, J., CASTILLO, A. Thermal constants for preimaginal development of the parasitoid *Cephalonomia stephanoderis* Betrem (Hymenoptera: Bethyridae). **Canadian Entomologist**, v.124, p.935-941, 1992.
- La SALLE, J. A new genus and species of Tetrastichinae (Hymenoptera: Eulophidae) parasitic on the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). **Bulletin of Entomological Research**, London, v.80, p.7-10, 1990.
- LÓPEZ-VAAMONDE, C. MOORE, D. Developing methods for testing host specificity of *Phymastichus coffea* La Salle (Hym.: Tetrastichinae), a potential biological control agent of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Col.: Scolytidae) in Colombia. **Biocontrol Science and Technology**, v.8, p.397-411, 1998.

- MURDOCH, W.W., SWARBRICK, S.L., LUCK, R.F., WALDE S., YU, D.S. Refuge dynamics and metapopulation dynamics: an experimental test. **American Naturalist**, v.147, p.424-444, 1996.
- MURPHY, S.T., MOORE, D. Biological control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae): previous programmes and possibilities for the future. **Bicontrol News and Information**, v.11, p.107-117, 1990.
- MURPHY, S.T., RANGI, D.K. The use of the african wasp, *Prorops nasuta* for the control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* in Mexico and Ecuador: the introduction programme. **Insect Science Applications**, v.12, p.27-34, 1991.
- PORTILLA, M. **Mass production of *Cephalonomia stephanoderis* on *Hypothenemus hampei* reared using artificial diet.** London: Ph.D. Tese, Imperial College, 1999, 253p.
- PORTILLA, M., BUSTILLO, A.E. Nuevas investigaciones en la cría masiva de *Hypothenemus hampei* y de sus parasitoides *Cephalonomia stephanoderis* y *Prorops nasuta*. **Revista Colombiana de Entomología**, v.21, p.25-33, 1995.
- QUICKE, D.L.J. **Parasitic wasps.** London: Chapman & Hall, First edition, 1997, 470p.
- REIS Jr., R., DeSOUZA O., VILELA, E.F. Predators impairing the natural biological control of parasitoids. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.29, p.507-514, 2000.
- STILING, P. Why do natural enemies fail in classical biological control programs? **American Entomologist**, v., p.31-37, 1993.
- SOUTHWOOD, T.R.E., HENDERSON, P.A. **Ecological methods.** London: Blackwell Science, Third edition, 2000, 575p.

- TILMAN, D., PACALA, S. The maintenance of species, richness in plant communities. In: RICKLEFS, R.E., SCHLUTER, D. **Species diversity in ecological communities, historical and geographical perspectives**. Chicago: The University of Chicago Press, 1993, p.13-25.
- TOLEDO, A.A. Notas sobre a biologia da vespa de Uganda "*Prorops nasuta* Waterst", (Hym. Bethyl.) no estado de S. Paulo-Brasil. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.13, p.233-260, 1942.
- TOLEDO-PIZA. JR., De FONSECA, S.J. *Heteospillus coffeicola* Schmied parasita da "Broca do Café", *Stephanoderis hampei* (Ferr). **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v.6, p.179-199, 1935.
- VERGARA, J.D. **Biología y comportamiento de *Phymastichus coffea* La Salle, (Hymenoptera: Eulophidae), parasitóide de la broca del café en condiciones de campo**. Colômbia: Tese Ing. Agr. Univ. Nac. Colombia, Medellín, 1998.
- VILLACORTA, A., BARRERA, J.F. Techniques for mass rearing of the parasitoid *Cephalonomia stephanoderis* (Hymenoptera: Bethylidae) on *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) using artificial diet. **Vedalia**, v.3, p.45-48, 1996.
- WALDE, S.J. Immigration and the dynamics of a predator-prey interaction in a biological control. **Journal of Animal Ecology**, v.63, p.337-346, 1994.
- WATKINSON, A.R., SUTHERLAND, W.J. Source, sinks and pseudo-sinks. **Journal of Animal Ecology**, v.64, p.126-130, 1995.
- WEISSER, W.W., VÖLKL, W., HASSELL, M.P. The importance of adverse weather conditions for behaviour and population ecology of an aphid parasitoid. **Journal of Animal Ecology**, v.66, p.386-400, 1997.

YU, D.S., LUCK, R.F. MURDOCH, W.W. Competition, resource and coexistence of an endoparasitoid *Encarsia perniciosi* and an ectoparasitoid *Aphytis melinus* of the California red scale. **Ecological Entomology**, v.15, p.469-480, 1990.

2. TAXAS DE PARASITISMO E DURAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE *Phymastichus coffea* (La SALLE) (HYMENOPTERA, EULOPHIDAE), ENDOPARASITÓIDE DA BROCA-DO-CAFÉ, EM TRÊS ALTITUDES DIFERENTES DA ÁREA PRODUTORA DE CAFÉ DA COLÔMBIA.

2.1. ABSTRACT

Biological characteristics of the adult parasitoid of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera, Scolytidae), namely *Phymastichus coffea* (La Salle) (Hymenoptera, Eulophidae), make it likely to play a key role in a biological control program of the pest; nevertheless, information regarding colonization in the field, for different climatic conditions, is still lacking. This work compared percentage parasitism and life cycle duration obtained at three different coffee areas, located at altitudes of 1200, 1400, and 1800 meters above sea level. Branches with 30 berries was artificially infested with the liberation of adult individuals of the coffee berry borer. The branches were protected under cover for new infestation for out borers. Protection was maintained for one more day for the liberation of individuals of *P. coffea*. Initial parasitism was 96% at 1800 m. 67% at 1400 m. and 62% at 1200 m. ($F = 7.24_{[2;67]}$; $p = 0.0014$). The life cycle was 49 days at 1400 m and 68 days at 1800 m. No adults emerged at 1200 m, but pupae were found after 33 days from parasitation. In all cases the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* was presently expontaneously but their effect on coffee berry borer adults previously parasited was quantified. Total effec of the control, summing up the effects of the parasitoid and the fungus were 95.53% at 1800 m, 89.62% at 1600 m. and 83.86% at 1200 m.

2.2. RESUMO

As características biológicas do endoparasitóide de adultos da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleptera, Scolytidae), *Phymastichus coffea* (La Salle) (Hymenoptera, Eulophidae), permitem considerar que este parasitóide tem um papel importante em programas de controle biológico da praga. Porém, são reduzidas as informações relativas ao potencial deste parasitóide em condições de campo. Pelo anterior, o objetivo do presente trabalho consistiu em avaliar em condições semicontroladas de campo, a duração do ciclo de vida e as taxas de parasitismo de *P. coffea* em cafezais com diferentes altitudes (1200, 1400 e 1800 metros de altitude). Para isto, foi selecionado um ramo por pé de café, que possui-se 30 frutos de café sadios. O ramo que suportava os frutos foi protegido por 24 horas com uma gaiola entomológica de tecido fino para induzir a infestação artificial com adultos da broca-do-café. A gaiola foi mantida por mais um dia para induzir a parasitação artificial com adultos recém emergidos de *P. coffea*. Os níveis de parasitismo iniciais foram: 96% a 1800 metros de altitude, 67% a 1400 metros e 62% a 1200 metros, e a diminuição esteve relacionada com a altitude do cafezal ($F= 7.24_{[2;67]}$; $p = 0.0014$). O ciclo de vida foi de 69 dias a 1800 metros de altitude e de 49 dias a 1400 m. A 1200 metros não se observaram emergências de novos adultos, sendo que apenas se obtiveram pupas bem formadas aos 33 dias após de parasitação. Em todas as localidades se apresentaram infecções pelo fungo entomopatogênico *B. bassiana* sobre adultos da broca-do-café previamente parasitados. Apesar que essas infecções afetaram as taxas de parasitismo de *P. coffea*, o efeito somatório de parasitismo por *P. coffea* e de infecção por *B. bassiana*, foi de 95.53% a 1800, 89.62% a 1400 m., e, 83.86% a 1200m.

