

ROLANDO TITO LIBIO BACCA IBARRA

MONITORAMENTO DE *Leucoptera coffeella* COM ARMADILHA DE
FEROMÔNIO SEXUAL

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
2006

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

B116m Bacca Ibarra, Rolando Tito Libio, 1970-
2006 Monitoramento de *Leucoptera coffeella* com armadilha
de feromônio sexual / Rolando Tito Libio Bacca Ibarra.
– Viçosa : UFV, 2006.
x, 89f. : il. ; 29cm.

Orientador: Eraldo Rodrigues de Lima.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Bicho-mineiro-do-cafeeiro - Populações.
2 *Leucoptera coffeella*. 3. Café - Doenças e pragas -
Controle. 4. Feromonas. 5. Insetos - Atração sexual.
6. Pragas - Controle integrado. I. Universidade Federal de
Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 595.781788

ROLANDO TITO LIBIO BACCA IBARRA

MONITORAMENTO DE *Leucoptera coffeella* COM ARMADILHA DE
FEROMÔNIO SEXUAL

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”.

APROVADA: 13 de fevereiro de 2006

Prof. Marcelo Coutinho Picanço
(Conselheiro)

Prof. Raul Narciso Carvalho Guedes
(Conselheiro)

Prof. José Oscar Gomes de Lima

Dra. Madelaine Venzon

Prof. Eraldo Rodrigues de Lima
(Orientador)

A Deus, por me iluminar e proteger neste caminho.

Agradeço

À minha Família: minha mãe Carmencita e irmãos José Bayron, Denny e Dina Tatiana pelo carinho e força para continuar sempre adiante

À minha esposa Lucimar Gomes Dias, pelo amor, apoio, compreensão e paciência.

Dedico

Ao meu País, Colômbia minha terra querida.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Universidad de Nariño, Pasto – Nariño, Colômbia, Instituição onde trabalho, por me conceder a oportunidade de continuar minha formação como entomólogo.

À COLCIENCIAS (Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología), pela bolsa de estudos.

Ao Programa de Pós-graduação em Entomologia da Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de realização deste curso.

Ao Professor Eraldo Rodrigues de Lima, pela orientação, apoio e confiança em meu trabalho e pela sua amizade.

Aos Professores Marcelo Picanço e Raul Guedes pela ajuda, colaboração no planejamento, desenvolvimento desta pesquisa, pelas críticas e sugestões na tese.

Aos amigos do Laboratório de Feromônios e Comportamento de Insetos pela colaboração e amizade.

Aos estagiários: Rodrigo Moreira Saraiva, Christiane Martins França e Marcelo Moreira Colaço pela ajuda na coleta dos dados de campo.

À Daterra Atividades Rurais Ltda. Patrocínio MG, pelo apoio técnico e logístico na realização dos experimentos, coordenados por Gustavo Guimarães.

Aos cafeicultores dos municípios de Viçosa, Coimbra e Paula Cândido, MG, por permitirem a execução desta pesquisa em suas propriedades.

Ao Dr. João Helbert Viana pela ajuda e capacitação no estudo da Geoestatística.

Ao Adrian Molina pela ajuda desde minha chegada ao Brasil, pela amizade e dicas para conseguir o sucesso no Doutorado.

Aos membros da banca de tese Dra. Madelaine Venzon, Prof. José Oscar Gomes de Lima, pelas críticas e sugestões feitas.

À todos aqueles que não mediram esforços para a realização desta pesquisa.

ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	7
CAPÍTULO I: RELAÇÃO ENTRE A INTENSIDADE DE ATAQUE DE <i>Leucoptera coffeella</i> E A CAPTURA DE MACHOS EM ARMADILHA DE FEROMÔNIO SEXUAL.....	11
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
1.1. INTRODUÇÃO.....	14
1.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
1.3. RESULTADOS.....	19
1.4. DISCUSSÃO.....	21
1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

CAPÍTULO II: OPTIMUM SPACING OF PHEROMONE TRAPS FOR MONITORING THE COFFEE LEAF MINER <i>Leucoptera coffeella</i>.....	39
ABSTRACT.....	39
RESUMO.....	41
2.1. INTRODUCTION.....	43
2.2. MATERIAL AND METHODS.....	46
2.3. RESULTS.....	49
2.4. DISCUSSION.....	51
2.6. REFERENCES.....	54
CAPÍTULO III: PLANO DE AMOSTRAGEM PARA <i>Leucoptera coffeella</i> COM ARMADILHA DE FEROMÔNIO SEXUAL.....	63
RESUMO.....	63
ABSTRACT.....	65
1.1. INTRODUÇÃO.....	66
1.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	68
1.3. RESULTADOS.....	72
1.4. DISCUSSÃO.....	74
1.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
CONCLUSÕES GERAIS.....	89

RESUMO

BACCA IBARRA, Rolando Tito Libio, D.S. Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2006. **Monitoramento de *Leucoptera coffeella* com armadilha de feromônio sexual.** Orientador: Eraldo Rodrigues de Lima. Conselheiros: Marcelo Coutinho Picanço e Raul Narciso Carvalho Guedes.

Armadilhas de feromônio sexual foram testadas no monitoramento de *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae), tendo como objetivo avaliar os componentes do sistema de monitoramento deste inseto. A relação entre as capturas de machos de *L. coffeella* e sua densidade populacional foi avaliada em sete cafezais com diferentes condições agronômicas no Estado de Minas Gerais, em períodos variáveis de 6 a 20 meses. A localidade afetou significativamente a captura de machos. A diminuição na temperatura média favoreceu o incremento da infestação dos cafezais e a captura dos machos. No Triângulo Mineiro, foi encontrada relação positiva entre a captura de machos e a percentagem de folhas minadas ($R^2 = 0,79$). Na Zona da Mata essa relação também foi significativa, porém fraca ($R^2 = 0,06$). Nesta última região também se observou relação positiva entre machos capturados e ovos da praga ($R^2 = 0,34$). Mediante análises geoestatísticas, determinou-se a distância ideal entre armadilhas para que as capturas fossem independentes. As armadilhas foram posicionadas em grupos de 12, utilizando espaçamentos de 2, 5, 10, 15 e 30 m dentro de cada grupo. As capturas foram registradas a cada 4 dias durante 16

dias. Foi encontrada interferência entre armadilhas distanciadas a menos de 10 m. O alcance e a magnitude da dependência espacial variaram consideravelmente entre cada avaliação e direção do vento. Nas direções perpendiculares e paralelas às linhas de plantio de café, as armadilhas espaçadas com 110 e 177 m, respectivamente, houve independência espacial nas capturas. A fim de determinar a densidade de armadilhas por ha, foram avaliadas as capturas de machos de *L. coffeella* em 190 armadilhas numa área de 30 ha. Estas foram posicionadas formando uma grade irregular com espaçamento linear mínimo de 20 m entre armadilhas, as capturas foram registradas durante 15 avaliações a cada 8 dias. Os dados de todas as capturas se ajustaram significativamente a uma distribuição binomial negativa com o parâmetro de dispersão comum (K comum). Baseado no K comum, igual a 2,16, oito armadilhas foram necessárias para amostrar 30 ha, com nível do erro de 25%. O plano de amostragem foi validado comparando as capturas de 549 armadilhas/30ha (universo amostral) com as capturas obtidas em 8 armadilhas/30ha utilizando técnicas de interpolação espacial. Estes resultados têm implicações no monitoramento de *L. coffeella* quando se utiliza armadilhas de feromônio, pois foi constatada relação significativa entre a captura de machos e a densidade populacional da praga e que uma armadilha a cada 4 ha foi possível monitorá-la adequadamente.

ABSTRACT

BACCA IBARRA, Rolando Tito Libio, D.S. Universidade Federal de Viçosa, February, 2006. **Monitoring of *Leucoptera coffeella* with sexual pheromone traps.** Adviser: Eraldo Rodrigues de Lima. Committee members: Marcelo Coutinho Picanço and Raul Narciso Carvalho Guedes.

The use of pheromone traps was tested for monitoring of the coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae). Insect sampling was carried out in seven coffee plantations under different agronomic conditions in two regions - the Triângulo Mineiro and the Zona da Mata, both in the state of Minas Gerais. The sampling period ranged from 6 to 20 months. The locality significantly affected male capture and among the weather variables analyzed, the decrease in the average temperature favored higher infestations of *L. coffeella* in coffee plants and higher male capture. A positive relationship between male capture and % of leaves mined ($R^2 = 0.79$) was observed in the Triângulo Mineiro and in Zona da Mata this relationship was weak, although significant ($R^2 = 0.06$). In this last region, a positive and significant correlation between males captured and pest eggs was observed ($R^2 = 0.34$). Using geostatistical analysis, we determined at what distance captures were independent from other traps. Traps were placed in groups of 12 with distances among traps per group of either 2, 5, 10, 15, or 30 m. Traps were checked for males every 4 days during 16 days. We found interference between traps when inter-trap distances were shorter than 10 m. The range and magnitude of spatial dependence varied considerably among each sampling date and wind

direction. For directions of 45° and 135°, the traps should be placed 110 m and 177 m apart, respectively to obtain spatially independent counts and therefore representative samplings for assessing the insect population in the area. We sampled males of *L. coffeella* in 12 evaluations every eight days. Taylor's power law and frequency distribution methods were used to adjust the data of male capture of *L. coffeella* to a binomial negative distribution. A common K was obtained and a single conventional sampling plan was determined using 8 traps in an area of 30 ha with a 25% precision. Kriging-generated maps allowed the simulation of male captures for 8, 12 and 20 traps per 30 ha and the results were compared with those obtained with absolute sampling, obtaining R²-values of 0.30, 0.57 and 0.60 respectively. The results of this study suggest that there is a significant correlation between the male capture by pheromone traps and the population density of *L. coffeella*, emphasizing the potential of pheromone traps for monitoring the coffee leaf miner, indicated that a trap density of one pheromone trap for every 4 ha would be suitable for monitoring the coffee leaf miner.

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o maior produtor mundial de café, sendo que em 2005 a produção foi de 39.272.000 sacas de café equivalentes a 33,73% da produção mundial com uma produtividade média de 819 Kg/ha, cultivados em 2,4 milhões de ha (ICO 2005). O setor cafeeiro no Brasil é responsável pela geração de sete milhões de empregos diretos e indiretos gerando cerca de 2,5 bilhões de dólares (CNP&D-Café 2003).

Um dos principais problemas fitossanitários da cultura do café é o ataque do bicho-mineiro do café (BMC), *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae), considerada a principal praga no Brasil e em alguns países da América Central e do Leste africano (Souza *et al.* 1998). Essa praga dependendo da época do ataque do inseto pode causar perda de até 41% na produção, quando não são tomadas medidas de controle (Reis & Souza 1996). As perdas ocasionadas nesta cultura são devidas ao desfolhamento da planta que compromete a floração e a frutificação do cafeeiro (Souza *et al.* 1998).

O controle químico tem sido o principal método empregado pelos cafeicultores para o controle do BMC (Souza *et al.* 1998). O uso contínuo desse método tem provocado a perda da eficiência de inseticidas mediante seleção de populações do BMC resistentes (Fragoso *et al.* 2002, 2003).

Para estimar as populações das pragas objetivando o controle, comumente são utilizados índices populacionais, os quais quantificam os efeitos, produtos ou

resíduos produzidos pelos insetos (Pedigo 1999), como é o caso das minas de *L. coffeella* em folhas de café. Para a amostragem de folhas minadas de bicho-mineiro são propostas varias metodologias, que tem como unidade amostral um determinado número de folhas/planta (10-30 folhas/planta) que são tomadas do terço baixo, médio e alto da planta (Gravena 1983, Oliveira 2003). As plantas amostradas variam dependendo do tipo de plano de amostragem, geralmente nos planos de amostragem convencionais são tomadas um número fixo de folhas (100-60 folhas/talhão) para cafezais em produção (Gravena 1983). Esse tipo de amostragem requer um grande número de amostras para obter uma confiabilidade estatística e, portanto, disponibilidade de tempo e esforço. Já, para os planos seqüenciais esse número pode diminuir dependendo da densidade populacional do inseto (Oliveira 2003).

Além da amostragem de folhas existem outras técnicas amostrais, como o uso de armadilhas de feromônio sexual, que podem tornar mais eficiente a amostragem por poupar esforço e tempo amostral, principalmente em grandes extensões de cultivos.

Os feromônios sexuais são usados no monitoramento, captura massal e a confusão sexual de pragas (Jones 1998). Mais de 90% dos produtos comerciais a base de feromônios são utilizados no monitoramento (Pedigo 1999). Em geral, no monitoramento, são capturados os machos para detecção de surtos populacionais, época de emergência dos insetos adultos e detecção de presença, distribuição e abundância dos insetos (Jones 1998).

A vantagem do monitoramento com feromônio é rápida detecção do inseto mesmo que em baixa densidade populacional, diferentemente de outros métodos de amostragem (Wall 1989). As armadilhas de feromônio detectam adultos que estão emergindo ou emigrando, e isto pode ser um sinal de alerta para a tomada de medidas de controle (Wall 1989). As armadilhas de feromônio são muito eficientes por sua especificidade, além disso, seu uso é muito fácil (Wall 1989).

A molécula 5,9-dimetilpentadecano é o feromônio sexual produzido pelas fêmeas do BMC (Francke *et al.* 1988). Essa molécula possui quatro formas enantioméricas, ou seja, os carbonos 5 e 9 têm a habilidade de girar na molécula, podendo resultar em quatro compostos diferentes denominados esteroisômeros;

formando 5S,9S-dimetilpentadecano (S,S), 5R,9S-dimetilpentadecano (R,S), 5S,9R-dimetilpentadecano (S,R) e 5R,9R-dimetilpentadecano (R,R) (Francke *et al.* 1988).

O primeiro trabalho de campo de avaliação do feromônio na forma racêmica (mistura dos quatro compostos de 5,9-dimetilpentadecano) foi feito por Lima *et al.* (1999). Com base neste trabalho, Lima (2001), avaliou a resposta dos machos de *L. coffeella* aos isômeros da molécula de feromônio no campo e laboratório e também aspectos básicos da utilização das armadilhas como melhor protótipo, altura e dose e duração do feromônio.

A pesquisa de Lima (2001) fornece as primeiras diretrizes para o desenvolvimento de um sistema de monitoramento baseado na com armadilhas de feromônio. No entanto, torna-se necessário conhecer alguns aspectos relacionados ao uso da armadilha no campo para sua incorporação no manejo integrado do BMC, como o limiar de ação e densidade de armadilha por hectare em lavouras de café.

Com a realização desta tese forma complementados os estudos iniciados por Lima (2001). No primeiro capítulo desta tese foi determinada a correlação entre o número de folhas minadas e os machos de *L. coffeella* capturados na armadilha de feromônio. Ficou comprovado que as capturas refletem a injúria do inseto, possibilitando o monitoramento da praga.

Existem dois métodos para relacionar a densidade da praga com o número de insetos capturados nas armadilhas. O primeiro é sua correlação no tempo (Sanders 1988) e a marcação - liberação e recaptura dos insetos (Elkinton & Cardé 1980). Para validar as predições deve-se fazer correlações no tempo que obtenha altas correlações para o desenvolvimento de uma ferramenta útil que alerte no manejo de uma praga (Wall *et al.* 1987, Sanders 1988).

Uma das maiores inconveniências na utilização deste monitoramento é a dificuldade em encontrar um relacionamento das capturas de adultos e os níveis de dano da praga (Wall 1989, Jones 1998). Na literatura existem exemplos de correlação positiva de estágios imaturos e o dano da praga com a captura de machos, principalmente de Lepidoptera. Uma das principais razões para não se encontrar esta correlação é porque as armadilhas geralmente não detectam os

aumentos da população, principalmente devido à competição exercida pelas fêmeas virgens com o feromônio das armadilhas, então o macho é atraído pelo feromônio da fêmea e não pelo sintético (Cardé 1979, McNeil 1991).

Elkinton & Cardé (1984) e Kondo & Tanaka (1994), demonstraram no campo que quando a proporção de fêmeas é maior que a dos machos, elas competem com o feromônio liberado nas armadilhas, diminuindo, desta forma, sua eficiência por causa da menor captura de machos. A diferença no tempo de emergência entre fêmeas e machos podem ter como resultado maior número de fêmeas, nestas condições os machos são mais atraídos pelas fêmeas (para o acasalamento) que pelas armadilhas de feromônio (Howell 1974). A diferença de tempo entre as amostragens da densidade populacional do inseto ou seu dano, comparado com o momento de leitura das capturas das armadilhas podem gerar uma lacuna que dificulta entender essa correlação (Campion 1984). As densidades de ovos e lagartas muito baixas ou muito altas, às vezes, não são refletidas de forma confiável pelas armadilhas (Wall 1989)

No segundo capítulo desta tese foi estimada a distância mínima entre armadilhas de feromônio, na qual as capturas de machos de *L. coffeella* não entram em competição pela pluma de feromônio da armadilha. Determinou-se também a dependência espacial entre armadilhas, ou seja, a máxima distância de espaçamento entre armadilhas que podem ser alocadas em um cafezal. Para determinar a densidade de armadilhas utilizadas no monitoramento são avaliados diferentes números de armadilhas por hectare ou por árvores plantadas. Geralmente, no monitoramento o número de armadilhas é baixo em comparação as utilizadas na captura massal. A densidade por hectare depende principalmente do número de armadilhas necessárias para ter uma amostra adequada. Esta densidade é determinada por muitos fatores, dentre eles as condições de manejo agrônômico da cultura e o espaçamento entre armadilhas (Riedl 1980, McNally & Barnes 1981).