2.3. INTRODUÇÃO

Na tentativa de controlar a broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera, Scolytidae) com agentes de controle biológico, têm se empregado fungos entomopatogênicos (BUSTILLO et al., 1999) e os microhimenópteros *Cephalonomia stephanoderis* e *Prorops nasuta* (OROZCO e ARISTIZÁBAL, 1998), ambas espécies pertencentes à família Bethyridae. No entanto, o grau de sucesso atingido com esses agentes de controle ainda não é considerado satisfatório (BAKER, 1999).

Atualmente, o endoparasitóide *Phymastichus coffea* (La Salle) (Hymenoptera, Eulophidae) está sendo considerado como o inimigo natural com maior potencial para controlar as populações da broca-do-café (GUTIERREZ et al., 1998; GUTIERREZ, 1999; BAKER, 1999; CANTOR et al., 2001). Introduções desse endoparasitóide estão sendo planejadas e executadas por países de importância cafeeira no contexto mundial (LÓPEZ-VAAMONDE e MOORE, 1998; CANTOR et al., 2001). Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a possibilidade de estabelecimento de *P. coffea* em condições de campo, da zona cafeeira colombiana. Para isso, foram estimadas as taxas de parasitismo, em três municípios distintos com altitudes diferentes entre si. Esses estudos são importantes para o Brasil, já que fornecem ferramentas importantes para analisar o potencial dos parasitóides que estão sendo utilizados atualmente para o controle biológico da broca-do-café, bem como avaliar, antes de considerar sua introdução, o potencial do parasitóide *P. coffea* nas condições da cafcultura brasileira.

2.4. MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1. Seleção dos locais para o experimento

As localidades selecionadas para os experimentos estão localizadas em três municípios diferentes da zona cafeeira da Colômbia, assim como indicado na Tabela 1.

Tabela 1 – Identificação dos locais de liberação de *Phymastichus coffea* (La Salle) (Hymenoptera, Eulophidae) dentro de mangas entomológicas.

Altitude do local (metros)	Temperatura média (°C)	Município	Estado da Colômbia
1200	20.27	Viterbo	Caldas
1400	21.54	Quimbaya	Quindío
1800	19.38	Santa Rosa	Risaralda

O principal critério para a seleção de cada uma das localidades (parcela experimental) foi o da altitude (tratamento), tentando garantir temperaturas médias diferentes. Os ensaios foram instalados e executados entre os meses de março e julho de 2000.

Em cada localidade foram selecionadas 48 pés de café representativas do lote variedade *Coffea arábica*, com ramos e frutos. Foram selecionados ramos que possuíam pelo menos 30 frutos de café não infestados pela broca-do-café e com 150 dias de idade fisiológica. Frutos infestados naturalmente foram retirados. Uma vez selecionados os ramos foram instaladas neles, gaiolas entomológicas de campo com suportes de arame de 20 cm de diâmetro e 70 cm de comprimento. Essas gaiolas foram cobertas com um tecido fino do mesmo diâmetro que a estrutura metálica, e 90 cm de comprimento, com orifícios que impediam a passagem das vespas de *P. coffea*.

2.4.2. Infestações e parasitações induzidas

No interior de cada gaiola entomológica foram liberados cinco indivíduos da broca-do-café por fruto, como recomendado por VERGARA (1998) e ECHEVERRY (1999) para a realização de trabalhos em campo com *P. coffea*. Aproximadamente doze horas depois da infestação, foram liberados indivíduos de *P. coffea* em proporção de uma vespa por indivíduo da broca-do-café, já que ECHEVERRY (1999) encontrou que os melhores resultados de parasitismo e de número de estágios

biológicos do parasitóide foram alcançados com essa proporção. Vinte e quatro horas depois da liberação do parasitóide, foram selecionadas semanalmente seis dos pés de café marcados por cada lote, durante oito semanas consecutivas. Para as amostragens de cada pé de café, esses foram numerados e, por sorteio elaborou-se um cronograma com a data em que cada um seria amostrado. Da árvore selecionada, foram coletados os 30 frutos que estiveram dentro da gaiola entomológica, submetidos à infestação induzida. Cada um dos 30 frutos foi retirado e guardado em recipientes individuais e devidamente rotulados. Posteriormente, os recipientes com as respectivas amostras foram enviados para os laboratórios de Entomologia do CENICAFE, onde foram feitas as dissecações dos frutos e de indivíduos da broca-do-café, para a avaliação e registro da presença/ausência de imaturos do parasitóide, ou, hifas do fungo entomopatogênico que se encontrava naturalmente no campo. Para as dissecações, os indivíduos da broca-do-café foram colocadas sobre uma lâmina de vidro sobre um fundo preto, e submersas numa gota de água. Com a ajuda de pinças foi separado o abdome do mesotórax.

2.4.3. As análises estatísticas

Para avaliar o efeito da altitude, foram testadas as taxas de parasitismo por *P. coffea* através de análise de variância. Ainda, foi feita uma análise de variância para testar se diferenças entre as taxas de parasitismo também eram explicadas pela incremento no grau de infecção de *B. bassiana*, devido a que se encontrou infecção natural do fungo em indivíduos da broca-do-café previamente parasitados.

2.5. RESULTADOS

A análise de variância demonstrou que existem diferenças entre o grau de parasitismo por *P. coffea* ($F = 7.24_{[2;67]}$; $p = 0.0014$) entre as localidades devido ao efeito da altitude. Ainda, como em cada uma das localidades do experimento se apresentou e quantificou desde o começo, o grau de infecção natural do fungo entomopatogênico *B. bassiana*, foi analisado o efeito dessa infecção sobre indivíduos

da broca-do-café previamente parasitados pelo *P. coffea* (Tabela 2). A análise indica que o fungo afeta o grau de parasitismo de cada localidade ($F = 202.83_{[1;67]}$; $p = 6.014 \times 10^{-22}$).

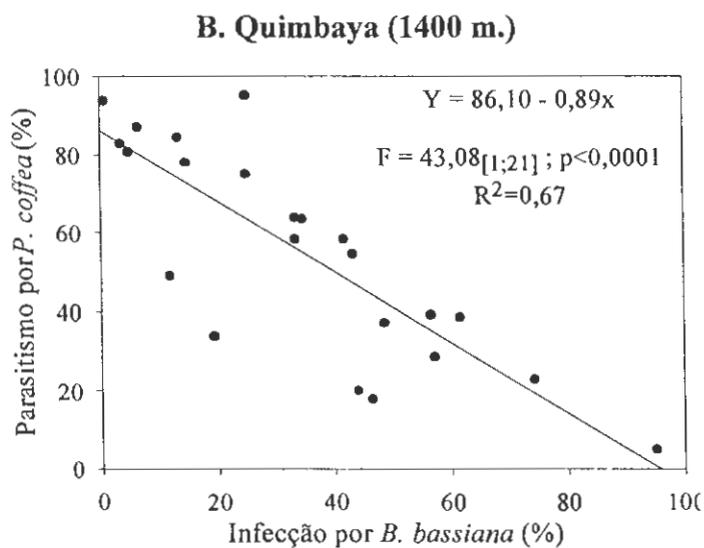
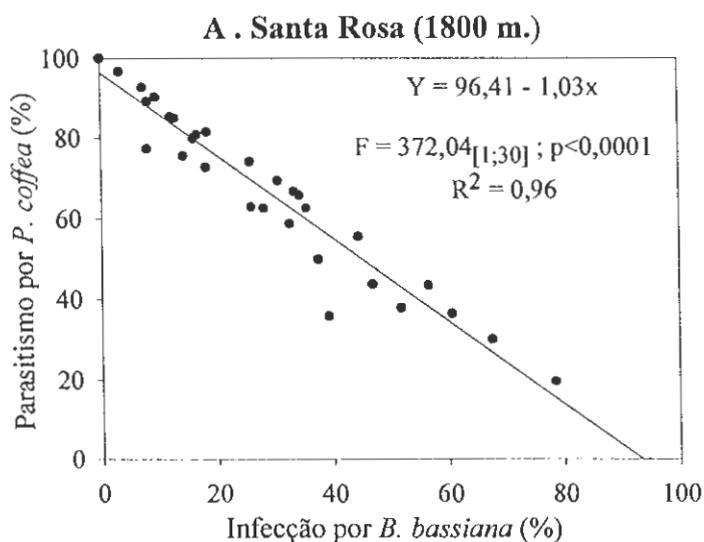
Tabela 2. Análise de variância para a variação da taxa de parasitismo de *Phymastichus coffea* em função da taxa de infecção do fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana*, em três localidades com altitude diferente na Colômbia.

Fonte de Variação	G.L.	SQT	SQM	F	p
Altitude	2	2102	1051	7.24	0.0014
Fungo	1	29431	29431	202.83	6.014×10^{-22}
Localidad vs. Fungo	2	247.7	123.85	0.85	0.432
Resíduos	67	9720.5	145.1		
Total	72	41501			

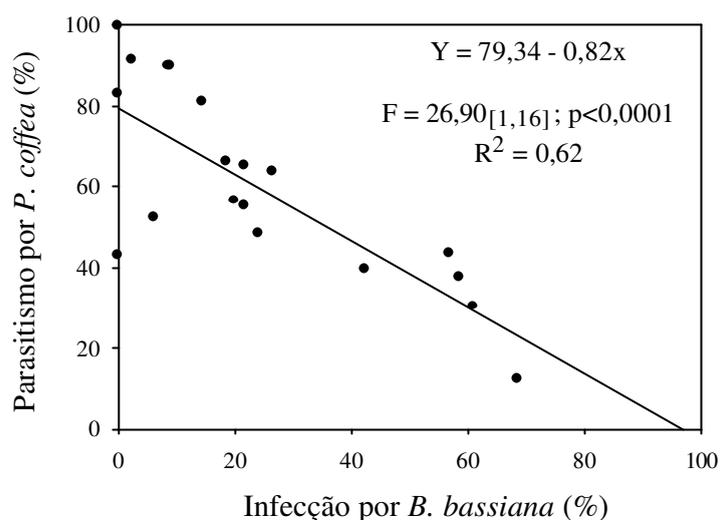
Os graus de parasitismo e de infecção para a localidade de 1800 m. foram significativamente diferentes aos graus de parasitismo e de infecção para as localidades de 1400 m. e 1200 m, e, ainda, não foram encontradas diferenças nesses índices entre as duas últimas localidades.

Em ausência de *B. bassiana* (infecção 0%), o índice de parasitismo inicial de *P. coffea* sobre adultos da broca-do-café, foi maior na localidade mais alta e menor nas localidades mais baixas (Figura 1). Em cada localidade, esse índice de parasitismo diminuiu com o incremento no grau de infecção do fungo *B. bassiana* ($F = 202,83_{[1;67]}$; $p = 6,014 \times 10^{-22}$) (Tabela 2).

Figura 1 – Variação da taxa de parasitismo de *Phymastichus coffea* em função da taxa de infecção pelo fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana*, em três lavouras localizadas a tres altitudes diferentes: 1800 m (Figura 1A) , 1400 m (Figura 1B) e 1200 m (Figura 1C).

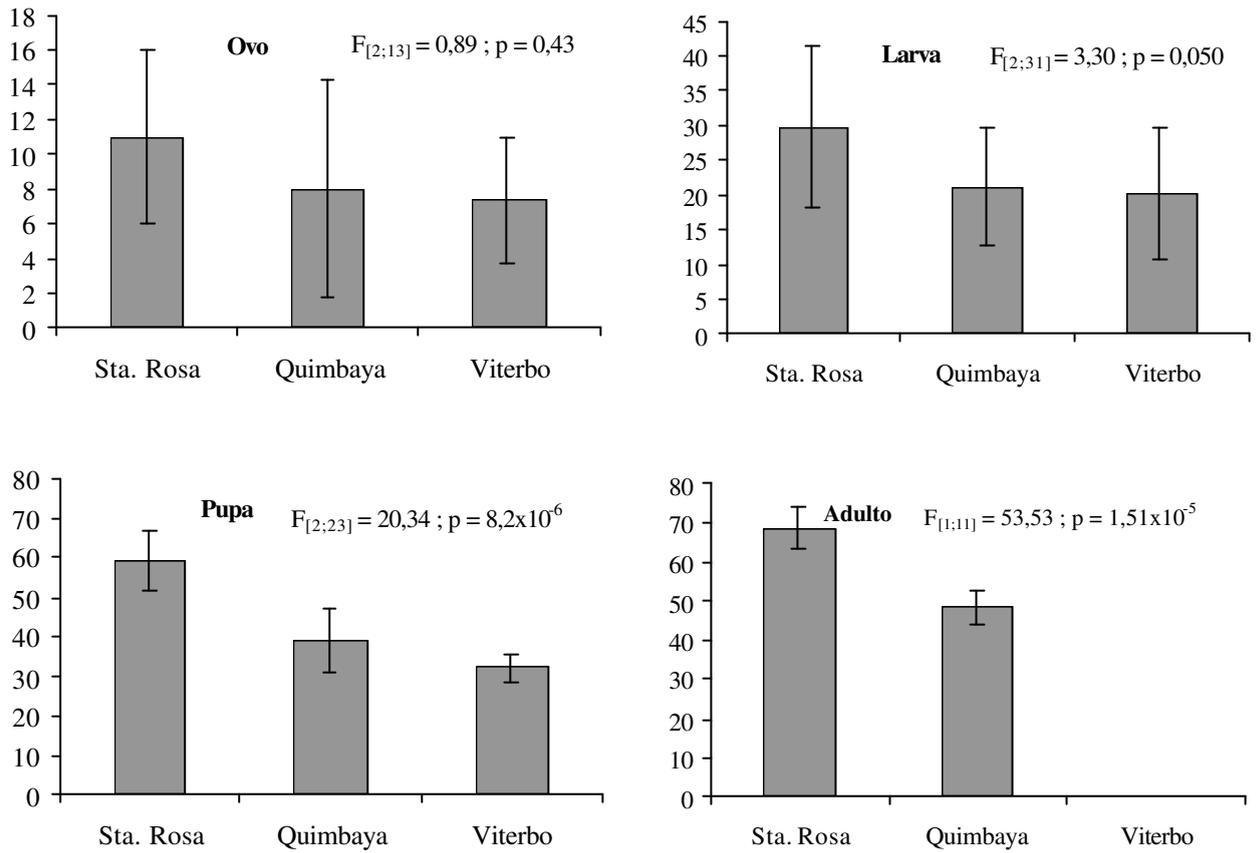


C. Viterbo (1200 m.)



A partir de indivíduos de *P. coffea* não infectados pelo fungo entomopatogênico, foi possível determinar o tempo médio necessário para completar cada um dos estágios de desenvolvimento (Figura 2). Não se encontraram diferenças significativas nos tempos necessários para se obter a eclosão de larvas e a formação completa de larvas. No entanto, houve diferenças significativas nos tempos necessários para se obter pupas e a emergência de adultos na localidade de 1800 m., quando comparada com os tempos registrados para 1400 m. e 1200 m. Não se registraram emergências de adultos do parasitóide na localidade de Viterbo, mas pupas do parasitóide bem desenvolvidas. Contudo, não existem diferenças significativas entre os tempos necessários para se completar o estágio de pupa, e aparentemente de adulto, nas localidades de 1400 m. e 1200m. (Figura 2).

Figura 2 – Variação do tempo (em dias) de desenvolvimento dos estágios de *P. coffea*, em três localidades da zona cafeeira colombiana. Os valores de “F” e “p”, correspondem ao resultado de uma análise de variância, e indicam que não existem diferenças estatísticas nos valores médios registrados nas três localidades, durante o período do experimento.



2.6. DISCUSSÃO

Estudos com tabelas de vida tem demonstrado que os fungos entomopatogênicos não são os principais agentes de mortalidade de insetos fitófagos quando comparados com predadores e parasitóides com agentes de mortalidade (HAWKINS et al., 1997). No entanto, a presença de fungos entomopatogênicos tem sido indicada por alguns autores como um fator que reduz a capacidade de ação de parasitóides. POWELL et al., (1986) denominaram como interferência a interação antagônica entre o fungo entomopatogênico *Erynia neoahidis* (Entomophthorales) e imaturos em desenvolvimento do parasitóide *Aphidius rhopalosiphi* (Hym., Aphididae). Esses autores demonstraram, através de cortes histológicos, que a interferência surgia quando hifas do fungo entomopatogênico indisponibilizavam a cavidade celômica do hospedeiro que era utilizado pelo parasitóide imaturo em desenvolvimento. O fenômeno de interferência entre dois organismos ocorre quando um deles leva vantagem ao impedir que outro utilize um recurso que já está sendo aproveitado (BEGON et al., 1999). Esse fenômeno já tem sido considerado como um tipo de competição entre organismos (MILLINSKI e PARKER, 1991; GLIESSMAN, 2000), que gera, em consequência, diminuições nas taxas de sobrevivência, crescimento ou fecundidade de pelo menos um dos indivíduos envolvidos (BEGON e MORTIMER, 1986).