Para determinar estas distâncias, tradicionalmente são feitos experimentos de campo onde são liberados machos e recapturados em armadilhas periféricas alocadas a diferentes distâncias (Elkinton & Cardé 1980). Uma adaptação a esta metodologia foi feita para determinar a distância mínima entre armadilhas e para

encontrar a independência espacial foram feitas análises geoestatísticas (Capítulo II).

A geoestatística é uma técnica utilizada recentemente para determinar os padrões de distribuição espacial dos insetos. Esta técnica estima pontos não amostrados a partir de pontos conhecidos, utilizando a semivariância em função da distância (Liebhold *et al.* 1993). Uma vez determinada a independência espacial entre armadilhas é possível determinar a densidade de armadilhas por ha.

No terceiro e último capítulo, foi feito um plano de amostragem convencional utilizando as armadilhas de feromônio para estimar o número de armadilhas a utilizar numa área determinada. Um plano de amostragem convencional é composto de sistema amostral e de um número fixo de amostras. O sistema de amostragem é constituído por uma técnica e a unidade amostral (armadilha), enquanto o número de amostras deverá possibilitar a amostragem de forma precisa, rápida e a baixo custo (Pedigo *et al.* 1982, Pedigo 1999). Para determinar o número de armadilhas a utilizar por área, primeiro é preciso conhecer a distribuição de frequências dos dados, para posteriormente calcular o K comum que definirá se é possível utilizar um único plano de amostragem (Young & Young 1998). Com informação anterior e com a aplicação da Lei da potência de Taylor, que leva em consideração relação média – variância das capturas é possível determinar a distribuição espacial dos adultos de *L. coffeella*, tendo em vista que estes índices são desenvolvidos com a suposição que as amostras são espacialmente independentes (Midgarden *et al.* 1993). A aplicação destes índices não considera a autocorrelação entre as capturas das armadilhas de feromônio vizinhas, para se determinar essa independência espacial devem ser feitas análises geoestatísticas (Liebhold *et al.* 1993). Uma vez calculada a dependência espacial através dos semivariogramas é possível construir mapas que mostraram visualmente o verdadeiro padrão de distribuição espacial da população dos insetos. Estes mapas utilizam a crigagem, que é uma técnica de interpolação espacial que leva em conta a dependência espacial entre amostras e a influências das amostras vizinhas (Liebhold *et al.* 1993).

Existem várias metodologias para a validação dos planos de amostragem como as curvas de operacionalidade, principalmente para planos de amostragem

seqüencial, onde é apresentada a probabilidade de fazer ou não um controle baseado na densidade do inseto (Fowler & Lynnch 1987). As análises de Montecarlo, re-amostragem no campo, também podem ser utilizadas para uma tomada de decisão precisa, baseado no tamanho da amostra estimado (Naranjo & Hutchison 1997). Neste capítulo da tese foi utilizado outro sistema pouco utilizado para a validação de planos de amostragem em manejo integrado de pragas, que foi a simulação de capturas a partir de um número fixo de armadilhas definido no plano de amostragem. As simulações foram feitas utilizando análises de interpolação espacial, e para validar o plano foi comparado um universo amostral com o número de armadilhas obtidas no plano de amostragem convencional.

Diante do exposto, esta tese teve como objetivo geral a obtenção da informação básica para a utilização de armadilhas de feromônio como uma ferramenta de monitoramento de *L. coffeella*. Os objetivos específicos correspondem a cada capítulo da tese. Capítulo I; determinar a relação entre as capturas dos machos nas armadilhas de feromônio e a percentagem das folhas minadas e os ovos de *L. coffeella* em diferentes condições de lavouras de café. Capítulo II; determinar a distância de interferência entre armadilhas de feromônio e estimar a distância de independência espacial entre armadilhas onde são capturados os machos de BMC. Capítulo III; determinar a densidade de armadilhas de feromônio sexual necessárias por ha, para amostrar populações de machos de BMC e determinar o tipo de distribuição espacial dos machos de *L. coffeella*.

As formatações dos capítulos estão segundo as normas das revistas a que vão a ser submetidos ou em que já foram aceitos. O Capítulo I vai ser submetido para a revista Neotropical Entomology, Capítulo II já foi aceito na Entomologia Experimentalis et Applicata e o Capítulo III está segundo as normas da Journal of Applied Entomology.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cardé, R.T. 1979.** Behavioral response of moths to female produced pheromone and the utilization of attractant baited traps for population monitoring, p.286-315. In H. E. Hummel & T. A. Miller (eds.), Movement of highly mobile insects: Concepts and methodology in research. Raleigh, North Carolina State University, 464p.
- Campion, D.G. 1984.** Survey of pheromone uses in pests control, p. 405-449. In H.E. Hummel & T. A. Miller (eds.), Techniques in pheromone research. New York, Spring-Verlag, 464p.
- CNP&D-CAFÉ. 2003.** Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café. Economia Cafeeira. [17 de fevereiro de 2006]. http://www22.sede.embrapa.br/cafe/consorcio/home_4.htm.
- Elkinton, J.S. & R.T. Cardé. 1980.** Distribution, dispersal and apparent survival of male gypsy moths as determined by capture in pheromone-baited traps. Environ. Entomol. 9: 729-737.
- Elkinton, J.S. & R.T. Cardé. 1984.** Effect of wild laboratory-reared female gypsy moths, *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera: Lymantridae), on the capture of males in pheromone-baited traps. Environ. Entomol. 13: 1377-1385.

- Fragoso, D.B., R.N. C. Guedes., M.C. Picanço & L. Zambolim. 2002.** Insecticide use and organophosphate resistance in the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). Bull. Entomol. Res. 92: 203-212.
- Fragoso, D.B., R.N.C. Guedes & J.A. Ladeira. 2003.** Seleção na evolução de resistência a organofosforados em *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae). Neotrop. Entomol. 32:329-334.
- Gravena, S. 1983.** Táticas de manejo integrado do bicho-mineiro mineiro do cafeeiro *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Méneville, 1842): II – Amostragem da praga e de seus inimigos naturais. An. Soc. Entomol. Brasil. 12: 273-281.
- Howell, J.F. 1974.** The competitive effect of field populations of codling moth on sex attractant trap efficiency. Environ. Entomol. 35: 803-807.
- ICO. 2005.** International Coffee Organization. Trade statistics [12 fev 2006] http://dev.ico.org/trade_statistics.asp.
- Jones, O.T. 1998.** Practical applications of pheromones and other semioquímicos, p.261-355 In: Howse, P., I. Stevens & O. Jones. (eds.), Insect Pheromone and Their Use in Pest Management. London, Chapman and Hall, 369 p.
- Kondo, A & F. Tanaka. 1994.** Action range to the sex pheromone of the rice stem borer moth *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae). App. Entomol. Zool. 29:55-62.
- Liebhold, A.M., R.E. Rossi & W.P. Kemp. 1993.** Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. Ann. Rev. Entomol. 38: 303-327.
- Lima, E.R., F.E. Vilela., S. Kuwahara & W. Leal. 1999.** Evaluation of the sex pheromone of the coffee leaf miner, *Perileucoptera coffeella* Guérin-Méneville (Lepidoptera: Lyonetiidae), in different traps in the field. In: Seminario Internacional sobre Biotecnologia na Agroindustria Cafeeira, 3, Londrina, Resumos. Londrina PR. p.13.

- Lima, E. R. 2001.** Ferômonio sexual do bicho-mineiro do café, *Leucoptera coffeella*: Avaliação para uso em programas de manejo integrado. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG, 71p.
- McNally, P.S. & M.M. Barnes. 1981.** Effects of codling moth pheromone trap placement, orientation and density on trap catches. *Environ. Entomol.* 10: 22-26.
- McNeil, J.N. 1991.** Behavioral ecology of pheromone-mediated communication in the use of pheromone traps. *Ann. Rev. Entomol.* 36 : 407-430.
- Midgarden, D.G., R.R. Youngman & S.J. Fleischer. 1993.** Spatial analysis of counts of western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) adults on yellow sticky traps in corn: geostatistics and dispersion indices. *Environ. Entomol.* 22: 1124-1133.
- Naranjo, S.E. & W.D. Hutchison. 1997.** Validation of arthropod sampling plans using a resampling approach: software and analysis. *Am. Entomol.* 43: 48-57.
- Oliveira, I.R. 2003.** Amostragem de *Leucoptera coffeella* e de suas vespas predadoras no cafeeiro. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG, 87p.
- Pedigo, L.P. 1999.** Entomology and Pest Management. Upper Saddle River NJ, Prentice Hall, 691p.
- Pedigo, L.P., G.D. Butin & E.J. Bechinski. 1982.** Flushing technique and sequential-count plan for green cloverworm (Lepidoptera: Noctuidae) moths in soybeans. *Environ. Entomol.* 11: 1223-1228.
- Reis, P.R. & J.C. Souza. 1996.** Manejo integrado do bicho-mineiro *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae), e seu reflexo na produção de café. *An. Soc. Entomol. Brasil.* 25: 77-82.
- Rield, H. 1980.** The importance of pheromone trap density and trap maintenance for development of standardized monitoring procedures for the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Can. Entomol.* 112: 655-663.
- Sanders, C.J. 1988.** Monitoring spruce budworm population density with sex pheromone traps. *Can. Entomol.* 120: 437-444.

- Souza, J.C., P.R. Reis & R.L.O. Rigitano. 1998.** Bicho mineiro: biologia, danos e manejo integrado. 2 ed. Belo Horizonte: EPAMIG, 48p. (Boletim Técnico, 54).
- Wall, C, G. Garthwaite, D.J. Smyth & A. Sherwood. 1987.** The efficacy of sex-attractant monitoring for the pea moth, *Cydia nigricana* in England, 1980 – 1985. Ann. Appl. Biol. 103:1- 7.
- Wall, C. 1989.** Monitoring and spray timing. p.39-87.In: Jutsum, A.R. & R. F.S.Gordon. Insect Pheromones in Plant Protection. Chichester, John Wiley & Sons, 369p.
- Young, L.J. & J.H. Young. 1998.** Statistical Ecology: a population perspective. Norwel, MA, Kluwer Academic Publishers, 565p.

CAPÍTULO I

RELAÇÃO ENTRE A INTENSIDADE DE ATAQUE DE *Leucoptera coffeella* E A CAPTURA DE MACHOS EM ARMADILHA DE FEROMÔNIO SEXUAL

RESUMO - Armadilhas de feromônio sexual foram testadas para o monitoramento de machos do bicho-mineiro do café, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Ménéville) (Lepidoptera: Lyonetiidae). Foram realizadas avaliações das populações de machos de *L. coffeella* e da percentagem de folhas minadas e ovos em sete cafezais localizadas em na região do Triângulo Mineiro e na Zona da Mata, Minas Gerais. O período de avaliação variou de 6 a 20 meses. Verificou-se que a relação entre a captura de machos e a percentagem de folhas minadas diferiu entre as regiões. Para o Triângulo Mineiro foi encontrada relação positiva entre a captura dos machos e a percentagem das folhas minadas ($R^2 = 0,79$). Já, para a Zona da Mata essa relação foi também significativa, porém fraca ($R^2 = 0,06$). Nesta última região também observou-se uma relação significativa e positiva entre os machos capturados e os ovos da praga ($R^2 = 0,34$). Das variáveis climáticas analisadas, a diminuição na temperatura média favoreceu o incremento da infestação dos cafezais e a captura dos machos. Os resultados deste estudo sugerem que existe uma relação significativa entre captura de

machos e a densidade populacional de *L. coffeella* e, portanto as armadilhas podem ser utilizadas para o monitoramento do bicho-mineiro do café.

PALAVRAS-CHAVE: Bicho-mineiro do café, *Coffea arabica*, amostragem, manejo de pragas.

RELATIONSHIP BETWEEN DAMAGE INTENSITY OF *Leucoptera coffeella* AND MALES CAPTURE IN SEXUAL PHEROMONE TRAPS

ABSTRACT - The use of pheromone traps was tested for monitoring males of the coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). Insect sampling was carried out in seven coffee plantations under different agronomic conditions in the two regions - Triângulo Mineiro and Zona da Mata, both in the state of Minas Gerais. The sampling period ranged from 6 to 20 months. The locality significantly affected male capture. Among the weather variables analyzed, the decrease in the average temperature favored higher infestations of *L. coffeella* in coffee plants and higher male capture. A positive relation between male capture and percent of leaves mined ($R^2 = 0.79$) was observed in the Triângulo Mineiro while in Zona da Mata this relationship was weak, although significant ($R^2 = 0.06$). In this last region, a positive and significant correlation between males captured and pest eggs was observed ($R^2 = 0.34$). The results of this study suggest that there is a significant correlation between the male capture by pheromone traps and the population density of *L. coffeella*, emphasizing the potential of pheromone traps for monitoring the coffee leaf miner.

KEY WORDS: Coffee leaf miner, *Coffea arabica*, sampling, pest management

1.1. INTRODUÇÃO

O monitoramento de lepidópteros - praga utilizando-se armadilhas iscadas com feromônio é uma ferramenta importante no manejo integrado de pragas. A captura de machos nessas armadilhas pode ser um bom método para determinar a intensidade do ataque das larvas de lepidópteros nas culturas agrícolas (Wall 1989, Jones 1998). Porém alguns estudos têm sido demonstrado que nem sempre é possível determinar níveis de ação a partir da contagem do número de adultos de mariposas capturados em armadilhas com feromônio (Hallett *et al.* 1995, Asaro *et al.* 2004).

Existem vários exemplos de correlações positivas entre a captura dos machos e o dano da praga (Polavarapu & Seabrook 1992, Latheef *et al.* 1993, Faccioli *et al.* 1993, McBrien *et al.* 1994, Evenden *et al.* 1995, Asaro & Berisford 2001). No entanto, a relação entre a captura de machos nas armadilhas de feromônio e a densidade de larvas, mesmo que seja positiva e significativa, pode variar entre os anos (McNally & Van Steenwyk 1986), entre regiões e entre plantas hospedeiras (Allen *et al.* 1986). Para fazer previsões dos surtos populacionais das pragas visando o controle utilizando limiares de ação, torna-se necessário o estabelecimento das relações funcionais entre as densidades de adultos de mariposas nas armadilhas de feromônio e as intensidades de ataque de larvas em diferentes condições ambientais (Wall *et al.* 1987).

Fatores bióticos e abióticos podem influenciar na emissão do feromônio das armadilhas e na recepção do feromônio pelo inseto (McNeil 1991), induzindo a falta de correlação positiva entre as capturas de adultos de Lepidoptera nas armadilhas e a intensidade de ataque do inseto. Dentre os fatores que afetam essa correlação, como a competição exercida pelas fêmeas (Cardé 1979, Elkinton & Cardé 1984a, Kondo & Tanaka 1994), a diferença de tempo entre as capturas e a amostragem da densidade populacional da praga (Campion 1984), a densidade muito baixa da praga (Wall 1989) e as condições climáticas que podem alterar a biologia da praga afetando a receptividade do feromônio sexual. Estes fatores podem afetar a emissão do feromônio da armadilha levando a uma interpretação errônea das capturas (McNeil 1991).

No Brasil, a praga de maior importância econômica na cultura do café é o bicho-mineiro *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae), praga que pode causar prejuízos consideráveis na produção, quando não são tomadas medidas de controle (Reis & Souza 1996). Nos programas de manejo integrado de pragas, este inseto é monitorado mediante a amostragem das folhas minadas. Esta prática, geralmente requer elevado número de amostras para se obter alto grau de precisão, demandando alto custo de mão de obra (Vieira *et al.* 1999). Outra forma de se amostrar as populações de *L. coffeella* para determinação de necessidade de controle é utilizando-se armadilhas com feromônio sexual.

Lima (2001) propôs a utilização de um protótipo de armadilha, iscada com feromônio sexual sintético da fêmea do bicho-mineiro, em programas de monitoramento dessa praga. Para tanto, é importante avaliar as capturas de machos de *L. coffeella* que refletem a densidade populacional do inseto e com isto desenvolver programas de amostragem. O objetivo deste estudo foi determinar a relação entre o número de machos capturados nas armadilhas de feromônio e a percentagem de folhas minadas e o número de ovos de *L. coffeella* em lavouras de café com diferentes condições agronômicas.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

Localidades. Os experimentos foram conduzidos em sete cafezais (*Coffea arabica*) localizados na Zona da Mata e no Triângulo Mineiro, Estado de Minas Gerais, Brasil (Tabela 1). Nas lavouras não foram aplicadas inseticidas, exceto em Paula Cândido (Zona da Mata) onde foi feita uma pulverização com o inseticida Polytrim 40/400 CE (cipermetrina e prenofós) (200 ml/ha) em setembro de 2004. Este cafezal foi o único que teve irrigação, segundo os requerimentos hídricos da cultura. Os dados climáticos foram obtidos nas estações climatológicas de cada município.