Neste estudo, o incremento de adultos da broca-do-café contaminados pelo fungo *B. bassiana* e a diminuição de adultos da broca-do-café parasitados por *P. coffea*, é considerado como uma evidência de competição entre esses dois inimigos naturais, por indivíduos adultos da broca-do-café (Figura 1). Assim como indicado por POWELL et al. (1986) para a relação antagônica por eles estudada, o tipo de competição encontrada entre o fungo *B. bassiana* e o parasitóide *P. coffea*, também pode ser considerada como de interferência.

Ao parecer, a diminuição nas taxas de parasitismo de *P. coffea* é provocada porque o fungo invade a cavidade hemocélica da broca-do-café, impedindo que seja utilizada por imaturos do parasitóide para seu desenvolvimento. Esse espaço é utilizado por *B. bassiana* como meio para se alimentar e multiplicar, enquanto que *P.*

coffea o utiliza para se alimentar e desenvolver. Apesar da relação inversa que se encontrou entre as taxas de parasitismo de *P. coffea* e de infecção por *B. bassiana*, o efeito conjunto desses dois inimigos sobre indivíduos da broca-do-café, é maior que o efeito médio individual de cada um deles (Tabela 3).

Tabela 3 - Valor médio da porcentagem de parasitismo de *Phymastichus coffea* (La Salle) (Hymenoptera, Eulophidae) e de infecção pelo fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana*, em três altitudes diferentes da Colômbia.

Localidade (metros)	Porcentagem de Parasitismo (± Desvio Padrão)	Porcentagem de Infecção (± Desvio Padrão)	Parasitismo + Infecção
Santa Rosa (1800)	67.18 (± 21.47)	28.35 (± 20.02)	95.53
Quimbaya (1400)	55.08 (± 26.71)	34.54 (± 24.38)	89.62
Viterbo (1200)	58.85 (± 23.5)	25.01 (± 22.73)	83.86

Em termos de controle biológico, as taxas médias de parasitismo atingidas por *P. coffea*, poderiam gerar situações favoráveis para o estabelecimento de um programa de controle da broca-do-café com liberações de *P. coffea*. Isto porque, após analisar o histórico de quase cem anos dos programas de controle biológico no mundo, foi sugerido por HAWKINS (1994) e HAWKINS e CORNELL (1994, 1999), que a utilização de parasitóides com taxas de parasitismo superiores ao 30% geram programas de controle biológico parcial ou bem sucedidos. No entanto, deve ser considerado que as taxas de parasitismo obtidas neste trabalho, foram o resultado de parasitismos dentro de mangas entomológicas. Esses índices poderiam diminuir, se liberados os parasitóides fora de mangas entomológicas. Mesmo assim, o valor médio da somatória das ações conjuntas de *P. coffea* e de *B. bassiana* pode ser superior ao valor médio da ação individual de cada um desses inimigos naturais quando atuam juntos (Tabela 3).

2.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAKER, P.S.. **The coffee berry borer in Colombia.** DFID-Cenicafé-CABI Bioscience, Colômbia, 1991, 148p.
- BEGON, M., MORTIMER, M. **Population ecology, a unified study of animals and plants.** London: Blackwell Scientific Publications, Second Edition, 1986, 220p.
- BEGON, M., SAIT, S.M., THOMPSON, D.J. Host-pathogen-parasitoid systems. In: HAWKINS, B.A., CORNELL, H.V. (EDS.). **Theoretical approaches to biological control.** London: Cambridge University Press, First edition, 1999, p. 327-348.
- BUSTILLO, A.E., BERNAL, M.G., BENAVIDES, P., CHAVES, B. 1999. Dynamics of *Beauveria bassiana* and *Metharizium anisopliae* infecting *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) populations emerging from fallen coffee berries. **Florida Entomologist**, USA, v.82, p.491-498.
- CANTOR, F., BENASSI, V.L.R.M., FANTON, C.J. A broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). In: VILELA, E.F., ZUCCHI R.A., CANTOR F. **Histórico das pragas introduzidas no Brasil.** Ribeirão Preto: Editora Holos, 2001, p. 99-105.
- ECHEVERRY, O.A. **Determinación del impacto de *Phymastichus coffea* La Salle (Hymenoptera: Eulophidae) sobre poblaciones de broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae), en la zona cafetera.** Colômbia: Fac. Agronomía, Univ. Nacional, Palmira, Tese Ing. Agr., 1999, 94p.

- FURLONG, M.J., PELL, J.K. Interactions between the fungal entomopathogen *Zoophthora radicans* Brefeld (Entomophthorales) and two hymenopteran parasitoids attacking the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. **Journal of Invertebrate Pathology**, v.68, p.15-21, 1996.
- GLIESSMAN, S.R. **Processos ecológicos em agricultura sustentável**. Brasil (Tradução): Editora da UFRGS, 2000, 643p.
- GUTIERREZ, A.P., VILLACORTA, A., CURE, J.R., ELLIS, C.K. A tritrophic analyses of the coffee (*Coffea arabica*) - coffee berry borer (*Hypothenemus hampei* (Ferrari)) - parasitoid system. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.27, p.357-385, 1998.
- GUTIERREZ, A.P. Modeling tritrophic field populations. In: HUFFAKER, C.B.; GUTIERREZ, A.P. (Eds.). **Ecological entomology**. USA: John Wiley and Sons, 1999, p.647-679.
- HAWKINS, B.A. **Pattern and process in host-parasitoid interactions**. London: Cambridge University Press, 1994, 190p.
- HAWKINS, B.A., CORNELL H.V. (Eds.). **Theoretical approaches to biological control**. UK: Cambridge University Press, 1999. 412p.
- HAWKINS, B.A., CORNELL, H.V., HOCHBERG, M.E. Predators, parasitoids and pathogens as mortality agents in phytophagous insect populations. **Ecology**, v.78, p.2145-2152, 1997.
- LOPEZ-VAAMONDE, C., MOORE, D. Developing methods for testing host specificity of *Phymastichus coffea* La Salle (Hym.: Tetrastichinae), a potential biological control agent of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Col.: Scolytidae) in Colombia. **Biocontrol Science and Technology**, v.8, p.397-411, 1998.

- MILLINSKI, M., PARKER, G.A. Competition for resources. In: KREBS, J.R., DAVIES, N.B. (Eds.). **Behavioural ecology, an evolutionary approach**. London: Blackwell scientific publications, Third Edition, 1991, p.137-168.
- OROZCO H.J., ARISTIZÁBAL, L.F. Uso de parasitoides de origen africano para el control de la broca del café en Colombia. Colômbia: **Avances Técnicos de Cenicafé**, No.223, 1998, 8p.
- POWELL, W., WILDING, N., BROBYN, P.J., CLARK, S.J. Interference between parasitoids [Hym.: Aphididae] and fungi [Entomophthorales] attacking cereal aphids. **Entomophaga**, v.31, p.293-302, 1986.
- QUICKE, D.L.J. **Parasitic wasps**. London: Chapman & Hall, First edition, 1997, 470p.
- REIS Jr., R., DeSOUZA, O., VILELA, E.F. Predators impairing the natural biological control of parasitoids. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.29, p.507-514, 2000.
- ROSENHEIM, J.A. Higher-order predators and the regulation of insect herbivore populations. **Annual Review of Entomology**, v.43, p.421-427, 1998.
- VERGARA, J.D. **Biología y comportamiento de *Phymastichus coffea* La Salle (Hymenoptera: Eulophidae) parasitoide de la broca del café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) en condiciones de campo**. Colômbia: Universidad Nacional, Medellín, Tese Ing. Agr., 1998, 66 p.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