Armadilha. A armadilha usada foi do tipo delta, de cor branca, com base de 20 x 20 cm e altura de 11 cm, iscada com pastilha de feromônio sexual do bichomineiro (mistura racêmica 5,9-dimetilpentadecano, sintetizado por Fuji Flavor Co. Ltda., Tóquio, Japão). O feromônio foi utilizado na dose de 300µg/ por pastilha, trocada a cada 30 dias, juntamente com a placa de piso adesiva da armadilha. As armadilhas foram posicionadas entre 20 e 50 cm do nível do solo, em espaçamento de 20 metros entre elas. Em cada área foi colocado um número variável de armadilhas por hectare (Tabela 1), as quais foram distribuídas ao acaso cerca de 10 metros da borda do cafezal.

Monitoramento. Os machos do bicho-mineiro capturados nas armadilhas foram removidos a cada 15 (Zona da Mata) e 8 dias (Triângulo Mineiro). Para a avaliação da porcentagem de folhas de café minadas, foram amostradas ao acaso 20 plantas por hectare, na área de influência da armadilha, a 10 m de distância desta (4 plantas por cada armadilha). Em cada planta foram avaliadas dez folhas de diferentes ramos do terço médio, retirando-se a quarta ou a quinta folha contando-se do ápice para a base do ramo. As folhas retiradas foram acondicionadas em saco plástico para posterior determinação da porcentagem de folhas minadas ativas (com larvas vivas) (Oliveira 2003). Adicionalmente, nas cinco localidades da Zona da Mata foram feitas contagens quinzenais de ovos nas folhas amostradas, utilizando-se microscópio estereoscópico (aumento 30x).

Análises Estatísticas. Para determinar a influência dos fatores climáticos e as nas variáveis de resposta analisadas, foram feitas correlações canônicas entre os dados climáticos (temperatura média, mínima, máxima e precipitação) e as capturas de machos e a porcentagem de folhas minadas (PROC CANCORR; SAS Institute 2001). Foi realizada uma regressão geral da porcentagem de folhas minadas e número de machos capturados das regiões estudadas (PROC GLM; SAS Institute, 2001). Para determinar se a região (Triângulo Mineiro e Zona da Mata) afetou a relação entre a porcentagem de folhas minadas e a captura de machos foi realizada uma análise de covariância, utilizando como covariável cada localidade (Tabela 1) (PROC GLM; SAS Institute, 2001).

Quando se encontrou efeito significativo da localidade na análise de covariância, foram realizadas regressões lineares para cada região estudada. A porcentagem de folhas minadas e o número de ovos foi utilizada como variável independente e a captura de machos como variável dependente. As regressões entre as capturas de machos e a porcentagem de folhas minadas ou número de ovos foram feitas para os mesmos períodos de avaliação.

Testes de normalidade e homogeneidade da variância foram executados mediante o uso do procedimento UNIVARIATE (SAS Institute 2001) para as contagens de machos, número de ovos por folha e para a porcentagem de folhas

minadas. Para verificar se estes dados satisfazem os pressupostos da estatística paramétrica foram feitas as transformações pertinentes.

1.3. RESULTADOS

Flutuação populacional de *L. coffeella*. Na Zona da Mata, as maiores populações de adultos, de ovos e de folhas minadas foram encontradas no segundo semestre do ano. O aumento da densidade da praga, principalmente de adultos, iniciou-se em março e se manteve até novembro, diminuindo após essa data e continuando baixa até abril (Figs. 1 e 2). Para a região do Triângulo Mineiro constatou-se que as populações permaneceram baixas de janeiro a abril, em maio foi verificado o aumento da população (Fig. 1).

As capturas de machos foram maiores no Triângulo Mineiro do que na Zona da Mata. Na região do Triângulo Mineiro foram registradas as maiores capturas de machos chegando-se a obter uma média de 40 machos por armadilha por semana no mês de dezembro (Fig. 1). Na Zona da Mata, a captura máxima de adultos foi de 16 machos por armadilha para 15 dias no mês de outubro. Com relação as folhas minadas foram observadas maiores intensidades de ataque na Zona da Mata (máximo de 16% de folhas minadas) do que no Triângulo Mineiro (máximo de 3% de folhas minadas). O aumento das populações em ambas regiões ocorreu na época de estiagem e de diminuição da temperatura. Além disto, a menor população coincidiu com o aumento da precipitação e da temperatura (Figs. 1, 2, 3 e 4).

Correlações entre as populações de *L. coffeella* e as variáveis climáticas.

Detectou-se correlação significativa entre as variáveis climáticas (precipitação, temperatura média) com a percentagem de folhas minadas por *L. coffeella* para as duas regiões analisadas (Wilk's $\lambda = 0,94$; $F = 2,29$; $df_{num/den} = 4/328$; $p < 0,05$). Dos dois eixos gerados, o primeiro eixo canônico foi significativo (Tabela 2). As correlações e coeficientes canônicos indicaram que a diminuição na temperatura média está relacionada com o aumento na percentagem de folhas minadas por *L. coffeella* para ambas localidades (Tabela 2, Fig. 1, 2, 3 e 4). As correlações simples da percentagem de folhas minadas e temperaturas médias foram de $r = -0,22$ e $p = 0,004$.

Relações entre capturas dos adultos machos e folhas minadas e ovos de *L. coffeella*.

A regressão geral para as duas regiões da captura de machos e folhas minadas foi não significativa ($R^2 = 0,12$; $p < 0,139$). Segundo a análise de covariância, verificou-se o efeito das regiões estudadas (Triângulo Mineiro e Zona da Mata) na captura dos machos ($F = 2,82$; $p < 0,01$). Portanto as condições ambientais e as populações de *L. coffeella* de cada região afetaram as capturas dos machos. Assim, as regressões das capturas em função da percentagem folhas minadas nas regiões da Zona da Mata e do Triângulo Mineiro foram feitas separadamente contribuindo para a diminuição da variabilidade produzida pelos fatores ambientais locais (Fig 5 e 6).

As regressões de maior significância e coeficiente de determinação foram obtidas quando se comparou o mesmo tempo de amostragem, tanto para machos como para as folhas minadas, e o número de ovos existentes naquele momento na lavoura (Fig 5, 6 e 7).

As regressões lineares para os machos capturados e a percentagem de folhas minadas das regiões da Zona da Mata ($R^2 = 0,06$; $p = 0,008$) e Triângulo Mineiro ($R^2 = 0,78$; $p < 0,0001$) foram altamente significativas (Figs. 5 e 6). Na Zona da Mata foi encontrada relação positiva entre a captura de machos e o número de ovos de *L. coffeella* ($R^2 = 0,34$; $p < 0,0001$) (Fig. 7).

1.4. DISCUSSÃO

Os resultados sugerem que o monitoramento de *L. coffeella* feito com armadilhas de feromônio deve ser iniciado em maio e finalizado em dezembro. Esta recomendação se baseia no fato de que neste período foram observadas as maiores capturas e percentagens de folhas minadas e também pelos registros populacionais encontrados por Souza *et al.* (1998) e Silva (2003).

A regressão entre as capturas de machos nas armadilhas de feromônio e a intensidade de ataque das pragas às culturas depende de fatores bióticos e abióticos. Assim, as capturas dos machos nas armadilhas de feromônio estão diretamente relacionadas com as condições climáticas que afetam aos machos na recepção do feromônio das armadilhas (Jones 1998). A densidade de *L. coffeella* nas plantas (percentagem de folhas minadas e número de ovos) por outra parte é afetada pela ação direta das chuvas e controle biológico exercido pelos parasitóides e predadores (Pereira 2002)

A relação geral entre captura de machos e a percentagem de folhas minadas quando o modelo envolveu todas as localidades não foi significativa. Entretanto, quando a regressão foi feita para cada região, encontrou-se significância fato que indica diferenças nas populações do bicho-mineiro, condições de lavoura de café e clima nas regiões do Triângulo Mineiro e da Zona da Mata. Sanders (1988) reporta

variação similar em relação a larvas de *Choristoneura fumiferana* Clemens e a captura de machos desta espécie em armadilhas de feromônio. Allen *et al.* (1986), que trabalharam também com *C. fumiferana* encontram altas correlações entre essas duas variáveis quando separaram a variabilidade das localidades e os fatores climáticos. Evenden *et al.* (1995) verificaram que as regressões das capturas de machos de *Lambdina fiscellaria* Hulst em função das densidades das larvas e pupas apresentaram maiores coeficientes de regressão quando os dados foram separados por datas.

A diferença entre as populações do Triângulo Mineiro e da Zona da Mata, também foi sugerida por Lima (2001), que reportou que os machos de *L. coffeella* de Zona da Mata são estimulados fortemente pelo esteroisômero 5S,9S-dimetilpentadecano (S,S). Já os machos do Triângulo Mineiro (Patrocínio, MG) foram muito pouco atraídos por essa substância. Vários estudos têm demonstrado que as diferentes populações de um inseto podem ter diferenças na qualidade do feromônio produzido pelas fêmeas (McElfresh & Millar 1999, Alderbrant *et al.* 2000). As intensas pulverizações de inseticidas normalmente feitas no Triângulo Mineiro (Fragoso *et al.* 2002), podem ter exercido uma pressão de seleção em *L. coffeella* levando a mudanças nos canais de comunicação destes insetos, explicando assim os resultados encontrados (Löfstedt 1993). As constantes modificações taxonômicas que *L. coffeella* vem sofrendo desde seu primeiro registro em 1860 até os dias atuais, são reflexo das variações populacionais que esta espécie apresenta (Fonseca 1944, Fragoso *et al.* 2002).

As diferenças observadas nas regressões entre o Triângulo Mineiro e a Zona da Mata (Figs. 5 e 6) podem ser conseqüência das diferenças no número de armadilhas na área avaliada e na freqüência de avaliação das armadilhas entre estas duas regiões. A diferença na freqüência da avaliação de machos capturados nas armadilhas também contribuiu nas diferenças das capturas encontradas para as duas regiões avaliadas. Teoricamente com a menor freqüência de captura e menor percentagem de folhas minadas no Triângulo Mineiro esperava-se obter menor inclinação na regressão do que para a Zona da Mata, mas o contrário foi verificado

evidenciado que tanto as condições bióticas como abióticas favorecem as populações de machos do Triângulo Mineiro na recepção do feromônio.

As diferenças nas condições das lavouras das regiões estudadas, tanto de idade dos cafezais, quanto de densidade de plantio, topografia, altitude, variedades poderiam afetar a emissão da pluma do feromônio e com isto afetariam as capturas de machos de *L. coffeella* (Tabela 1). No Triângulo Mineiro, o sistema de produção de café é de agricultura industrial, onde predomina a uniformidade das práticas agrônômicas; além disso, a topografia é plana. Já, na Zona da Mata o sistema de produção é de agricultura familiar caracterizado pela diversidade de manejo da cultura e topografia irregular. Esses fatores possivelmente contribuíram para a obtenção de um maior coeficiente de regressão no Triângulo Mineiro do que na Zona da Mata. Segundo Elkinton & Cardé (1984), a pluma do feromônio segue a trajetória do vento e pode ser influenciada pelo relevo e a arquitetura das plantas. Portanto, a pluma de feromônio gerada nas armadilhas nas diferentes densidades de plantio e alturas de planta deste experimento, possivelmente afetou a recepção da pluma pelo macho do bicho mineiro. Estas densidades também afetam diretamente no grau de adsorção do feromônio nas plantas que também influenciam nas capturas (Wall *et al.* 1981).

Segundo o capítulo II desta tese, a independência espacial entre armadilhas de feromônio para a captura de machos de *L. coffeella* foi de 110 e 177 m, no entanto, as distâncias utilizadas em Patrocínio e a Zona da Mata foram de 20 e 40 m, respectivamente. O fato de utilizar um espaçamento curto entre armadilhas, principalmente na Zona da Mata, possivelmente contribuiu para encontrar uma maior interferência entre a captura nas armadilhas que foram refletidos na fraca relação entre capturas e folhas minadas.

As condições climáticas adversas podem reduzir a atividade dos insetos, limitando as capturas de machos (Elkinton & Cardé 1984, Howse 1998). O aumento da velocidade do vento, mudanças na temperatura e as chuvas afetam diretamente o vôo dos insetos, diminuindo sua habilidade para atingir a fonte de feromônio da

armadilha e dissipam a atratividade das plumas do feromônio necessária para sua localização (Elkinton & Cardé 1984b, Howse 1998, Sappington & Spurgeon 2000).

Verificou-se correlações significativas entre as capturas e a infestação de *L. coffeella* com a temperatura. Segundo McNeil (1991), alta ou baixa temperatura podem influenciar na recepção do feromônio sexual do macho. A temperatura também pode afetar a seletividade dos machos em relação às misturas de feromônio, como foi registrado em *Grapholita molesta* Busck e *Pectinophora gossypiella* Saunders, nos quais a receptividade dos machos diminuiu quando se aumentou a temperatura de 20°C para 26°C (Linn *et al.* 1988).

Neste estudo encontrou-se que as maiores infestações e capturas de machos de *L. coffeella* coincidem com as épocas secas e de menor temperatura, fato também relatado por Silva (2003) e Nestel *et al.* (1994). Essa maior captura também é reflexo de maiores populações de larvas nas plantas, ataque este que possivelmente reflete maiores concentrações de cairomônios nas folhas (Silva 2003), e de menor mortalidade das larvas (Pereira 2002).

A mortalidade das formas imaturas de *L. coffeella* também pode ocorrer por parasitismo e predação (Souza *et al.* 1998, Pereira 2002), afetando as populações de machos e conseqüentemente as capturas esperadas, tal como foi descrito por Hillier *et al.* (2004), para *Grapholita libertina* Heinrich e Sanders (1988), para *C. fumiferana*.

Na época de altas populações de *L. coffeella*, a grande quantidade de fêmeas pode afetar a taxa de captura dos machos, pela competição exercida pelas fêmeas virgens (Cardé 1979, Elkinton & Cardé 1984a, Kondo & Tanaka 1994).

No caso da regressão feita para os ovos com as capturas de machos de *L. coffeella* para a Zona da Mata (Fig. 7), obteve-se coeficiente de regressão mais alto do que o das folhas minadas. Isto possivelmente ocorreu porque os ovos são estádios menos visíveis (cor transparente e morfologia aplanada) deixando-os menos expostos a ação de inimigos naturais. A percentagem de folhas minadas num dado momento são resultantes da reprodução dos adultos capturados nas armadilhas em períodos anteriores. O período entre a captura de machos nas armadilhas e o

surgimento dos ovos provenientes da reprodução destes é menor que o período entre a captura e o surgimento de larvas. A incubação do ovo do bicho-mineiro é de 9,8 dias e o período larval é de 20,5 dias a 20 °C (Parra 1985). Dependendo da localidade, a frequência de amostragem de captura e folhas minadas foi de 8 a 15 dias, períodos suficientes para o desenvolvimento das larvas amostradas através da percentagem de folhas minadas.

Neste trabalho pioneiro na utilização de feromônios no monitoramento do bicho-mineiro, houve relação significativa entre a captura de machos com índice populacional da praga (percentagem folhas minadas) e a estimativa da densidade (número de ovos por folha) em duas zonas produtoras. Esta relação pode ser usada para fazer previsões da praga com objetivo de controle, principalmente para a obtenção de um limiar de ação. Mas, para incorporar este tipo de monitoramento (armadilhas de feromônio) é preciso fazer primeiro validações, que permitam incorporar esta ferramenta no manejo integrado do bicho-mineiro. Uma das condições para validar esta ferramenta, é a obtenção de altos coeficientes de determinação nas correlações, além de avaliar as populações durante mais de três anos (Asaro & Berisford 2001). A cultura do café apresenta uma bianualidade da produção, condição que sugere que as correlações teriam que ser feitas em período maior do que quatro anos para, se obter resultados que possam ser utilizados no manejo da praga. O fato de encontrar uma relação significativa é um bom motivo para continuar com as pesquisas no monitoramento de *L. coffeella* usando feromônio sexual.

1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, D. C., L.P. Abrahamson, D.A. Eggen, G.N. Lanier, S.R. Swier, R.S. Kelley, & M. Auger. 1986.** Monitoring spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae) populations with pheromone-baited traps. *Environ. Entomol.* 15: 152-165.
- Anderbrant, O., J. Löfqvist, H.E.Högberg, E. Hedenström, N. Baldassari, P. Baronio, G. Kolmakova, B. Lyons, T. Naito, V. Odinkov, J. Simand, A. Supatashvii, A. Tai & R. Tourianov. 2000.** Geographic variation in the field response of male European pine sawflies, *Neodiprion sertifer*, to different pheromone stereoisomers and esters. *Entomol. Exp. Appl.* 95: 229-239.
- Asaro, C. & C.W. Berisford. 2001.** Predicting infesting levels of the Nantucket pine tip moth (Lepidoptera: Tortricidae) using pheromone traps. *Environ. Entomol.* 30: 776-784.
- Asaro, C, R.S. Cameron, J.T. Nowak, D.M. Grosman, J. O. Seckinger & C. W. Berisford. 2004.** Efficacy of wing versus delta traps for predicting infestation levels of four generations of the nantucket pine tip moth (Lepidoptera: Tortricidae) in the Southern United States. , *Environ. Entomol.* 33: 397-404.

- Cardé, R.T. 1979.** Behavioral response of moths to female produced pheromone and the utilization of attractant baited traps for population monitoring, p. 286-315. In H. E. Hummel & T. A. Miller (eds.), Movement of highly mobile insects: Concepts and methodology in research. Raleigh, North Carolina State University, 456p.
- Campion, D.G. 1984.** Survey of pheromone uses in pests control, p. 405-449. In H.E. Hummel & T. A. Miller (eds.), Techniques in pheromone research. New York, Springer-Verlag, 464p.
- Fonseca, J.P. 1954.** O “Bicho mineiro” das folhas de cafeeiro. O Biolog. 10: 253-258.
- Elkinton, J. S. & R.T. Cardé. 1984a.** Effect of wild laboratory-reared female gypsy moths, *Limantria dispar* L. (Lepidoptera: Lymantridae), on the capture of males in pheromone-baited traps. Environ. Entomol. 13: 1377-1385.
- Elkinton, J.S. & R.T. Cardé. 1984b.** Odor Dispersion, p. 73-91. In W.J. Bell, & R. T. Cardé, (eds.), Chemical Ecology of Insects. New York, Chapman and Hall. 512p.
- Evenden, M.L., J.H. Borden, & G.A. Van Sickle. 1995.** Predictive capabilities of a pheromone-based monitoring system for western hemlock looper (Lepidoptera: Geometridae). Environ. Entomol. 24(4): 933-943.
- Faccioli, G., A. Antropoli & E. Pasquali. 1993.** Relationships between males caught with low pheromone doses and larval infestation of *Argyrotaenia pulchellama*. Entomol. Exp. Appl.. 68: 465-170.
- Fragoso, D.B., R.N.C. Guedes, M.C. Picanco, L. Zambolim. 2002.** Insecticide use and organophosphate resistance in the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). Bull. Entomol. Res. 92: 203-212.
- Hallett, R. H., Angerilli, N. P. D. & J. H. Borden. 1995.** Potential for sticky trap monitoring system for the diamondback moth (Lepidoptera: Yponomeutidae) on cabbages Indonesia. Int. J. Pest. Manage. 41: 205-207.

- Hillier, N.K., P.L. Dixon & D.L. Jarson. 2004.** Trap captures of male *Grapholita libertina* (Lepidoptera: Tortricidae) moths: relationship to larval numbers and damage in wild lingonberry. *Environ. Entomol.* 33: 405-417
- Howse, P.E. 1998.** Insect semiochemical and communication, p.1-37. In P.E. Howse, I. Stevens, O. Jones (eds), *Insect pheromones and their use in pest management*. London, Chapman & Hall, 369p.
- Jones, O.T. 1998.** Practical applications of pheromones and other semiochemicals, pp. 261-355. In P.E. Howse, I. Stevens & O. Jones (eds), *Insect pheromones and their use in pest management*. London, Chapman & Hall, 369p.
- Kondo, A. & F. Tanaka, 1994.** Effect of wild females on pheromone trap efficiency in two annual generations of the rice stem borer moth *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae). *App. Entomol. Zool.* 29: 279-281
- Latheef, M.A., J.A. Witz, J.D. Lopez Jr. 1991.** Relationships among pheromone trap catches of male corn earworm moths (Lepidoptera: Noctuidae), egg numbers and phenology in corn. *Can. Entomol.* 123: 271-281.
- Lima, E.R. 2001.** Ferômonio sexual do bicho-mineiro do café, *Leucoptera coffeella*: Avaliação para uso em programas de manejo integrado. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG, 71p.
- Linn, C.E., M.G. Campbell & W.L. Roelofs. 1988.** Temperature modulation of behavioral thresholds controlling male moth sex pheromone response specificity. *Physiol. Entomol.* 13: 59-67.
- Löfstedt, C. 1993.** Moth pheromone genetics and evolution. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 340:167-177.
- McBrien, H.L., G J.R. Judd & J.H. Borden. 1995.** *Campyloma verbasci* (Meyer: Miridae): pheromone-based seasonal flight patterns and prediction of nymphal densities in apple orchards. *J. Econ. Entomol.* 87: 1224 – 1229.
- McElfresh, J.S. & J.G. Millar. 1999.** Geographic variation in sex pheromone blend of *Hemileuca electra* from southern California. *J. Chem. Ecol.* 25:2505-2525.

- McNally, P.S. & R. Van Steenwyk. 1986.** Relationship between pheromones-trap catches and sunset temperatures during the spring flight to codling moth (Lepidoptera: Olethreutidae) infestations in walnuts. *J. Econ. Entomol.* 79: 444-446.
- McNeil, J.N. 1991.** Behavioral ecology of pheromone-mediated communication in moths and its importance in the use of pheromone traps. *Ann. Rev. Entomol.* 36: 407-430.
- Nestel, D., F. Dickschen & M.A. Altieri. 1994.** Seasonal and spatial population loads of tropical insect: the case of coffee leaf-miner in Mexico. *Ecol. Entomol.* 19:159-167.
- Oliveira, I.R. 2003.** Amostragem de *Leucoptera coffeella* e de suas vespas predadoras no cafeeiro. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG, 87p.
- Parra, R.R.P. 1985.** Biologia comparada de *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Méneville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) visando ao seu zoneamento ecológico no Estado de São Paulo. *Rev. Brasil. Entomol.* 29: 45-76.
- Pereira, G.E.J. 2002.** Variação sazonal dos fatores de mortalidade natural de *Leucoptera coffeella* em *Coffea arabica* Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG, 50p.
- Polavarapu, S. & W.D. Seabrook. 1992.** Evaluation of pheromone-baited traps and pheromone-baited traps and pheromone lure concentrations for monitoring blueberry leaf-tier (Lepidoptera: Tortricidae) populations. *Can. Entomol.* 124: 815-825.
- Reis, P.R. & J.C. Souza. 1996.** Manejo integrado do bicho-mineiro *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae), e seu reflexo na produção de café. *An. Soc. Entomol. Brasil.* 25: 77-82.
- SAS Institute. 2001.** SAS user's Guide: Statistics, version 8.2, 6th ed. SAS Institute, Cary, NC. Todd and Browde.
- Sanders, C.J. 1988.** Monitoring spruce budworm population density with sex pheromone traps. *Can. Entomol.* 120: 437-443.

- Sappington, T.W. & D.W. Spurgeon. 2000.** Variation in boll weevil (Coleoptera: Curculionidae) captures in pheromone arising from wind speed moderation by brush lines. *Environ. Entomol.* 87: 807-814.
- Silva, F.M. 2003.** Fitoquímicos como potenciais medidores da flutuação sazonal de *Leucoptera coffeella* e de seus inimigos naturais. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa MG, 51p.
- Souza, J.C., P.R. Reis & R.L.O. Rigitano. 1998.** Bicho mineiro: biologia, dano e manejo integrado. Belo Horizonte, EPAMIG, 48p. (Boletim Técnico, 54)
- Vieira J.N., L.H. Aquino, E. Bearzoti & J.C. Souza. 1999.** Otimização da amostragem seqüencial para o monitoramento do bicho-mineiro do cafeeiro *Perileuoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) em Lavras, Minas Gerais. *Ciênc. Agrotec.* 23: 707-718.
- Wall, C., G. Garthwaite, D.J. Smyth & A. Sherwood. 1987.** The efficacy of sex-attractant monitoring for the pea moth, *Cydia nigricana* in England, 1980 – 1985. *Ann. Appl. Biol.* 103:1-7.
- Wall, C., D.M. Sturgeon, A.R. Greenway & J.N. Perry. 1981.** Contamination of vegetation with synthetic sex-attractant released from traps for pea moth, *Cydia nigricana*. *Entomol. Exp. Appl.* 30: 11-15.
- Wall, C. 1989.** Monitoring and spray timing, p. 39-87. In A.R. Jutsum & R.F.S. Gordon (eds.), *Insect Pheromones in plant Protection*. Chichester, John Wiley & Sons, 369p.

Tabela 1. Características dos cafezais da Zona da Mata e Triângulo Mineiro onde foi feito o monitoramento de *L. coffeella* utilizando armadilhas de feromônio sexual

Localidade	Armadilhas (No.)	Tempo avaliado (meses)	Frequência da avaliação (dias)	Início e fim das avaliações (mês e ano)	Área (ha)	Variedade	Idade do cafezal (anos)	Espaçamento do cafezal (m)	Altitude (msnm)
Patrocínio BV13 ¹	72	6	8	12/04 – 05/05	30	Tupi	5	5 X 2.5	870
Patrocínio BV8 ¹	72	6	8	12/04 – 05/05	14	Mundo Novo	17	4 X 1	870
Viçosa UFV ²	10	20	15	10/03 – 05/05	1	Catuaí	27	3.5 X 2	644
Viçosa Silvestre ²	5	12	15	04/04 – 04/05	1	Catuaí	13	4 X 1	694
Paula Cândido ²	5	12	15	04/04 – 04/05	2	Topázio	3	2X1	703
Coimbra 1 ²	5	12	15	04/04 – 04/05	2	Catuaí	5	2 X 1	681
Coimbra 2 ²	5	12	15	04/04 – 04/05	2	Catuaí	5	2 X 1	665

¹Zona do Triângulo Mineiro e ²Zona da Mata

Tabela 2. Correlação canônica entre a captura de machos, percentagem de folhas minadas de *Leucoptera coffeella* e as variáveis climáticas no Triângulo Mineiro e na Zona da Mata

Variáveis	Pares Canônicos			
	Primeiro		Segundo	
	Coeficiente	Correlação	Coeficiente	Correlação
Variáveis da praga				
Captura de machos	0.17	0.29	-0.99	-0.95
% Folhas minadas	0.96	0.99	0.29	-0.17
Variáveis climáticas				
Temperatura média	-1.00	-1.00	-0.48	0.007
Precipitação	0.008	-0.43	1.11	0.90
r	0.22		0.07	
F aproximado	2.29		0.76	
Graus de liberdade (numerador/denominador)	4/328		1/165	
<i>P</i>	0.05		0.38	

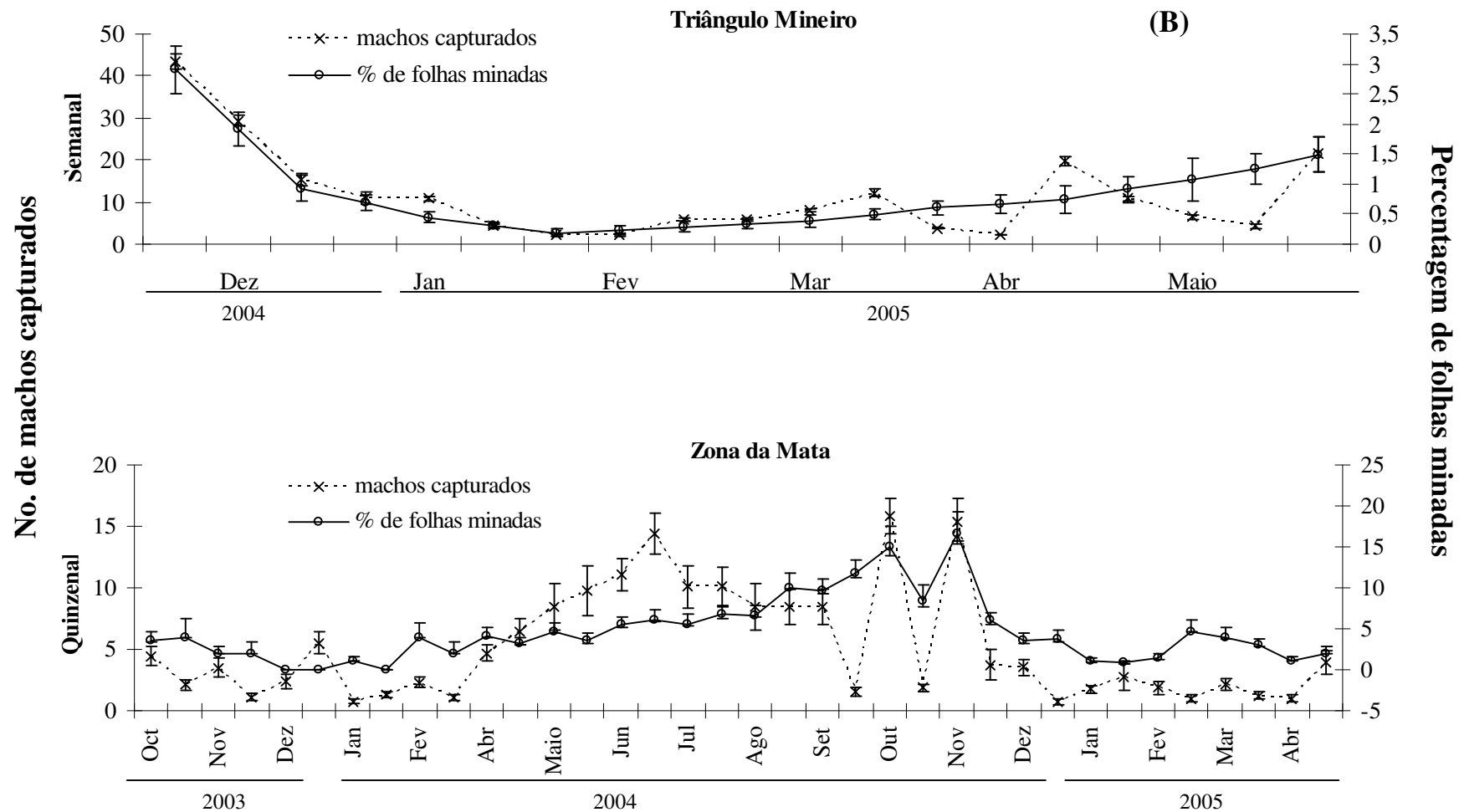


Figura 1. Flutuação populacional (média \pm erro padrão) dos machos e percentagem de folhas minadas por *Leucoptera coffeella* para o (A) Triângulo Mineiro e para a (B) Zona da Mata, de Minas Gerais de 2003 a 2005.

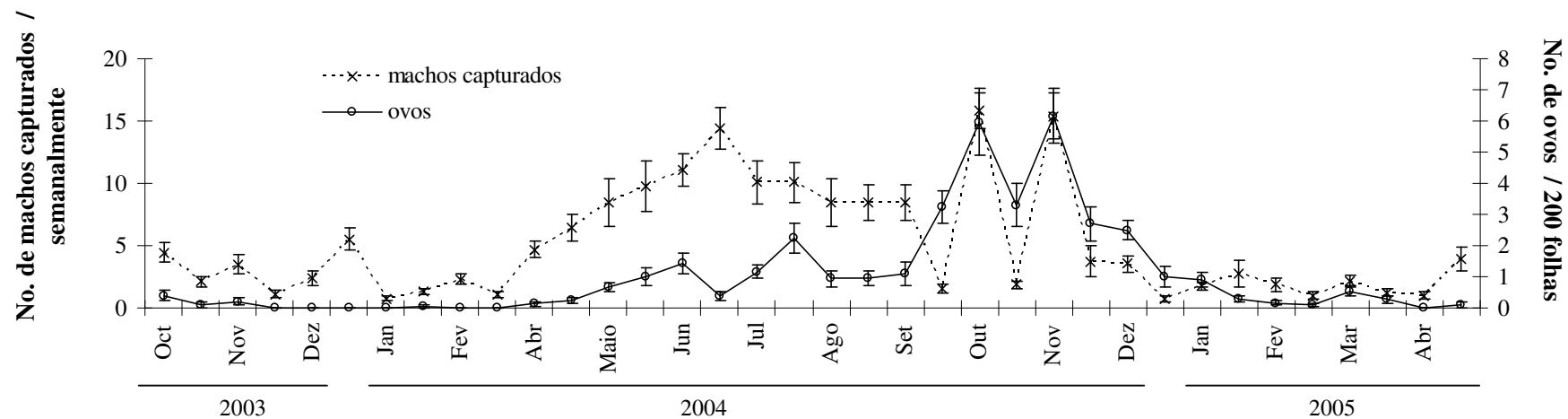


Figura 2. Flutuação populacional (média ± erro padrão) de machos e ovos de *Leucoptera coffeella* para a Zona da Mata, de Minas Gerais, de outubro de 2003 a maio de 2005.