3.1. BASES TEÓRICAS PARA ANALISAR O SUCESSO/INSUCESSO TÉCNICO DE PARASITÓIDES, EM PROGRAMAS DE CONTROLE BIOLÓGICO.

O controle biológico de pragas tem sido reconhecido mais efetivo com o uso de parasitóides que com predadores ou patógenos (GREATHEAD, 1986; HAWKINS et al., 1997). Entretanto, a análise dos dados de introduções de parasitóides utilizados em programas de controle biológico compiladas desde 1888 até 1992, pelo IIBC de Londres, demonstrou que 30% dos parasitóides introduzidos se estabeleceram (GREATHEAD, 1995; van LENTEREN, 1995; HAWKINS, 1992; HAWKINS e CORNELL, 1999), sendo que apenas 30 a 36% desses estabelecimentos (aprox. 9 a 12% do total) geraram programas de controle biológico parcial ou completamente bem sucedidos (CLARKE e WALTER, 1995). Perante os fatos, cabe perguntar-se: **Por que programas de controle biológico com parasitóides nem sempre resultam em sucesso?**

Para tentar responder à esta pergunta, especialistas têm abordado o tema desde diversas aproximações nas áreas de Ecologia e Controle Biológico. No passado foi argumentado que o sucesso de programas de Controle Biológico poderia conseguir-se utilizando inimigos naturais que possuam uma série de características consideradas desejáveis. Com base nisto, surgiram trabalhos listando as características desejáveis de um inimigo natural com potencial para programas de controle biológico (EHLER, 1990; STILING, 1990; De BACH e ROSEN, 1991). No entanto, mais recentemente tem sido evidenciado que apesar dos inimigos naturais apresentarem atributos desejáveis, existem fatores que podem minimizar sua ação em programas de controle biológico (REIS et al., 2000).

Contudo, as causas que levam ao insucesso de programas de controle biológico com parasitóides, podem se apresentar em duas grandes categorias, i) estão sendo utilizados parasitóides cujo potencial de ação sempre é reduzido, razão pela qual não geram um programa de controle biológico bem sucedido e, ii) o parasitóides

utilizados apresentam alto potencial de ação, porém, esse potencial é minimizado na presença de diversos fatores.

3.1.1. HIPÓTESE 1: O potencial de ação dos parasitóides não permite gerar um programa de controle biológico bem sucedido

Ao contrário dos predadores, os parasitóides têm sido reconhecidos como organismos especialistas por manter uma estreita relação histórica com seu hospedeiro. Nessa relação o parasitóide reduz a habilidade do hospedeiro, e atua como fator de seleção promovendo mudanças evolutivas na população do hospedeiro BOULETREAU (1995). Portanto, espera-se que essas mudanças promovam mecanismos de defesa do hospedeiro contra o inimigo natural. Embora a resistência de pragas a inimigos naturais seja mais conhecida com microorganismos como vírus, bactérias, fungos e protozoários (JERVIS, 1997), esta também tem sido registrada para parasitóides (HUGHES e SOKOLOWSKI, 1996). A perda do potencial regulador também pode ser contornado através de processos evolutivos promovidos pelo hospedeiro no parasitóide (CARTON e NAPPI, 1991). No entanto, enquanto os mecanismos de defesa do hospedeiro não sejam superados pelos parasitóides, pode-se considerar que esta seja uma das causas que explicariam o baixo potencial de ação dos parasitóides.

Uma forma de estimar o potencial de ação dos inimigos naturais sobre fitófagos consiste em testar cada uma de suas características intrínsecas. EHLER (1990) argumenta que existe uma longa lista de trabalhos tentando identificar os principais atributos de um inimigo natural eficiente, os quais podem ser agrupados em três categorias: i) alta capacidade de procura (capacidade de orientação a estímulos, altas taxas de resposta funcional, capacidade de dispersão), ii) alta capacidade de ataque (altas taxas de parasitismo e/ou de predação, o que seria equivalente a altas taxas de resposta numérica) e iii) alta habilidade competitiva (valores baixos de compensação metabólica).

Geralmente, altos valores nas respostas funcional (capacidade de procura) e numérica (capacidade de ataque), estão associados a parasitóides (especialistas) e não

a predadores (generalistas). No entanto, embora seja reconhecido que a ação dos parasitóides é mais específica que a de insetos predadores ou patógenos (HAWKINS et al., 1997), entre os parasitóides também existem organismos com características de generalistas (QUICKE, 1997). Contudo, pode-se argumentar que parasitóides com características de generalistas seriam menos eficientes que os especialistas, para regular as populações de fitófagos, quando utilizados em programas de controle biológico.

3.1.2. HIPÓTESE 2: O potencial de ação dos parasitóides depende de diversos fatores ou processos para gerar um programa de controle biológico bem sucedido.

3.1.2.1. HIPÓTESE 2A: O potencial de ação de inimigos naturais é reduzido por processos que atuam verticalmente ao nível trófico a que pertencem.

Segundo POLIS e STRONG (1996), é comum encontrar em sistemas naturais que níveis tróficos inferiores regulem o tamanho das populações de níveis tróficos superiores. Portanto, assim como a qualidade e quantidade (distribuição e abundância) do recurso “planta” limita o crescimento de fitófagos, a qualidade e quantidade de fitófagos hospedeiros podem regular o tamanho das populações de seus parasitóides. Esse fenômeno também é conhecido como efeito “*bottom-up*”.

A quantidade de fitófagos susceptíveis ao ataque de inimigos naturais, pode ser reduzida quando fitófagos se distribuem em locais de proteção denominados refúgios. De fato, HAWKINS (1992) defende que na maioria dos programas de controle biológico registrados, a perda do potencial de ação dos parasitóides pode ser explicada porque seus hospedeiros ocupam como refúgios, estruturas das plantas (folhas, galhas, interior de caules, etc.) para se protegerem do ataque de parasitóides. No tocante à distribuição espacial, a heterogeneidade também tem sido utilizada para explicar a perda do potencial de ação dos parasitóides, argumentando-se que gera locais inexplorados pelos parasitóides, mas, aproveitados pelos fitófagos.

Um dos conceitos tradicionais na ecologia argumenta que os processos de regulação de populações, presentes em níveis tróficos inferiores, ocorrem desde níveis tróficos superiores (efeito *top-down*). Isto é, parasitóides eficientes podem exercer pressão suficiente sobre populações de fitófagos, até reduzi-las a níveis mais baixos que aquelas em ausência dos parasitóides. No entanto, tem sido demonstrado que fatores dependentes da densidade (interferência por predação, hiper-parasitismo ou patogenicidade) e independentes da densidade (temperatura, umidade relativa, pluviosidade, etc.) podem reduzir o potencial de ação de inimigos naturais e favorecer as populações das pragas.

3.1.2.2. HIPÓTESE 2B: O potencial de ação de inimigos naturais é reduzido por processos que atuam lateralmente ao nível trófico a que pertencem.

Quando os fitófagos utilizam os refúgios como escape, o nível populacional da praga se reduz para a ação de parasitóides. Essa situação pode gerar diminuição na taxa de ataque de parasitóides devido ao fenômeno de pseudo-interferência, já que o número de parasitóides por fitófago encontrado é alto. Isto é, aumento no número de encontros entre parasitóides, e portanto, redução no tempo utilizado na localização e seleção de um maior número de hospedeiros por unidade de tempo (KIDD e JERVIS, 1996).

A redução do número de hospedeiros por unidade de área onde se encontram altas populações do parasitóide pode gerar o fenômeno de competição que pode ser intra-específica, caso sejam liberados vários organismos de uma única espécie, ou pode ser inter-específica caso sejam liberados vários organismos de mais de uma espécie (BEGON e MORTIMER, 1986). Em qualquer dos casos, a competição pode ocorrer pelo recurso alimentar (ectoparasitóides) e/ou para oviposição. Em consequência dessa competição os parasitóides podem apresentar baixos índices populacionais.