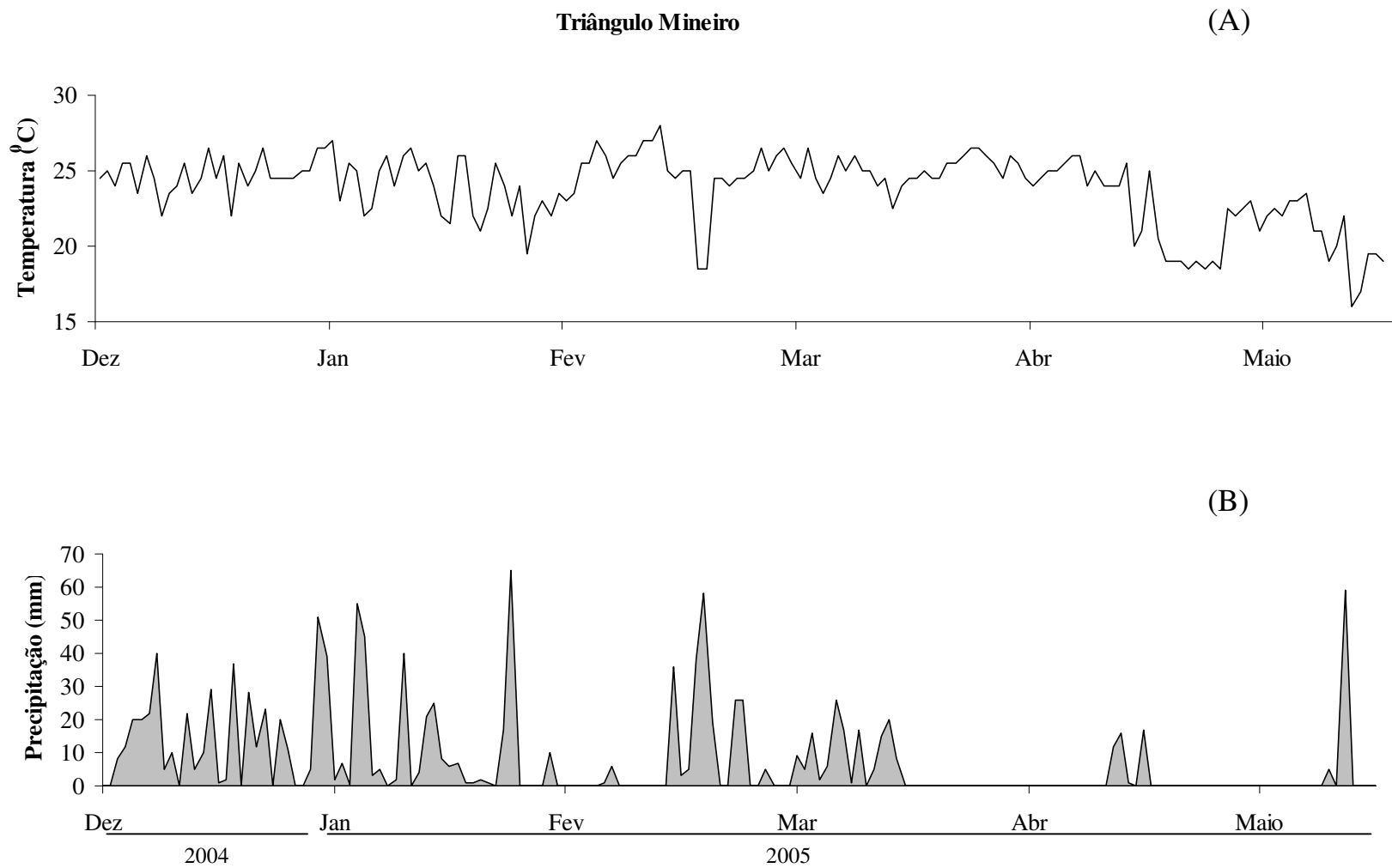


Figura 4. Dados climáticos de (A) temperatura (°C) média e (B) precipitação para o de Triângulo Mineiro, Minas Gerais de dezembro de 2004 a maio de 2005.

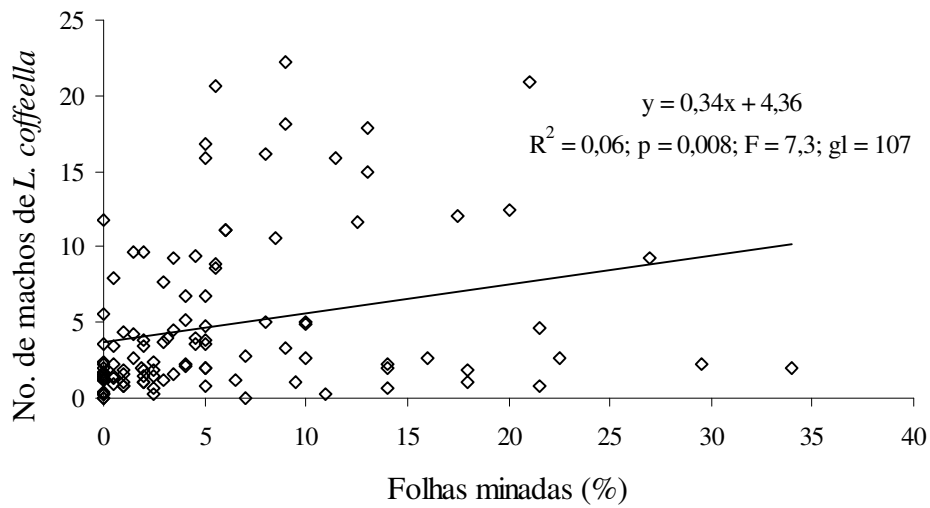


Figura 5. Regressão entre a captura quinzenal de machos adultos de *L. coffeella* e a percentagem de folhas minadas para a Zona da Mata, Minas Gerais.

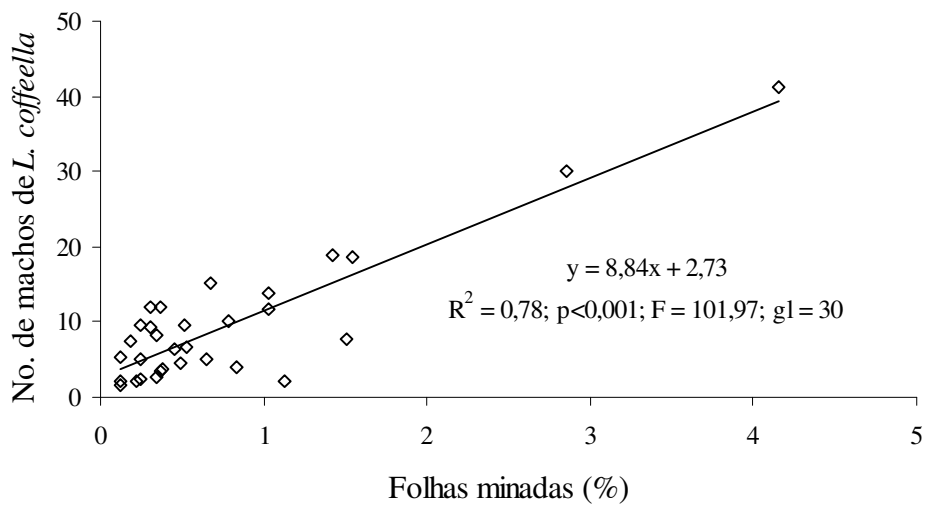


Figura 6. Regressão entre a captura semanal de machos adultos de *L. coffeella* e a percentagem de folhas minadas para o Triângulo Mineiro, Minas Gerais.

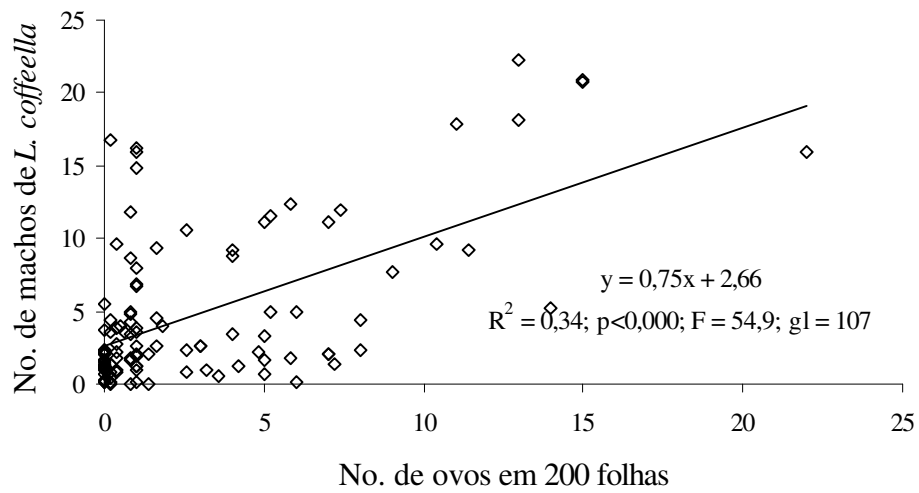


Figura 7. Regressão entre captura quinzenal de machos adultos de *L. coffeella* e o número médio de ovos em 200 folhas de café para a Zona da Mata, Minas Gerais.

CAPÍTULO II

OPTIMUM SPACING OF PHEROMONE TRAPS FOR MONITORING THE COFFEE LEAF MINER *Leucoptera coffeella*

ABSTRACT - Pest monitoring with pheromone traps is affected mainly by factors such as trap placement and pest biology. The inter-trap distance can affect the capture due to competition among traps that are placed at short distances. We studied the interference among pheromone traps used to monitor males of the coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae), with traps placed at various distances. Using geostatistical analysis, we determined at what distance captures were independent from other traps. Traps were placed in groups of 12 with distances among traps per group either 2, 5, 10, 15, or 30 m. Traps were checked for males every 4 days during 16 days. We found interference between traps when inter-trap distances were shorter than 10 m. The range and magnitude of spatial dependence varied considerably among each sampling date and wind direction. For directions of 45° and 135°, the traps should be placed 110 m and 177 m apart, respectively, to obtain spatially independent counts and therefore representative samplings for assessing the insect population in the area. These results have implications for developing sampling plans for managing *L. coffeella* with pheromone traps; the spatial

analysis indicated that a trap density of one pheromone trap for every 3.5-4 ha would be adequate for the monitoring of the coffee leaf miner.

KEY WORDS - Population monitoring, sex pheromone, trap density, trap interaction, sampling range, geostatistics, spatial analysis, coffee pest, Brazil, Lyonetiidae, Lepidoptera

ESPAÇAMENTO ÓTIMO ENTRE ARMADILHAS DE FEROMÔNIO PARA O MONITORAMENTO DO BICHO –MINEIRO DO CAFÉ

Leucoptera coffeella

RESUMO – O monitoramento de pragas utilizando armadilhas de feromônio é afetado principalmente pela localização das armadilhas e por fatores da biologia do inseto. A distância entre armadilhas pode afetar a captura devido a competição das plumas do feromônio, quando as mesmas são alocadas próximas. Neste trabalho foi estudada a interferência entre armadilhas de feromônio utilizadas para o monitoramento de machos de bicho-mineiro do café, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae), utilizando armadilhas localizadas a diferentes distâncias. Foram feitas análises geoestatísticas para determinar a distância onde as capturas foram independentes entre armadilhas. Grupos de 12 armadilhas foram alocados utilizando várias distâncias (2, 10, 15 ou 30 m) entre cada grupo. A contagem de machos foi registrada a cada 4 dias durante 16 dias. Foi encontrada uma interferência entre armadilhas, quando estas ficam a distâncias menores de 10 m. O alcance e a magnitude da dependência espacial variaram consideravelmente entre cada amostragem para cada data de avaliação e direção do vento. Nas direções perpendiculares (45°) e paralelas (135°) às linhas de plantio de café, as armadilhas espaçadas com 110 e 177 m, respectivamente obtiveram uma independência espacial nas capturas e, portanto, estes espaçamentos são importantes na representatividade das amostragens da população do inseto na área de estudo. Estes resultados têm implicações no desenvolvimento de planos de amostragem para o manejo de *L. coffeella* quando são utilizadas armadilhas de feromônio. As análises espaciais indicam que uma armadilha a cada 3.5 – 4 ha é adequada para o monitoramento do bicho-mineiro do café.

PALAVRAS-CHAVES – Monitoramento da população, feromônio sexual, densidade de armadilhas, interação entre armadilhas, alcance de amostragem,

geoestatística, análises espaciais, pragas de café, Brasil, Lyonetiidae, Lepidoptera.

2.1 INTRODUCTION

The coffee leaf miner, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae), is one of the major pests of coffee in almost all coffee growing areas of the Americas, causing significant yield losses (Le Pelley, 1968; Souza et al., 1998). In many areas, including Brazil, insecticides are generally used to control this pest, but the development of resistance to the commonly used organophosphate insecticides has compromised this control method (Fragoso *et al.*, 2002, 2003). Because insecticide applications are most efficient when control decisions are based on population levels within individual fields (Pedigo, 1999), one method to reduce the use of insecticides in coffee fields is through the efficient monitoring of pest populations in order to determine the correct timing of pesticide applications. Estimating the percentage of leaves mined is often labour intensive because it requires examination of a high number of leaves (Vieira et al., 1999). A good alternative for such sampling is the use of pheromone traps (Howse et al., 1998). By monitoring *L. coffeella* males using pheromone traps, it may be possible to determine the correct timing for insecticide applications, leading to a reduced and more rational use of insecticides.

Francke et al. (1988) identified the sex pheromone of *L. coffeella* and, starting from this research, Lima (2001) carried out field studies aimed to assess the best method for monitoring numbers of *L. coffeella* males (i.e., trap design,

trap height, pheromone persistence, and effectiveness of doses). Several factors affect the efficiency of pheromone traps (Howse et al., 1998; McNeil, 1991). One of these factors is the density of traps; inter-trap distances may affect the number of males captured because of interference between traps. When traps are placed close to each other, their radius of attraction may overlap, thus reducing the number of males caught per individual trap. In fact, trap interference may occur even without such overlap due to insect flight between different trapping zones (Wall & Perry, 1978, 1980, 1987). Furthermore, the interaction of traps is not constant with distance, but varies with lure concentration and wind conditions. By reducing the pheromone release, the active space of a trap decreases because the average concentration of pheromone downwind from the traps decreases (Judd & Borden, 1989; Bradshaw et al., 1989).

Various methods are used to determine the inter-trap distance that may affect the captures or the active space of the pheromone plume. To find this distance, Elkinton & Cardé (1988) and Wedding et al. (1995) compared male captures in traps deployed in grids and hexagonal arrays with different distances. A mark-release-recapture technique has also been used to obtain the range over which the pheromone is attractive (Elkinton & Cardé, 1980; Bradshaw et al., 1989; Kondo & Tanaka, 1994; Turchin & Odendaal, 1996). A suitable inter-trap distance is obtained when the insect capture stabilizes with increasing distance between traps.

Another method to determine inter-trap distance was proposed by Rield (1980). Slightly different ranges of trap densities were tested in each of the Rield's experiments. The lowest trap density was 1 per ha, the highest 2.2 per ha. From these data a quadratic regression was estimated that relates the relative increase in trap catch to trap area, but this estimate is affected by characteristics of male dispersion. Another way of estimating optimum trap density or sample size is using a relationship between mean and variance (Jansson et al., 1989; Sallam & Garrad, 2001). These authors determined the number of pheromone traps to use per area, but this method to estimate the number of traps ignores the spatial location. Recent studies of insect populations have used a more explicit incorporation of space by specifying space as a function of distance through

geostatistical tools (Liebhold et al., 1993; Blom & Fleischer 2001). Geostatistical analyses use information on the value of a sample and its location, to summarize the correlation among points at various distances and directions (Liebhold et al., 1993). Thus, geostatistical methods provide a more direct measure of spatial dependence by calculation of the minimal distance among traps that are statistically and spatially independent (Sciarretta et al., 2001; Gilbert et al., 2003; Ryan et al., 2004).

Our goals were to determine the interference distance of pheromone traps and estimate an inter-trap distance at which independence between trap captures occurred, thus allowing an efficient trap distribution in the field, while preserving accuracy of population estimates. Geostatistical techniques were applied to determine the maximum distance at which dependence between trap captures exists.

2.2 MATERIAL AND METHODS

Experimental plots and insect trapping. The study was conducted between July and August 2004, the main period of *L. coffeella* infestation in the region (Souza et al., 1998), at the farm of Daterra Atividades Rurais Ltda, in the county of Patrocínio, state of Minas Gerais, Brazil. The experiment was carried out in a 6-year-old plantation (30 ha) with 2.5 m between plants and 5 m between rows. White Delta traps (Biocontrole®, São Paulo, Brazil) and pheromone lures of 300 µg (racemic mixture of the synthetic pheromone 5,9-dimethylpentadecane, synthesized by Fuji Flavour Co. Ltd., Tokyo, Japan), were used to capture the insects. The pheromone-baited lures were placed on white sticky pads with a black grid-lined surface (total sticky surface of 400 cm²). The traps were suspended from a coffee tree branch at a height of 0.2-0.5 m above the soil. All sampled data points were georeferenced using a global positioning system.

Treatments. Traps were deployed in grid arrays to assess trap interference. Within each grid, 12 traps were deployed and spaced at either 2, 5, 10, 15, or 30 m apart. Each of these grid distance treatments was replicated six times. The minimum distance between neighbouring grids was 50 m (Figure 1). Additional traps (189) were installed on the borders of the sub-areas with a distance of 20 m between traps (Figure 1). A total of 549 traps were used in the experiment. The wind direction was determined by scoring displacement of smoke from a burning

stick during the morning and the afternoon of the experiment, which coincides with the beginning and the end of the period of the day in which males fly (Michereff, 2000).

Field counts. The number of males captured in the traps was recorded 4, 8, 12, and 16 days after placing the traps. The percentage of leaves mined was estimated by taking 10 leaves from each coffee plant containing a pheromone trap. The leaves (4th and 5th leaves, counting from the tip of a branch) were collected from the top third of the canopy of each coffee plant (Oliveira, 2003). Such sampling was carried out only once during the placement of the pheromone traps.

Statistical analysis. The number of males trapped on each date was log-transformed and subjected to ANOVA; the means of different grids were separated using Fisher's least-significant difference (LSD) test ($\alpha = 0.05$). The male capture per m^2 as a function of grid distances was estimated using the nonlinear regression function $y = ax^b$, where y is the density of male *L. coffeella* captured per m^2 , x is the grid distance, and a and b are constants obtained as fitted parameters. The number of males captured per m^2 was determined by using the ratio between the number of males captured by the pheromone traps and each grid distance. The area of capture of each trap was estimated based on the radius of a circle centred at the trap, which varied according to the grid under consideration.

A semivariogram was used to calculate spatial dependence among pheromone traps and to determine a minimal distance at which interference for captures occurs. The semivariogram plots the sample semivariance (estimated as 0.5 of the average squared difference between sample pairs for the separation distances). The formula of the semivariogram is

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{(ij)h_{ij} \approx h} (c_i - c_j)^2$$

$N(h)$ is the number of pairs of traps separated by distance h ; c_i is the number of males captured at the first trap of the pair; and c_j is the value for the

number of males captured at the second trap of the pair for every two-by-two trap combination within a particular grid and between grids (Liebhold et al., 1993). The variances of capture at each distance were plotted against their respective h -values. If spatial dependence is present, the semivariance is small for low values of h and increases with h . The semivariance will eventually become constant after some distance, which is indicative for spatial independence among samples. This constant semivariance is also referred to as the sill, whereas the distance at which spatial independence is reached is referred to as the range, the lag (distance between sample pair), and nugget (semivariance value when $x = 0$) (Liebhold et al., 1993).

Cross-validation (i.e., the correlation between estimated and observed values of male capture) was used to determine the quality of the model fitting. The semivariograms were calculated for all data sets at 45 and 135 degrees (azimuth). The direction of 45° corresponds to the direction of the rows of coffee plants, whereas 135° is perpendicular to this. The rows affect the wind direction and thus the distance over which the pheromone is transported, reason why the semivariograms were calculated for these data sets after preliminary tests, seeking their best structure.

This procedure was carried out to test if there is significant inequality between different directions in the distance grids used (anisotropy). Semiovariograms were produced using the Geovisual software (Yamamoto, 2002).

2.3 RESULTS

Field capture. The mean percentage of leaves mined was 7.61 (SE = 0.39), which is considered a moderate damage level (Oliveira, 2003). Regarding the male capture by pheromone traps, there were significant differences among distances at all of the sampling dates (d.f. = 355, $P < 0.0001$; Table 1). The largest numbers of *L. coffeella* were captured in the traps further apart than 5 m (Table 1), whereas the maximum numbers of males at the first sampling date (4 days) were captured in traps that were placed 30 m apart (Table 1). There was no significant difference in captures among traps placed further than 10 m apart, except for the first sampling date. Therefore, 10 m was the maximum distance at which interference among traps occurred (Table 1). A similar trend in male captures was observed for all trap intervals. Thus, the data from 16-day trapping was used to establish the capture by distance relationship (Figure 2). The capture density (males captured per m^2) depended on the distance among traps; the greater the distance, the smaller capture density (Figure 2). The capture density also stabilized at 10 m, indicating that starting from this distance the traps did not compete with each other (Figure 2).

Semivariograms. Semivariograms generated for each sampling date indicated the presence of spatial dependence; the number of males captured was affected

by the distance among traps (Table 2; Figure 3). The distance at which spatial independence among trap catches was reached varied among sampling dates from 24 to 177 m (Table 2). Cross-validation, a technique that compares the value of a point, estimated using the model and the neighbouring points, to the real value, was used to check the quality of the fitted models.

Cross-validation was carried out comparing estimated with observed values of male capture and showed that models for captures at 4 and 8 days were robust ($r > 0.50$), but the reliability of the range for longer periods of capture was limited (i.e., 12 and 16 days; Figure 3).

The experiment was carried out during a period of the year characterized by high pest populations, but only the first evaluation provided a good adjustment to the cross-validation (Figure 3). As the population of insects decreased through time, the cross-validation adjustments became worse (Figure 3). This may be due to a more random distribution of the insects at low densities, or to more complex models of distribution, improperly fitted by the mathematical models tested here.

Directional semivariograms were calculated for inter-trap distance at angles of 45° and 135° , showing significant inequality of the distance at which traps interfere with direction in the distance grids used (geometric and zonal anisotropy) (Table 2). Exponential, Gaussian, and spherical models are commonly used to fit semivariogram data (Liebhold et al., 1993). These models were used in the present study for the sampling dates that showed a non-random spatial dependence (Table 2). No significant model was obtained for 8-day capture in the direction of 135° , where there was a pure nugget effect, showing no spatial dependence (Table 2 and Figure 3).

2.4 DISCUSSION

The low captures in the trap grids with 2 and 5 m distance were a consequence of the short distances among traps, resulting in maximum interference and competition among the pheromone plumes of neighbouring traps. Pheromone plumes from traps deployed upwind apparently prevented captures in traps deployed downwind (Wall & Perry, 1982). The larger numbers of *L. coffeella* captured in traps of grids with distances larger than 5 m are the result of a greater active area of each trap, in contrast with trap captures within smaller grids. The same effect was observed by Wedding et al. (1995), and Elkinton & Cardé (1988), who found that the traps positioned closer to each other captured fewer insects than those further apart.

The evaluation of capture range of the traps at the different distances using only analysis of variance showed a lack of interference for traps at distances over 10 m. This means that 10 m would be the minimum distance at which to locate the traps when monitoring *L. coffeella*.

Geostatistical analysis went further and showed that the range of spatial independence of the pheromone traps was between 25 and 177 m. Several factors contribute to this variation, such as the variation of wind velocity (not measured), rainfall (which is a known mortality factor for this species; Pereira, 2003), and an aggregated spatial distribution (which is predominant in *L. coffeella*; Vieira et al., 1999).

The geoanalysis was used to estimate the distance above which trap catching became statistically independent. The geostatistical method was used to interpolate the different distances among all traps in the study area (30 ha), hence was not restricted to the range of capture from 2-30 m, as was the case for the analysis of regression or variance that was done for the different subplots. A significant difference was found between the orthogonal directions of analysis, meaning that factors other than distance among traps affected the captures in the directions of the rows of coffee plants (45°) and perpendicular to them (135°).

The rows could affect the microclimate and local wind flow and direction, hence affect the diffusion of the pheromone plumes. The direction of the prevailing wind was south-west coinciding with 135°. Independence among traps was observed for trap distances over 110 and 177 m for traps placed along coffee lines (45°), in contrast with traps placed perpendicular to the coffee lines. This larger dependence of catches of traps placed in the coffee rows may have been caused by the wind flowing in between the rows of coffee trees, thus carrying the pheromone plumes for longer distances along the rows of plants. The opposite effect occurred in the direction perpendicular to the rows of coffee trees. In this case, the coffee trees would break the wind resulting in the pheromone concentration dropping rapidly with distance from the traps, resulting in trap independence for distances in the range of 27-70 m. This effect is similar to that found by David et al. (1981).

The largest distances of trap dependence were 110 and 177 m. Therefore the trap placement at distances greater than these will provide independent and representative samples. With this information it is possible to determine the density of traps that should be used per ha. If we assume that an adequate inter-trap distance for our area would be 110 m, we would need approximately eight traps to cover the whole area of 30 ha.

It is possible to reduce the density of pheromone traps when increasing the pheromone dose per trap, thus increasing the distance among traps with interference and overlap of pheromone plumes, similar to what was done for traps for the sawfly *Neodiprion sertifer* (Wedding et al., 1995) and the pear moth *Cydia nigrica* (Wall & Perry, 1982). This would be a viable possibility if the

increase of dose of pheromone per trap is cheaper than increasing the density of traps utilized. However, experiments need to be done to assess the effects of increase pheromone concentrations on the range of pheromone traps.

2.5 REFERENCES

- Blom PE & Fleischer SJ (2001) Dynamics in the spatial structure of *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology* 30: 350-364.
- Bradshaw JWS, Ellis NW, Hand SC & Stoakley JT (1989) Interactions between pheromone traps with different strength lures for the pine beauty moth, *Panolis flammea* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Chemical Ecology* 15: 2485-2494.
- David CT, Kennedy JS, Ludlow AR, Perry JN & Wall C (1983) Finding of a sex pheromone source by gypsy moths released in the field. *Nature* 303: 804-806.
- Elkinton JS & Cardé RT (1980) Distribution, dispersal and apparent survival of male gypsy moths as determined by capture in pheromone-baited traps. *Environmental Entomology* 9: 729-737.
- Elkinton JS & Cardé RT (1988) Effects of intertrap distance and wind direction on the interaction of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) pheromone-baited traps. *Environmental Entomology* 17: 764-769.
- Fragoso DB, Guedes RNC, Picanço MC & Zambolin L (2002) Insecticide use and organophosphate resistance in coffee leafminer *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae). *Bulletin of Entomological Research* 92: 203-212.

- Fragoso DB, Guedes RNC & Ladeira JA (2003) Seleção na evolução da resistência a organofosforados em *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae). *Neotropical Entomology* 32: 329-339.
- Francke W, Tóth M, Szöcs G, Krieg W, Ernest H & Buschmann E (1988) Identifizierung and Synthese von Dimethylalkanen als Sexuallockstoffe weiblicher Miniermotten (Lyonetiidae). *Zeitschrift für Naturforschung* 43: 787-789.
- Gilbert M, Svatos A, Lehmann M & Bacher S (2003) Spatial patterns and infestation processes in the horse chestnut leafminer *Cameraria ohridella*: a tale of two cities. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 107: 25-37.
- Howse P, Stevens I & Jones O (1998) *Insects and their Use in Pest Management*. Chapman & Hall, London, UK.
- Jansson RK, Health RR & Coffelt JA (1989) Temporal and spatial patterns of sweetpotato weevil (Coleoptera: Curculionidae) counts in pheromone-baited traps in white-fleshed sweet potato fields in southern Florida. *Environmental Entomology* 18: 691-697.
- Judd G J R & Borden JH (1989) Distant olfactory response of the onion fly, *Delia antiqua*, to host-plant odour in the field. *Physiological Entomology* 14: 429-441.
- Kondo A & Tanaka F (1994) Action range to the sex pheromone of the rice stem borer moth *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae). *Applied Entomology and Zoology* 29: 55-62.
- Le Pelley RH (1968) *Pest of Coffee*. Longmans Green & Company. London, UK.
- Liebholt AM, Rossi RE & Kemp WP (1993) Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Annual Review of Entomology* 38: 303-327.
- Lima ER (2001) Ferômonio sexual do bicho-mineiro do café, *Leucoptera coffeella*: Avaliação para uso em programas de manejo integrado. D.S. Dissertation, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brazil.

- McNeil JN (1991) Behavioral ecology of pheromone-mediated communication in moths and its importance in the use of pheromone traps. *Annual Review of Entomology* 36: 407-430.
- Michereff MFF (2000) Comportamento reprodutivo do bicho-mineiro-do-cafeeiro, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Ménéville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae). M.S. Thesis, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brazil.
- Oliveira IR (2003) Amostragem de *Leucoptera coffeella* e de suas vespas predadoras no cafeeiro. D.S. Dissertation, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brazil.
- Pedigo LP (1999) *Entomology and Pest Management*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.
- Pereira EJ (2002) Variação sazonal dos fatores de mortalidade natural de *Leucoptera coffeella* em *Coffea arabica*. MS Thesis, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brazil.
- Rield H (1980) The importance of pheromone trap density and trap maintenance for development of standardized monitoring procedures for the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Canadian Entomologist* 112: 655-663.
- Ryan PA, Lyons SA, Alsemgeest D, Thomas P & Kay BH (2004) Spatial statistical analysis of adult mosquito (Diptera: Culicidae) counts: An example using light trap data in Redland Shire southeastern Queensland, Australia. *Journal of Medical Entomology* 41: 1143-1156.
- Sallam N M & Garrad SW (2001) Distribution and sampling of adults of *Rhabdoscelus obscurus* (Boisduval) (Coleoptera: Curculionidae) and their damage in sugarcane. *Australian Journal of Entomology* 40: 281-285.
- Sciarretta A, Trematerra P & Baumgärtner J (2001) Geostatistical analysis of *Cydia funebrana* (Lepidoptera: Tortricidae) pheromone trap catches at two spatial scales. *American Entomologist* 47: 174-185.
- Souza JC, Reis PR & Rigitano OLR (1998) Bicho mineiro: Biologia, danos e manejo integrado. Epamig, Belo Horizonte, Brazil.
- Turchin P & Odendaal FJ (1996) Measuring the effective sampling area of a pheromone trap for monitoring population density of southern pine beetle (Coleoptera: Scolytidae). *Environmental Entomology* 25: 582- 588.

- Vieira JN, De Aquino LH, Bearzoti E & De Sousa JC (1999) Otimização da amostragem seqüencial para o monitoramento do bicho-mineiro do cafeeiro *Perileucoptera coffeella* (Lepidóptera: Lyonettidae) em Lavras, Minas Gerais. *Ciência Agrotécnica* 23: 707-718.
- Wall C & Perry JN (1978) Interactions between pheromone traps for to pea moth, *Cydia nigricana* (F). *Entomologia Experimentalis et Applicata* 28: 313-321.
- Wall C & Perry JN (1980) Effect of spacing and trap number on interactions between pea moth pheromone traps. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 28: 313-321.
- Wall C & Perry JN (1982) The behaviour of moths responding to pheromone sources in the field: a basis for discussion. *Les Colloques de l'INRA* 7: 169-186.
- Wall C & Perry JN (1987) Range of action of moth sex-attractant sources. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 44: 5-14.
- Wedding R, Anderbrant O, Jönsson P (1995) Influence of wind conditions and intertrap spacing on pheromone trap catches European pine sawfly, *Neodiprion sertifer*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 77: 223-232.
- Yamamoto JK (2002) Guia do Usuário Geovisual: Sistema Geovisual 2.0. Instituto de Geociências da USP. São Paulo, Brazil.

Table 1. Effect of the distance among pheromone traps and mean number of *Leucoptera coffeella* captured at various times since the traps were put in the field. Columns with different letters are significantly different. (LSD test. $P < 0.05$, $n = 72$ traps)

Distance among traps (m)	Time since trap exposure (days)			
	4	8	12	16
30m	24.44 A	7.97 A	10.63 A	6.63 A
15 m	16.98 B	8.50 A	10.73 A	5.70 A
10 m	17.52 B	11.01 A	10.45 A	5.84 A
5 m	11.45 C	5.77 B	5.47 B	3.02 B
2 m	8.41 D	4.65 C	4.19 C	2.62 C
ANOVA ($df_{\text{error}} = 355$)				
F	28.23	12.11	26.89	25.46
<i>p</i>	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

Table 2. Semivariogram parameters of capture of male of *Leucoptera coffeella* at various time intervals

Time of capture (days)	Direction ¹	Sill ²	Range ³ (meters)	Nugget effect ⁴	Model types ⁵
4	45°	141	177	0	Exponential
	135°	141	37	0	Exponential
8	45°	29	110	14	Gaussian
	135°	-	-	-	None
12	45°	15	46	14	Spherical
	135°	15	70	14	Spherical
16	45°	8	24	4	Spherical
	135°	8	24	4	Spherical

¹ Direction relative to the north

² The upper limit of semivariogram model which has such a limit.

³ The distance beyond which there is little or no autocorrelation among variables. For the exponential and Gaussian models, it is the distance which approaches the sill asymptotically and for a spherical model, it is the distance at which the model reaches its maximum value.

⁴ The value of semivariance by which the variance differs from zero

⁵ Models used to fit experimental variograms.

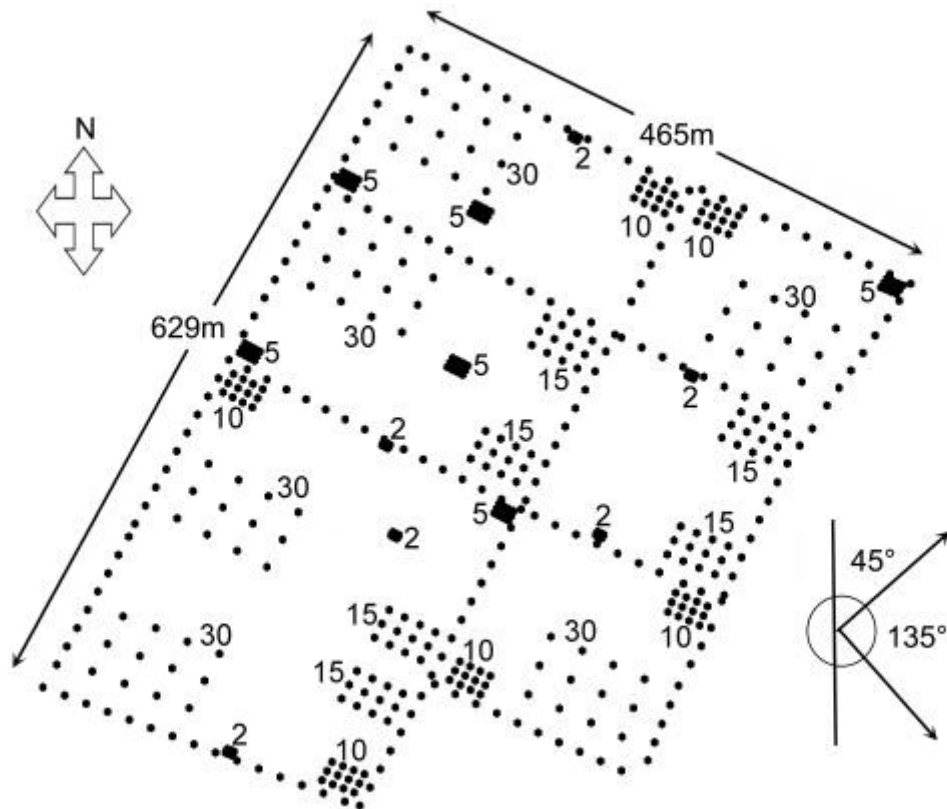


Figure 1. Location of the pheromone traps, showing regular grids of 2, 5, 10, 15 and 30 m distance between traps and the position relative to the north.