3.2. ANÁLISE DO CONTROLE BIOLÓGICO DA BROCA-DO-CAFÉ, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (COLEOPTERA, SCOLYTIDAE) COM PARASITÓIDES

O controle biológico da broca-do-café, tem sido praticado tradicionalmente com parasitóides de origem africana. A primeira tentativa de controle da broca-do-café na América, iniciou-se com a importação do parasitóide *Prorops nasuta* (Waterston) (Hymenoptera, Bethylidae) no Brasil (HEMPEL, 1934). No entanto, essa prática foi abandonada pelo surgimento de inseticidas clorados (CURE et al., 1998). Na década de 80 reiniciou-se mais uma tentativa com a importação de indivíduos da espécie *Prorops nasuta* e *Cephalonomia stephanoderis* (Betrem) (Hymenoptera, Bethylidae), principalmente em países como México (BARRERA et al., 1990), Equador (MURPHY e RANGI, 1991), Brasil (BENASSI, 1995) e Colômbia (OROZCO e ARISTIZÁBAL, 1996).

Apesar dos múltiplos esforços para controlar a broca-do-café com essas espécies de parasitóides, ao longo de vinte anos de pesquisa intensiva, os resultados não têm sido satisfatórios. O escasso sucesso com os parasitóides betilídeos em campo foi sugerido inicialmente por GUTIERREZ et al. (1998) ao analisar a dinâmica populacional desses parasitóides em condições de campo, através de um programa de simulação matemática. Esse sucesso reduzido foi reconhecido posteriormente por especialistas na área de controle biológico da broca-do-café (BAKER, 1999).

Visando comparar o potencial de ação entre os parasitóides tradicionalmente utilizados para controlar populações da broca-do-café, avaliam-se as hipóteses que explicariam o sucesso/insucesso de parasitóides em programas de controle biológico de pragas. No entanto, na análise é incluído um terceiro parasitoide identificado em 1990 como um excelente candidato para o controle biológico da broca-do-café (FELDHEGE, 1992; GUTIERREZ et al., 1998; LOPEZ-VAAMONDE, 1998; BAKER, 1999). Trata-se de *Phymastichus coffea* (La Salle) (Hymenoptera, Eulophidae), endoparasitóide de indivíduos adultos da broca-do-café (La Salle, 1990).

3.2.1. Aplicação das hipóteses

Hipótese 1: O potencial de ação dos parasitóides não permite gerar um programa de controle biológico bem sucedido

Os ectoparasitóides *P. nasuta* e *C. stephanoderis* são considerados como idiobiontes, ou seja, parasitóides que não permitem que o hospedeiro continue seu desenvolvimento por um tempo prolongado após o momento do parasitismo, anulando qualquer capacidade de reação do hospedeiro ao ataque. Ao contrário, o endoparasitóide *P. coffea* é considerado como coinobionte, já que, após parasitados indivíduos adultos da broca-do-café, estes continuam apresentando atividade normal por um determinado tempo, até que os estágios imaturos do parasitóide estão bem desenvolvidos e próximos ao estágio de pupa. Parasitóides idiobiontes (*P. nasuta* / *C. stephanoderis*) são considerados generalistas, enquanto que, parasitóides coinobiontes (*P. coffea*) apresentam com mais frequência características de especialistas QUICKE (1997). No entanto, o fato dos ectoparasitóides atacarem estágios imaturos da broca-do-café que se desenvolvem no interior de sementes, os coloca como inimigos naturais altamente especializados, já que, segundo a teoria de refúgio de HAWKINS (1988, 1994) esses parasitóides estariam reduzindo a estratégia de escape da broca-do-café. Porém, do ponto de vista da teoria de POLIS e STRONG (1996), *P. nasuta* e *C. stephanoderis*, seriam menor possibilidade de controle que *P. coffea*, sobre as populações da broca-do-café. Isto porque organismos generalistas não utilizam um mesmo organismo como único recurso de alimentação ou de oviposição, e nem sempre podem exercer suficiente função reguladora sobre fitófagos. De fato, já existem alguns registros em campo de ataque de *C. stephanoderis* sobre outros broqueadores como *Hypothenemus obscurus*, (Col., Scolytidae) e *Sitophilus* sp. (Col., Curculionidae), assim como também existem registros de ataque de *P. nasuta* sobre *Caulophylus oryzae* (Col., Curculionidae) (PÉREZ-LACHAUD e HARDY, informação pessoal). Os ectoparasitóides localizam o fruto infestado, penetram na cereja de café e lutam com indivíduos adultos da broca-do-café ali presentes que cuidam da prole em desenvolvimento. É sabido que o abdome de fêmeas adultas da broca-do-café que têm sido dominadas e decapitadas pelos parasitóides, são colocados na entrada do canal de perfuração do fruto

infestado, para impedir a entrada de outros organismos (p. ex. conespecíficos e patógenos). Ao contrário do endoparasitóide (*P. coffea*), os ectoparasitóides utilizam um veneno (venoma) que paralisa e mata os estágios imaturos do hospedeiro selecionado para alimentação (*host-feeding*) e/ou oviposição. Os ectoparasitóides também precisam se alimentar do hospedeiro antes da oviposição, razão pela qual são denominados de sinovigênicos. Isto é, parasitóides que vão produzindo ovos maduros ao longo de seu tempo de vida. A taxa de maturação dos ovos dos ectoparasitóides depende da qualidade e quantidade de recurso utilizado no processo de alimentação direta no hospedeiro (*host-feeding*). O endoparasitóide *P. coffea*, inicia sua vida de adulto com uma quantidade maior de ovos maduros, razão pela qual é denominado de parasitóide pró-ovigênico. A diferença entre os dois tipos de parasitóides (sinovigênicos/pró-ovigênicos), faz com que os ectoparasitóides apresentem uma taxa de oviposição menor do que a do endoparasitóide. Baseado nas taxas de oviposição e, na relação que existe entre essas taxas e o grau de sucesso de um programa de controle biológico (HAWKINS 1994, 1999), o controle biológico da broca-do-café com os ectoparasitóides (taxas de parasitismo menores que 30%) tem menor chance de sucesso que com os endoparasitóides (taxas de parasitismo superiores a 50%).

Hipótese 2: O potencial de ação dos parasitóides depende de diversos fatores ou processos para gerar um programa de controle biológico bem sucedido.

Hipótese 2A: Redução do potencial de ação de inimigos naturais por processos que atuam verticalmente ao nível trófico a que pertencem.

Com base em HAWKINS (1992), o interior das sementes de café seria o refúgio da broca-do-café. No entanto, ambos grupos de parasitóides conseguem vencer essa estratégia e atingir o interior das sementes onde se encontram os hospedeiros susceptíveis. Uma outra forma que a broca-do-café pode utilizar como estratégia de escape, está relacionada com o aproveitamento da heterogeneidade espacial dos locais de plantio. Esta consideração assume que a broca-do-café teria taxas de dispersão mais altas que as taxas dos parasitóides e, capacidade de se

reproduzir em ambientes inadequados para os parasitóides (refúgios). Quanto às taxas de dispersão, já foi quantificado que a broca-do-café é capaz de se dispersar pelo menos até 500 metros do centro de dispersão (BAKER, 1999), enquanto a capacidade de dispersão de *C. stephanoderis* não ultrapassa aos 30 metros (ARISTIZÁBAL, 1995), e de *P. coffea* não supera os 60 metros (VERGARA, 1998). Segundo WALDE (1994) e WATKINSON e SUTHERLAND (1995), insetos praga com taxas de dispersão maiores daquelas dos parasitóides, são capazes de persistir em campo.

Pode-se mencionar ainda que a broca-do-café não só é capaz de se dispersar mais rápido que seus parasitóides, mas também que é capaz de ocupar áreas com condições desfavoráveis para os parasitóides. Por exemplo, BAKER et al. (1989) verificaram que os índices de parasitismo da broca-do-café por *C. stephanoderis* são menores entre 1500-1700 m. de altitude que aqueles registrados entre 750-1100 m. Com o presente trabalho se deduz que a ação de *P. nasuta* e *C. stephanoderis* seria maior em locais com temperaturas superiores a 28°C, e que indivíduos da broca-do-café podem garantir gerações futuras se dispersando a locais com temperaturas inferiores. A utilização de indivíduos de *P. coffea* pode gerar um panorama diferente, exceto em locais com temperaturas superiores aos 27°C, quando apresenta índices de crescimento populacional inferiores aos da broca-do-café.

A interferência provocada por predadores, hiper-parasitóides ou patógenos, também pode diminuir o potencial de ação dos parasitóides da broca-do-café no campo. Não existem informações concretas relacionadas com a presença de inimigos naturais que minimizem a capacidade de ataque dos parasitóides betilídeos. Por exemplo, assim como identificado durante a execução do presente trabalho, o potencial de ação do endoparasitóide *P. coffea* pode ser diminuído pela ocorrência do fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana*. No entanto, os resultados sugerem que o controle da broca-do-café com *P. coffea* em locais com presença do fungo, ainda pode ser bem sucedido se é garantida uma produção constante de parasitóides.

Hipótese 2B: Redução do potencial de ação de inimigos naturais, devido a processos que atuam lateralmente ao nível trófico a que pertencem.

No controle biológico da broca-do-café, tem se considerado a possibilidade de liberar mais de um tipo de parasitóide num mesmo local. Ambas as espécies de ectoparasitóides utilizam larvas jovens da broca-do-café para se alimentar, e larvas maduras e pupas jovens como recurso para oviposição. Apesar que fêmeas de *C. stephanoderis* apresentam preferência por imaturos da broca-do-café em diferente estágio de desenvolvimento dos que preferem fêmeas de *P. nasuta*, em baixas quantidades de recurso essas preferências podem se reduzir e provocar condições de competição interespecífica, quando liberados indivíduos de ambas espécies numa mesma localidade. INFANTE et al., (2001) demonstraram em laboratório que a competição entre *C. stephanoderis* e *P. nasuta* é evidente e que as vantagens para cada espécie variam em função da temperatura. No entanto, sugeriram que em condições de campo a competição não se apresenta devido à abundância de hospedeiros.

O insucesso de programas de controle biológico quando utilizados parasitóides com potencial de redução populacional de pragas, pode se originar por processos que atuam desde níveis tróficos inferiores gerados por mecanismos de defesa do hospedeiro (distribuição e abundância no espaço e no tempo), por competição inter e intra-específica, por interferência mútua entre a guilda de parasitóides que exploram o mesmo tipo de recurso, e finalmente pela interferência na ação do parasitóide provocada por predadores, hiperparasitóides e/ou entomopatógenos.

3.2.2. Conclusão

O insucesso que apresentam os parasitóides betilídeos pode ser explicado por qualquer uma das hipóteses mencionadas. No entanto, essas hipóteses estão parcialmente exploradas. Apesar de se considerar os ectoparasitóides *C. stephanoderis* e *P. nasuta* como generalistas, ainda não foi analisada em sua

totalidade a contribuição do comportamento *host-feeding* somado a oviposição (Hipótese 1), quando comparado somente com a capacidade de oviposição do endoparasitóide *P. coffea*, considerado como especialista. Não existe uma verdadeira quantificação da provável competição interespecífica que pode ocorrer entre os ectoparasitóides em condições de campo, e entre esses parasitóides, e outros reportados como nativos no Brasil (BENASSI e BERTI-FILHO, 1989), na Colômbia (BUSTILLO et al., 1998) e no México (PÉREZ-LACHAUD, 1999) (Hipótese 2B.).

A distribuição da broca-do-café em refúgios pode ser uma das hipóteses para explicar o insucesso técnico dos parasitóides utilizados para seu controle. No entanto, ainda falta testá-la. Verificar, por exemplo, se a posição no sentido vertical (fruto infestado na árvore ou caído no chão) pode ser uma estratégia induzida pela broca-do-café, e se efetivamente os parasitóides são capazes de atingir substancialmente populações de broca-do-café que se desenvolvem em frutos caídos no chão, orientados por sinais químicos. Ainda neste mesmo ponto, falta estudar a dinâmica de prováveis meta-populações da broca-do-café que podem estar se mobilizando (=dispersando) entre áreas cultivadas de café localizadas em diferentes regiões, separadas por outros cultivos (Hipótese 2A).

Apesar do insucesso técnico de parasitóides como *C. stephanoderis* e *P. nasuta* para controlar populações de seu hospedeiro natural, é interessante entender como persistem populações desses parasitóides em campo. Provavelmente, a resposta pode se encontrar na classificação de estratégias de vida de parasitóides apresentada por QUICKE (1997). Esse autor argumenta que ao contrário de parasitóides coinobiontes (como é o caso de *P. coffea*), parasitóides idiobiontes (como é o caso de *C. stephanoderis* e *P. nasuta*), apresentam entre outras características, hábito alimentar de generalistas, e essa condição garante a persistência em condições de campo, mesmo em condições de baixa densidade populacional do hospedeiro natural de preferência. Como sugerido por HAWKINS (1992), a onivoria é um fenômeno muito comum entre as comunidades de parasitóides, principalmente idiobiontes e explica o pouco grau de controle que exercem esses parasitóides sobre populações de pragas, na maioria dos casos de insucesso de programas de controle biológico no mundo.

Sem dúvida nenhuma, existem mais razões para explicar a persistência de populações de *C. stephanoderis* e *P. nasuta* em condições de campo (p. ex.: comportamento gregário), apesar de apresentarem baixos índices de fecundidade e de crescimento populacional. Porém, o que pode se deduzir, é que qualquer uma que seja a resposta a esse fenômeno, estará contribuindo para explicar, por sua vez, o escasso grau de controle que essas espécies podem exercer em populações da broca-do-café, num programa de controle biológico.

Ainda, pode-se hipotetizar que o parasitóide *P. coffea* tem maiores possibilidades de gerar um programa de controle biológico bem sucedido da broca-do-café. As características que apresenta essa espécie são indicadas por HAWKINS (1992) e QUICKE (1997), como desejáveis em inimigos naturais com potencial em controle biológico. No entanto, apesar do otimismo, deve-se ter cautela com o potencial de *P. coffea*, já que a escala local, o potencial de *P. coffea* pode ser reduzido por outros fatores (bióticos e abióticos) que não foram considerados neste trabalho (interações bióticas com outros organismos), ou ainda, a escala regional, uma grande parte dos indivíduos de broca-do-café pode escapar do ataque de *P. coffea*, devido às diferenças nas taxas de dispersão entre essas duas espécies.

3.3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARISTIZÁBAL, L.F. Efectos del parasitóide *Cephalonomia stephanoderis* (Betrem) (Hymenoptera: Bethyridae) sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera: Scolytidae) en condiciones de campo. Tese Ing. Agron., Universidad de Caldas, Fac. Agronomía, 1995, 129p.

BAKER, P.S. **The coffee berry borer in Colombia. Final report of the IPM project for coffee.** DFID-Cenicafé-CABI Bioscience. 1999, 148p.

BAKER, P.S., BARRERA J.F., VALENZUELA J.E. The distribution of the coffee berry borer, (*Hypothenemus hampei*) in Southern Mexico: a survey for a biocontrol project. **Tropical Pest and Management**, v.35, p.162-168, 1989.

BARRERA, J.F., BAKER P.S., SCHWARZ A., VALENZUELA J. Introducción de dos especies de parasitoides africanos a Mexico para el control biológico de la broca del cafeto. *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Coleoptera: Scolytidae). **Folia Entomológica Mexicana**, 79:245-247, 1990.

BEGON, M., MORTIMER M. **Population ecology, a unified study of animals and plants.** London: Blackwell Scientific Publications, Second Edition, 1986. 220p.

BENASSI, V.L.R.M. Introdução da espécie *Cephalonomia stephanoderis* Betrem, 1961 (Hymenoptera: Bethyridae), parasitóide da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferr., 1867). In: Anais 15º Congresso de Entomologia do Brasil, Caxambú, MG, 1995, 336p.

BENASSI, V.L.R.M., BERTI-FILHO E. Nota sobre a ocorrência de *Cephalonomia* sp. (Hymenoptera: Bethyridae) parasitando a broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera, Scolytidae) no estado de Espírito Santo. Piracicaba: **Revista de Agricultura**, v.64, p.105-106, 1989.