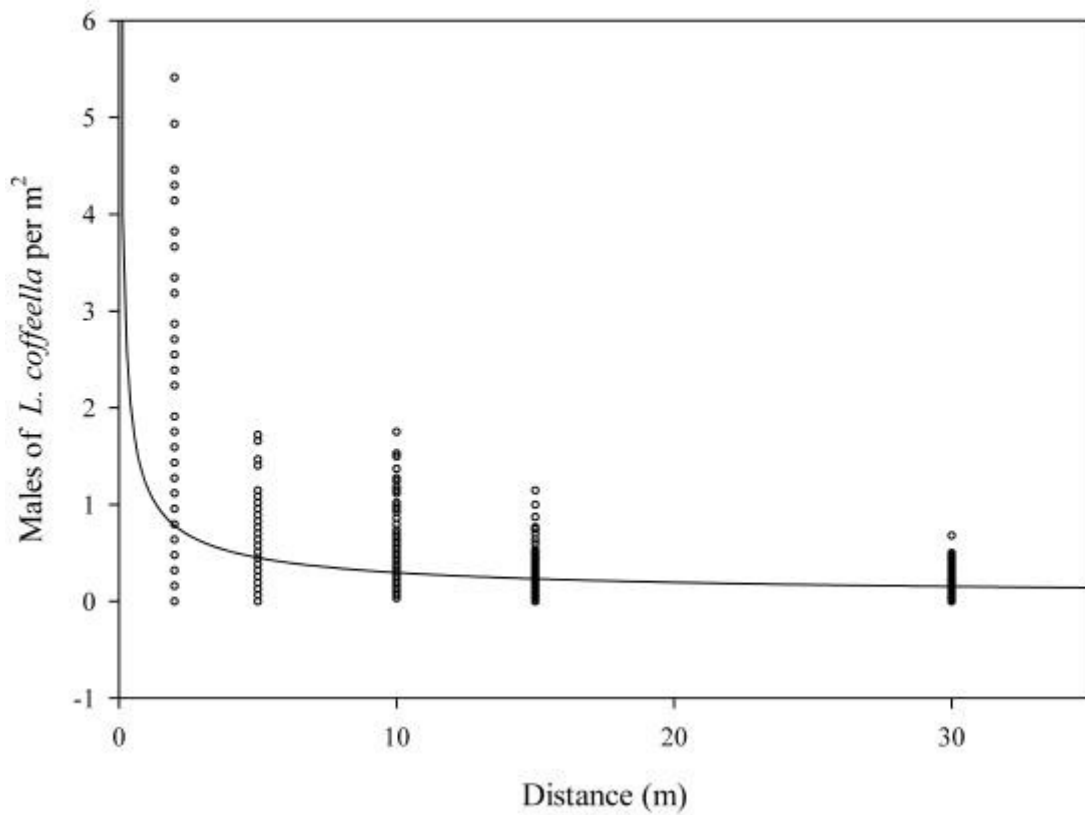


Figure 2. Relationship between male capture of *Leucoptera coffeella* per square meter and distance among pheromone traps. ($y = 3.652 x^{-1.65}$, $R^2 = 0.31$, $P = 0.001$, $n = 1440$).

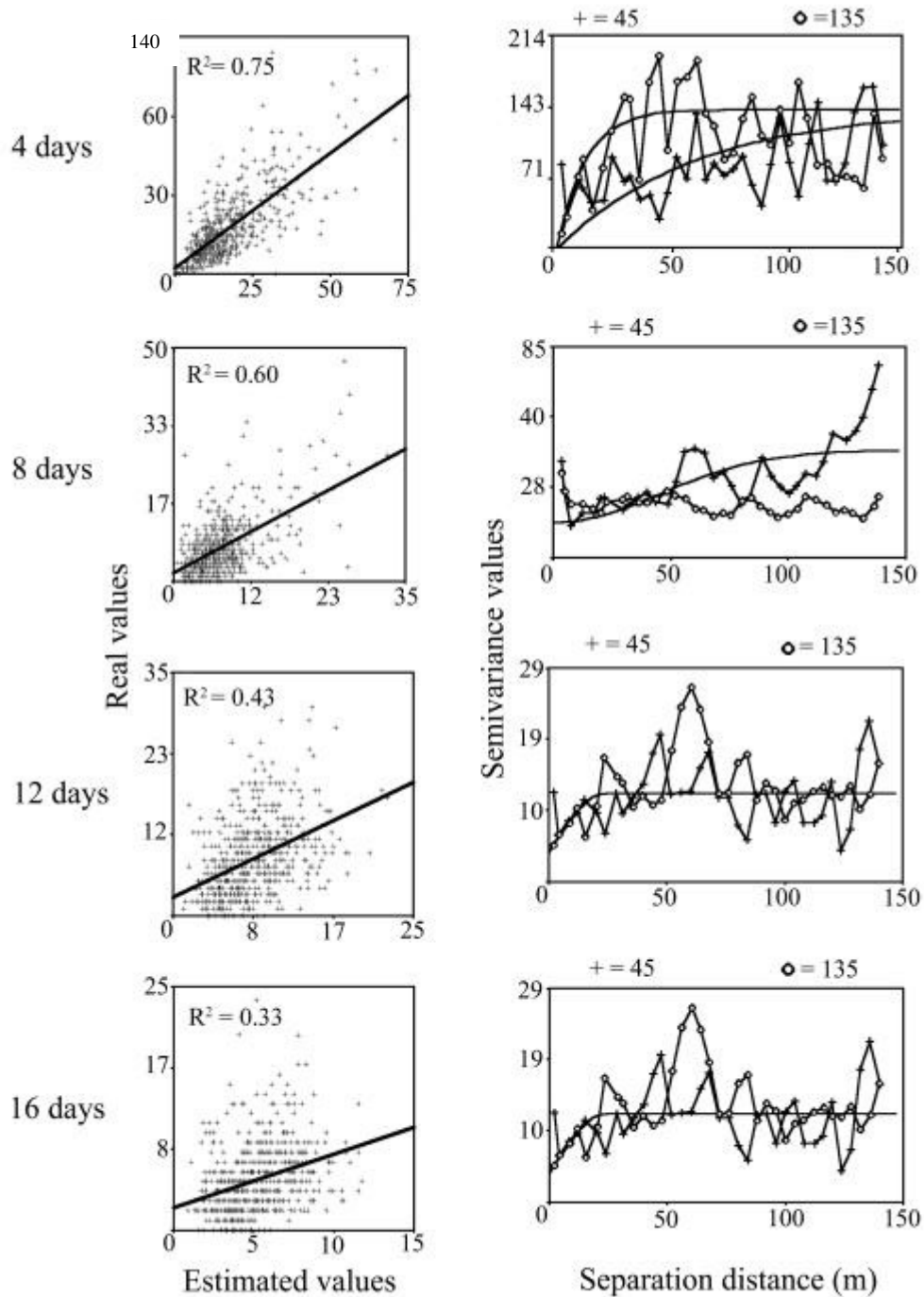


Figure 3. Anisotropic semivariograms and correlation coefficients ($P < 0.01$) of the cross-validation for pheromone trap capture of *Leucoptera coffeella*. Left-hand panels show the cross-validation that allows testing the interpolation system against sampled data. Right-hand panels show the semivariograms plotting the variance (one-half the mean squared difference) of paired sample measurements as a function of the distance (and optionally of the direction 45° and 135°) between samples.

CAPÍTULO III

PLANO DE AMOSTRAGEM PARA *Leucoptera coffeella* COM ARMADILHA DE FEROMÔNIO SEXUAL

RESUMO - Na cultura do café, a densidade populacional de *Leucoptera coffeella* pode ser estimada utilizando-se armadilhas de feromônio, pois as capturas dos machos refletem os danos da praga. Os objetivos desta pesquisa foram determinar a densidade de armadilhas de feromônio sexual por hectare necessária para amostrar populações de machos de *L. coffeella* e determinar o tipo de distribuição espacial dos machos. Para isto foram feitas capturas de machos de *L. coffeella* em 12 avaliações realizadas a cada oito dias. A Lei da potência de Taylor e o ajuste dos dados a uma distribuição binomial negativa foram utilizados para determinar a distribuição de frequência dos dados de captura dos machos. Foi encontrado um K comum que determinou um plano único de amostragem convencional, onde foi determinado que com oito armadilhas e uma precisão de 25% é possível amostrar a população de machos numa área de 30 ha. Mediante mapas gerados por métodos de crigagem foram simuladas as capturas em 8, 12 e 20 armadilhas e comparadas com uma amostragem absoluta, obtendo um R^2 de 0,30; 0,57 e 0,60 respectivamente. Conclui-se que estas armadilhas identificaram os focos da praga e são uma ferramenta precisa e eficiente para amostrar populações de *L. coffeella*.

PALAVRAS CHAVES - Bicho-mineiro do café, *Coffea arabica*, análises espaciais, tamanho da amostra.

SAMPLING PLAN FOR *Leucoptera coffeella* WITH SEXUAL PHEROMONE TRAPS

Abstract: The population of *Leucoptera coffeella* can be estimated using pheromone traps in the coffee field, since the captures of the males reflect the damage of this pest. The objectives of this study were to determine the density of pheromone traps per hectare necessary for sampling coffee leaf miner populations and determine the spatial distribution of the males of *L. coffeella*. We sampled males of *L. coffeella* in 12 evaluations every eight days. Taylor's power law and frequency distributions were used to adjust the data of male capture of *L. coffeella* to a negative binomial distribution. A common K was obtained and a single conventional sampling plan was determined using 8 traps in an area of 30 ha with a 25% precision error. Kriging-generated maps allowed the simulation of male captures for 8, 12 and 20 traps per 30 ha and the results were compared with those obtained with absolute sampling, obtaining R²-values of 0.30, 0.57 and 0.60 respectively. We concluded that these traps identify the patches of pest within the field and can be a precise and efficient tool for sampling populations of *L. coffeella*.

KEY WORDS: Coffee leaf miner, *Coffea arabica*, spatial analyses, size of the sample.

3.1. INTRODUÇÃO

Os programas de manejo integrado de pragas requerem métodos confiáveis e precisos para estimar as densidades das pragas e dos inimigos naturais. Mediante a utilização de planos de amostragem é possível estimar o tamanho da população para tomar decisões para o controle de pragas (NORRIS et al., 2003). Para a amostragem do bicho-mineiro do café, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae), a principal praga do cafeeiro no Brasil, são utilizados comumente planos de amostragem convencionais ou seqüenciais. Nestes métodos são utilizadas grandes quantidades de folhas para determinar a percentagem de folhas minadas pela praga, que implica em grande esforço amostral e demora na decisão no controle (GRAVENA 1983; BEARZOTI e AQUINO 1994; SOUZA et al., 1998; VIEIRA et al., 1999).

Armadilhas com atraentes, tais como os feromônios, têm sido utilizadas com sucesso na amostragem de pragas por constituírem um método rápido e fácil de utilizar (JONES 1998). A utilização desta técnica é possível para o caso de *L. coffeella* por se conhecer o seu feromônio sexual (FRANCKE et al., 1988). Para iniciar um programa de amostragem utilizando armadilhas de feromônio é importante avaliar os principais fatores que afetam as capturas dos insetos, como o protótipo e altura da armadilha, dose e duração do feromônio, fatores estudados para *L. coffeella* por LIMA (2001). A densidade das armadilhas também influencia a captura dos insetos, sendo importante determinar o número de

armadilhas ou o tamanho da amostra a ser utilizada nos planos de amostragem convencional (JANSSON et al., 1989). Entretanto, as análises estatísticas nestes planos não levam em conta o posicionamento espacial das amostras, problema este que pode ser solucionado com uso da geoestatística (LIEBHOLD et al., 1993)

Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são utilizados em vários tipos de estudos em manejo de pragas. Um tipo de aplicação é a construção de mapas para visualizar e monitorar as populações baseadas em amostragens de campo. Outra aplicação dos SIG é a predição da população de locais não amostrados, utilizando para isto interpoladores que estimam a população baseada nas amostras vizinhas (STROTHER et al., 2001; NANSEN et al., 2003). Neste trabalho foi estimado o número de armadilhas de feromônio necessárias para monitorar as populações de machos de *L. coffeella* numa área definida, utilizando um plano de amostragem convencional. Para validar o plano de amostragem, foram construídos mapas através de técnicas de interpolação espacial.

Os objetivos desta pesquisa foram determinar a densidade de armadilhas de feromônio sexual por hectare necessária para amostrar populações de machos *L. coffeella*, bem como determinar o tipo de distribuição espacial dos machos.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi realizada de setembro a novembro de 2004 em uma lavoura comercial de café, na Fazenda Daterra, Atividades Rurais Ltda., em Patrocínio, Estado de Minas Gerais, Brasil. A área utilizada foi de 30 ha de café (*Coffea arabica*) da variedade Tupí, de 5 anos de idade, em espaçamento de 2,5 m entre plantas e 5 m entre fileiras.

A técnica de amostragem estudada foi com armadilha tipo delta de cor branca e dimensões de 20 x 20 cm na base e altura de 10 cm, pendurada na planta de café a 50 cm da superfície do solo. A armadilha foi iscada com uma pastilha de feromônio (300 µg de mistura racêmica do feromônio sintético 5,9-dimethyl pentadecano, sintetizado pela Fuji Flavour Co. Ltda., Tóquio, Japão). A pastilha de feromônio e o piso adesivo das armadilhas foram trocados a cada quatro semanas.

Um total de 549 armadilhas foi instalado nos 30 ha. Estas foram inspecionadas nas quatro primeiras avaliações e serviram como referência amostral do universo das capturas de machos. Nas oito últimas avaliações foram mantidas 189 armadilhas com espaçamento de 20 m representadas na fig. 1. Todas as armadilhas foram georeferenciadas utilizando o Sistema de Posicionamento Global (GPS). O registro da captura de machos de *L. coffeella* foi feito semanalmente durante quatro meses, na época do ano em que ocorre a maior infestação da praga na região (SOUZA et al., 1998).

Número de armadilhas do plano de amostragem convencional. Mediante a aplicação da Lei da potência de Taylor se determinou a distribuição teórica da frequência dos dados e o modelo ao qual estes se ajustam melhor. Quando o coeficiente b da Lei da potência de Taylor é maior que 1, os dados ajustam-se à uma distribuição binomial negativa; quando o coeficiente é semelhante a 1, ajustam-se à uma distribuição de Poisson; quando ele é menor que 1, ajustam-se à distribuição binomial positiva (YOUNG e YOUNG 1998).

Foi determinado o logaritmo neperiano da média e a variância de cada uma das avaliações da captura de machos de *L. coffeella* para poder aplicar a Lei da potência de Taylor, segundo equação 1.

$$\text{Ln } S^2 = \text{Ln } a + b \text{ Ln } \mu, \text{ onde:} \quad (1)$$

a = coeficiente de Taylor ou fator de amostragem, b = coeficiente b de Taylor ou índice de agregação e μ = média da população; o valor de a é o antilogaritmo do intercepto e b é a inclinação da reta da regressão estimada.

Posteriormente, verificou-se o modelo de distribuição teórica de frequência, indicado pelo coeficiente b da Lei da potência de Taylor, ao qual os dados amostrais se ajustariam. Para tanto, calcularam-se as frequências esperadas e observadas, as quais foram comparadas pelo teste de qui-quadrado (PEDIGO e ZEISS 1996).

Devido ao fato de os dados de distribuição terem se ajustado ao modelo binomial negativo, determinou-se o valor de K_{comum} (K_c) para obter-se um parâmetro de dispersão que contemplasse a variabilidade das lavouras (BLISS E OWENS, 1958). Inicialmente foram calculados os K_{parciais} (K_p) para cada avaliação (YOUNG e YOUNG 1998). A independência dos K_{parciais} (K_p) com a média foram avaliados por regressão e o K_{comum} (K_c) foi estimado pela regressão entre y' e x' (YOUNG e YOUNG 1998). O valor do K_{comum} (K_c) foi utilizado para o cálculo do número de armadilhas necessárias na estimativa das populações de machos da praga a níveis de erros iguais a 5, 10, 15, 20 e 25%, de acordo com a equação 2 (YOUNG e YOUNG 1998).

$$NA = \frac{1}{C^2} \left[\frac{1}{\mu} + \frac{1}{k} \right], \text{ onde:} \quad (2)$$

NA = número de unidades amostrais, C = erro admitido, μ = média da população e k = parâmetro da distribuição binomial negativa. Foi utilizado este intervalo de variação dos erros associados aos planos de amostragem por ser este o intervalo utilizado na determinação de planos de amostragem de insetos (SOUTHWOOD, 1978; HAMILTON et al., 1998; SOTO et al., 2002).