- BOULETREAU, M. 1986. The genetic and coevolutionary interactions between parasitoids and their hosts. In: WAAGE, J., GREATHEAD D. (Eds.). **Insect parasitoids**, 1995, p. 169-200.
- BUSTILLO, A.E., CÁRDENAS R., VILLALBA D.A., BENAVIDES P., HOYOS J.O., POSADA F.J. Manejo integrado de la broca del café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) en Colombia. Colômbia: **Cenicafé**, 1998, 134p.
- CARTON, Y., NAPPI A. 1991. The *Drosophila* immune reaction and the parasitoid capacity to evade it: genetic and coevolutionary aspects. **Acta Oecologica**, v.12, p.89-104, 1991.
- CLARKE, A.R., WALKER G.H. "Strains" and the classical biological control of insect pests. **Canadian Journal of Zoology**, v.73. p.1777-1790, 1995.
- CURE, J.R., SANTOS R.H.S., MORAES J.C. de, VILELA E.F., GUTIERREZ A.P. Fenologia e dinâmica populacional da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari) relacionada às fases de desenvolvimento do fruto. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, 27: 325-335, 1998.
- De BACH, P., ROSEN D. **Biological control by natural enemies**. UK: Cambridge University Press, Second Edition. 1991.
- EHLER, L.E. Introduction strategies in biological control of insects. In: MACKAUER, M., EHLER L.E., Roland J. (Eds.). **Critical issues in biological control**. UK: Intercept Ltda., 1990. p.111-134.
- FELDHEGE, M.R. Rearing techniques and aspects of biology of *Phymastichus coffea* (Hymenoptera: Eulophidae), a recently described endoparasitoid of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). **Café-Cacao-The**, v.36, p.45-54, 1992.

- GREATHEAD, D.J. Benefits and risks of classical biological control. In: HOKKANEN, H.M.T., LYNCH J.M. **Biological control: benefits and risks**. UK: Cambridge University Press, 1995. p. 53-63.
- GREATHEAD, D.J. 1986. Parasitoids in classical biological control. In: WAAGE, J., GREATHEAD D. (Eds.). **Insect parasitoids**. London: Academic Press, 1986. p. 290-318.
- GUTIERREZ, A.P., VILLACORTA A., CURE J.R., ELLIS C.K. Tritrophic analysis of the coffee (*Coffea arabica*) – coffee berry borer [*Hypothenemus hampei* (Ferrari)] – parasitoid system. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, 27:357-385, 1998.
- HAWKINS, B.A. Parasitoid-host food webs and donor control. **Oikos**, v.65, p.159-163, 1992.
- HAWKINS, B.A. **Patterns and process in host-parasitoid interaction**. London: Cambridge Press University, 190p, 1994.
- HAWKINS, B.A. Species-diversity in the 3rd and 4th trophic levels – patterns and mechanisms. **Journal of Animal Ecology**, v.57, p.137-162, 1988.
- HAWKINS, B.A., CORNELL H.V. (Eds.). **Theoretical approaches to biological control**. UK: Cambridge University Press, 1999. 412p.
- HAWKINS, B.A., CORNELL H.V., HOCHBERG M.E. Predators, parasitoids and pathogens as mortality agents in phytophagous insect populations. **Ecology**, v.78, p.2145-2152, 1997.
- HAWKINS, B.A., H.V. CORNELL (Eds.). **Theoretical approaches to biological control**. London: Cambridge University Press, 1999, 412p.
- HEMPEL, A.A. *Prorops nasuta* Waterston do Brasil. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, 5: 197-212, 1934.

- HUGHES, K., SOKOLOWSKI M.B. Natural selection in the laboratory for a change in resistance by *Drosophila melanogaster* to the parasitoid wasp *Asobara tabida*. **Journal of Insect Behavior**, v.9, p. 477-491, 1996.
- INFANTE, F., MUMFORD J., BAKER P., BARRERA J., FOWLER S.. Interspecific competition between *Cephalonomia stephanoderis* and *Prorops nasuta* (Hym., Bethyilidae), parasitoids of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Col., Scolytidae). **Journal of Applied Entomology**, v.125, p.63-70, 2001.
- JERVIS, M.A. Parasitoids as limiting and selective factors: can biological control be evolutionarily stable?. **Trends in Ecology and Evolution**, v.12, p. 378-380, 1997.
- KIDD, N.A.C., JERVIS M.A. Population dynamics. In: JERVIS, M., Kidd N. (Eds.) **Insect natural enemies: practical approaches to their study and evaluation**. London: Chapman & Hall, 1996. p.293-374.
- La SALLE, J. A new genus and species of Tetrastichinae (Hymenoptera: Eulophidae) parasitic on the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae). **Bulletin of Entomological Research**, London, v.80, p.7-10, 1990.
- LOPEZ-VAAMONDE, C., MOORE D. Developing methods for testing host specificity of *Phymastichus coffea* (Hym., Tetrastichinae), a potential biological control agent of *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Col., Scolytidae) in Colombia. **Biocontrol Science and Technology**, v.8, p.397-411, 1998.
- MURPHY, S.T., RANGI D.K. The use of the african wasp *Prorops nasuta* for the control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* in Mexico and Ecuador: the introduction programme. **Insect. Sci. its application**, 12: 27-34, 1991.
- OROZCO, J., ARISITIZÁBAL L.F. Parasitoides de origen africano para el control de la broca del café. Colômbia. Avances Técnicos de Cenicafé, No. 223, 1998, 8p.

- PÉREZ-LACHAUD, G., HARDY I.C.W. Reproductive biology of *Cephalonomia hyalinipennis* (Hymenoptera: Bethyridae), a native parasitoid of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae), in Chiapas, Mexico. **Biological Control**, v.14, p.152-158, 1999.
- POLIS, G.A., STRONG D.R. Food web complexity and community dynamics. **American Naturalist**, v.147, p.813-846, 1996.
- QUICKE, D.L.J. 1997. **Parasitic wasps**. UK: Chapman & Hall, 470p.
- REIS Jr., R., DeSOUZA, O., VILELA, E.F. Predators impairing the natural biological control of parasitoids. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.29, p.507-514, 2000.
- STILING, P. Calculating the establishment rates of parasitoids in classical biological control. **American Entomologist**, v.36, p.225-230, 1990
- van LENTEREN, J.C. 1995. Frequency and consequences of insect invasions. In: HOKKANEN, H.M.T., Lynch J.M. (Eds.). **Biological control: benefits and risks**. UK: Cambridge University Press, 1995. p. 30-43.4.
- VERGARA, J.D. **Biología y comportamiento de *Phymastichus coffea* La Salle (Hymenoptera: Eulophidae), parasitóide de la broca del café en condiciones de campo**. Colômbia: Universidad Nacional de Colombia, (Medellín), Tese Ing. Agron., 1998.
- WALDE, S.J. Immigration and the dynamics of a predator-prey interaction in biological control. **Journal of Animal Ecology**, v.63, p.337-346, 1994.
- WATKINSON, A.R., SUTHERLAND W.J. Source, sinks and pseudo-sinks. **Journal of Animal Ecology**, v.64, p.126-130, 1995.

4. CONCLUSÕES

Com o presente trabalho foi possível demonstrar que:

- Variações na umidade relativa do ar, compreendidas entre 70 e 100%, não afetam a taxa líquida de incremento populacional da broca-do-café, nem de seus parasitóides: *Prorops nasuta*, *Cephalonomia stephanoderis* e *Phymastichus coffea*.
- Parasitóides de *P. coffea* apresentam taxas líquidas de crescimento populacional, significativamente superiores às da broca-do-café, e inclusive às dos parasitóides betilídeos: *P. nasuta* e *C. stephanoderis*, em temperaturas que variam desde 12 até 27°C. Em consequência, indivíduos de *P. coffea* parecem mais promissores em controlar populações da broca-do-café que os parasitóides betilídeos.
- As taxas de parasitismo de *P. coffea* são diminuídas não só pelos efeitos da altitude, mas também, pela presença do fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana* em localidades que variam desde 1200 até 1800 metros de altitude.
- Nas condições deste estudo, a porcentagem média de parasitismo de *P. coffea* foi superior aos 50% em todas as localidades onde foi registrada a presença do fungo entomopatogênico *B. bassiana*. Esta porcentagem é superior das conhecidas para os parasitóides *C. stephanoderis* e *P. nasuta*, utilizados para o controle biológico da broca-do-café.
- Populações da broca-do-café são mais controladas com a ação conjunta do parasitóide *P. coffea* e do fungo entomopatogênico *B. bassiana*, do que com a ação individual de cada um desses inimigos naturais.