Validação do plano de amostragem. Foram feitas comparações dos mapas de distribuição espacial da captura de machos de *L. coffeella* utilizando-se 549 armadilhas (amostra absoluta) e os mapas gerados das capturas, utilizando 8, 12 e 20 armadilhas para 30 ha, que foi o número de armadilhas (ou tamanho da amostra) gerado no plano de amostragem convencional utilizando-se 25, 20 e 15% de precisão do erro, respectivamente. A partir das capturas da primeira avaliação das 549 armadilhas foram feitos semivariogramas para construir um mapa mediante crigagem ordinária. Foram calculados semivariogramas do conjunto de dados para as direções de 45 e 135 graus (azimut).

Para modelar a semivariância foi utilizado o modelo de regressão exponencial. Os resultados destes semivariogramas foram apresentados no Capítulo II. A partir destes semivariogramas foi feito o mapa mediante a crigagem ordinária, que é uma técnica de interpolação de dados amostrados que estima valores de pontos relacionados espacialmente. A fórmula da crigagem ordinária é:

$$\hat{Z}_{(X_0)} = \sum_i^n [\lambda_i \cdot z_{(X_i)}], \text{ onde:} \quad (3)$$

$\hat{Z}_{(X_0)}$ é o valor estimado pelo semivariograma para a armadilha não amostrada, n representa o número total de armadilhas, $Z_{(X_i)}$ representa o valor da captura para cada armadilha amostrada, λ_i representa o peso de cada $Z_{(X_i)}$ calculado a partir da matriz semivariância (LIEBHOLD et al., 1993).

A técnica de crigagem é o método mais exato do que os outros métodos de interpolação (como a ponderação da distância inversa, a triangulação e a média de amostras locais, vizinho mais próximo, etc.), principalmente porque interpola valores para locais específicos, levando em conta a dependência espacial, anisotropia e faz uma descrição mais acurada da estrutura espacial dos dados

produzindo uma valiosa informação sobre a distribuição dos erros (ROSSI et al., 1994). Contudo, para utilizar esta técnica são necessários muitos pontos amostrais, que evitam a formação de padrões erráticos no semivariograma, limitando assim a construção de mapas a partir da crigagem. Por esta razão, não foi possível gerar os mapas (com crigagem) da captura de machos *L. coffeella*, quando utilizando só o número de armadilhas calculadas no plano de amostragem. Então para fazer estes mapas foi utilizada a técnica de interpolação espacial do inverso da distância ponderada, na qual as capturas das armadilhas vizinhas a um ponto amostral estão relacionadas por sua proximidade (BROOKERS 1991). As amostras vizinhas são ponderadas de modo que a influência de uma amostra está relacionada como função decrescente da distância, de acordo com a equação (4) (BROOKERS 1991).

$$\hat{Z}_{(x_0)} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_{(x_i)}}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}}, \text{ onde:} \quad (4)$$

$\hat{Z}_{(x_0)}$ é o valor estimado (interpolado) para a armadilha não amostrada, n representa o número total de armadilhas, Z_{x_j} representa o valor das capturas para cada armadilha amostrada, h_{ij} denota a distância que separa as armadilhas amostradas e interpoladas, β representa a ponderação da distância (que para este caso foi utilizado 2). Os mapas foram gerados a partir das capturas nas 8, 12 e 20 armadilhas, as quais foram alocadas sistematicamente tentando cobrir toda a área (30 ha) amostrada (fig. 1).

Para calcular a precisão das capturas estimadas nas 8, 12 e 20 armadilhas, foram feitas regressões lineares ($p < 0,05$) entre capturas estimadas destas armadilhas geradas pela equação (4), com as capturas estimadas nas 549 armadilhas a partir da equação (3).

3.3. RESULTADOS

A regressão entre o logaritmo da variância e o logaritmo da média, denominada Lei da potência de Taylor foram significativas para o conjunto das 12 avaliações da captura de machos de *L. coffeella*, ($F = 132,59$; $n = 12$ e $p = < 0,0001$), (fig. 2). O coeficiente b da Lei de Taylor foi significativamente maior que 1 pelo teste “ t ” de Student ($p < 0,05$) para as capturas dos machos ($b = 1,89$; $t = 5,43$; $n = 12$), indicando que os dados da captura de machos de *L. coffeella* ajustam-se à distribuição Binomial Negativa.

Verificou-se, através do teste de qui-quadrado, que as capturas de machos de *L. coffeella* amostradas nas armadilhas se ajustaram à distribuição negativa em onze das doze avaliações realizadas (Tabela 1). Obteve-se entre os dados amostrais das doze avaliações valor significativo ($p < 0,05$) para o parâmetro de dispersão comum (K_{comum}) da distribuição negativa, cujo valor foi de 2,17, indicando de fato que os dados amostrais se ajustam ao modelo de distribuição Binomial Negativo (Tabelas 1 e 2).

O parâmetro K da distribuição negativa das avaliações da amostragem de machos do bicho-mineiro apresenta inclinação significativa e intercepto não-significativo (Tabela 2). Portanto, é possível obter-se um plano de amostragem envolvendo todas as avaliações no tempo, já que essas apresentaram valor comum para o parâmetro K da distribuição binomial negativa. O número de

armadilhas estimadas para as amostragens de machos de *L.coffeella* estabilizou-se a partir de 25% de precisão (fig. 3), indicando que são necessárias 8 armadilhas para amostrar a população da praga numa área de 30 ha.

Foi encontrada uma distribuição espacial agregada segundo os mapas (fig. 4a-d) apresentado focos onde se concentraram as capturas de machos de bichomineiro. As isolinhas e as diferentes cores nos mapas representam os agrupamentos com capturas similares que variaram entre 0 e 80 insetos por armadilha (fig. 4a-d).

No mapa gerado com as 549 armadilhas (que representaram a amostragem absoluta) (figs. 1 e 4a), podem ser observados focos ou as maiores concentrações da captura na parte inferior do mapa e na parte central esquerda do mapa, com captura superior a 40 machos por armadilha. Quando é comparado o mapa anterior com os mapas gerados utilizando 8, 12 e 20 armadilhas (fig. 4a-d), também são identificados os focos da praga, mas com a diminuição de armadilhas por área a captura é superestimada (fig. 4c-d).

Nas regressões da captura de machos estimadas com o modelo de crigagem (549 armadilhas) entre as capturas estimadas com o modelo do inverso da distância ponderada, se obtiveram $R^2 = 0,60$; $p < 0,001$, $R^2 = 0,57$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,30$; $p < 0,001$ utilizando 8, 12, e 20 armadilhas/30 ha respectivamente (fig. 5a-c). Portanto, com o menor número de armadilhas, a previsão e confiabilidade das capturas diminuem (fig. 5a-c).

3.4. DISCUSSÃO

Os dados da captura de machos de *L. coffeella* se ajustaram ao modelo binomial negativo para a maioria das avaliações no tempo. O mesmo padrão de distribuição estatística foi encontrado para o número de minas de *L. coffeella* (VILLACORTA e TORNERO 1982; SANTANA et al., 1993; OLIVEIRA 2003). Segundo TAYLOR (1984), a distribuição de frequência binomial negativa é a distribuição mais comumente encontrada em populações de insetos. TAYLOR et al. (1998) por sua vez comentam que o padrão de distribuição de uma mesma espécie pode variar com a região, cultura, fenologia da cultura, localização da planta e também devido ao manejo da praga. O tipo de distribuição espacial do inseto também pode mudar dependendo de seu estágio de desenvolvimento.

O padrão agregado em forma geral para insetos sugere que os indivíduos se concentram em partes mais favoráveis do habitat e recursos, em função do comportamento de agregação para o acasalamento ou a defesa, heterogeneidade ambiental e modo de reprodução da espécie (NORRIS et al., 2003).

Segundo KARBAN e BALDWIN (1997), a presença de compostos químicos de defesa produzidos pelas plantas afeta a biologia, o desenvolvimento ou a reprodução dos insetos herbívoros que podem alterar sua distribuição espacial. O conteúdo de *p*-cimeno nas folhas de café estimulam a oviposição de

L. coffeella (MAGALHÃES 2005), portanto, as diferenças deste fitoquímico nas folhas do cafeeiro poderiam contribuir no agrupamento espacial desta praga.

Para inferir sobre o tipo de distribuição espacial dos insetos é estudada a relação média - variância e o ajuste dos dados a distribuições matemáticas (YOUNG e YOUNG 1998). No entanto, as distribuições de frequências nem sempre refletem a distribuição espacial da população de insetos no campo (YOUNG e YOUNG 1998). Para solucionar este problema, procedimentos geoestatísticos devem ser feitos para analisar as relações espaciais entre os insetos (LIEBHOLD et al., 1993). O tipo de padrão espacial agregado foi confirmado com as geoanálises apresentado claramente nos mapas, onde são observados os agrupamentos nas capturas de machos de *L. coffeella*. Os dados dos semivariogramas foram apresentados no Capítulo II, e aqui são observadas as características de um semivariograma com padrão espacial agrupado (WRIGHT et al. 2002) onde o incremento da semivariância aumenta com a separação entre pares de amostras quando estas são espacialmente dependentes. BARRIGOSI et al., (2001) encontraram que os dados das amostragens de ovos de *Epilachna varivestis* foram ajustados a uma distribuição binomial negativa que sugerem padrão espacial agregado, mas mediante geoanálises determinaram o padrão de distribuição aleatório. Portanto, as distribuições espaciais não devem ser assumidas somente com a probabilidade da distribuição, elas precisam ser comprovadas com a ajuda de geoanálise.

Neste trabalho foi encontrado o parâmetro K_{comum} da distribuição binomial negativa, o que possibilita a obtenção de um único plano de amostragem, que pode ser útil em diferentes níveis populacionais e condições ambientais. O número de armadilhas calculado segundo o plano de amostragem em uma área de 30 ha foi de oito. Este número é praticável possibilitando avaliar grande quantidade de armadilhas facilitando assim amostrar grandes áreas plantadas de café. Este procedimento permite a coleta, processamento e tomada de decisão em um mesmo dia para o controle desta praga.

Utilizando planos de amostragem convencional para *L. coffeella*, são requeridas entre 100 e 200 folhas por talhão segundo GRAVENA (1983) e SOUZA et al. (1998), respectivamente. Dependendo da infestação pela praga, o

número de folhas por talhão pode diminuir se são utilizados planos de amostragem seqüenciais (BEARZOTI e AQUINO 1994; VIEIRA et al., 1999). Segundo OLIVEIRA (2003), as amostras podem diminuir para 5 e 24 amostras por talhão. O plano de amostragem convencional gerado nesta pesquisa apresenta as vantagens dos planos seqüenciais no ganho do tempo amostral, sendo que o tempo aproximado gasto para avaliar cada armadilha é de dois minutos.

Nos planos seqüenciais mencionados não se discutem a validade do plano em função do tamanho do talhão, que é uma limitante em termos de aplicabilidade. Já para o plano gerado nesta pesquisa se analisa a importância da distribuição e influência espacial de cada uma das amostras. É importante ainda comparar os custos do sistema de amostragem de bicho-mineiro utilizando armadilhas de feromônio e a amostragem tradicional avaliando a porcentagem de minas, pois dependendo dos custos é possível escolher um sistema ou utilizar os dois sistemas de forma complementar.

Segundo o plano de amostragem são necessárias 8 armadilhas para uma área de 30 ha (ou seja 1 armadilha para cada 4 ha). Estes resultados coincidem com os resultados encontrados no Capítulo II, pois é proposto o mesmo número de armadilhas na mesma área tendo em conta a dependência espacial entre armadilhas gerada em análises geoestatísticas. Portanto, além dos métodos tradicionais para gerar planos de amostragem, como os utilizados nesta pesquisa, também podem ser utilizados semivariogramas e interpoladores espaciais para determinar o número de armadilhas necessárias.

A utilização de 1 armadilha a cada 4 hectares de café em produção para monitorar *L. coffeella*, está próximo ao número utilizado para o monitoramento de machos de *Cydia pomonella* em pomares de nozes, onde utilizam uma armadilha para 4 ou 6 hectares (MCNALLY e VAN STEENWYK 1986). Já para o monitoramento de *C. pomonella* na cultura da pêra foi determinado que uma armadilha é suficiente para monitorar 7 ha (RIELD 1980). Nos pomares de fruteiras onde se monitorou os lepidópteros mencionados o espaçamento entre plantas é muito maior que o cafeeiro. Este fator pode possivelmente ser determinante na melhor dispersão do feromônio, que levaria a utilizar uma menor densidade de armadilha por ha comparada com a densidade de armadilhas

encontradas neste trabalho. No Capítulo II foi mostrado que a distância entre plantas de café formam uma barreira que impede a dispersão do feromônio, sendo que entre as fileiras de café existe maior espaço permitindo assim que a pluma de feromônio tenha um maior alcance e, portanto, é possível se utilizar maiores distâncias entre armadilhas.

Esta pesquisa sugere que é possível simular os resultados gerados no plano de amostragem convencional mediante técnicas de interpolação espacial. As previsões das capturas geradas com 8, 12 e 20 armadilhas permitem uma boa aproximação comparada com os mapas gerados quando são utilizadas 549 armadilhas (fig. 4a-d). Mas quando é diminuído o número de armadilhas, se enfraquece a previsão e confiabilidade das capturas (fig. 5a-c). Portanto depois de fazer um plano de amostragem é importante comprovar sua validade no espaço da área amostrada, devido a que estes planos não levam em consideração o posicionamento das amostras.

Mediante a utilização da geoestatística é possível gerar mapas para identificar focos onde se concentra a praga, e assim, podendo direcionar as aplicações de inseticidas a estes lugares dentre outras práticas de controle. Sendo assim, a utilização de inseticidas poderia ser minimizada, reduzindo os custos de produção, evitando a evolução da resistência a inseticidas e, além disso, conservando os inimigos naturais. WEISZ et al. (1996), utilizando estes mapas conseguiram reduzir entre um 30 e 40 % das pulverizações com inseticida para o manejo de *Leptinotarsa decemlineata* em culturas de batata.

Em conclusão as armadilhas de feromônio tipo delta foram uma ferramenta eficiente, pois mediante esta técnica é possível fazer a amostragem precisa e rápida das populações de machos de *L. coffeella*. Além disso, o sistema de monitoramento com armadilha de feromônio permite a identificação dos focos desta praga com uma considerável precisão. Esta técnica também reflete o dano causado pela praga fornecendo assim bom critério para a tomada de decisão no controle do bicho-mineiro do café.

3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRIGOSI, J. A. F.; YOUNG, L. J.; CRAWFORD, C. A. G.; HEIN, G. L., HIGLEY, L. G., 2001: Spatial and probability distribution of Mexican bean beetle (Coleoptera: Coccinellidae) egg mass populations in dry bean. *Environ. Entomol.* **30**, 244-253.
- BEARZOTI, E.; AQUINO, L. H., 1994: Plano de amostragem seqüencial para avaliação de infestação de bicho-mineiro (Lepidoptera: Lyonetiidae) no sul de Minas Gerais. *Pesq. Agrop. Bras.* **29**, 696-705.
- BLISS, C.L.; OWENS, A.R.G., 1958: Negative binomial distributions with a common k. *Biometrika* **45**, 37-58.
- BROOKERS, P. I., 1991: A geostatistical primer. London, United Kingdom: Word Scientific.
- FRANCKE, W.; TÓTH, M., SZÖCS, G.; KRIEG, W., ERNST, H.; BUSCHMANN, E., 1988: Identification and synthesis of dimethylalkanes as sex attractants of female leaf miner moths (Lyonetiidae). *Z. Naturforsch. C.* **43**, 787-789.
- GRAVENA, S., 1983: Táticas de manejo integrado do bicho-mineiro mineiro do cafeeiro *Perileucoptera coffeella* (Guérin-Méneville, 1842): II – Amostragem da praga e de seus inimigos naturais. *An. Soc. Entomol. Brasil* **12**, 273-281.

- HAMILTON, G.C.; LASHOMB, J.H.; ARPAIA, S.; CHIANESE, R.; MAYER, M., 1998: Sequential sampling plans for Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) in eggplant. *Environ. Entomol.* **27**, 33-38.
- JANSSON, R. K.; HEATH R. R.; COFFELT, J. A., 1989: Temporal and spatial patterns of sweetpotato weevil (Coleoptera: Curculionidae) counts in pheromone-baited traps in white-fleshed sweet potato fields in southern Florida. *Environ. Entomol.* **18**, 691-697.
- JONES, O T., 1998: Practical applications of pheromones and other semiochemicals. In: *Insect pheromone and their use in pest management*. Ed. by Howse, P. E.; Stevens, I. D. R.; Jones, O. T. London: Chapman and Hall, 261-279.
- KARBAN, R.; BALDWIN, I.T., 1997: *Induced responses to herbivory*. Chicago: The University of Chicago.
- LIEBHOLD, A. M.; ROSSI, R. E.; KEMP, W. P., 1993: Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Annu. Rev. Entomol.* **38**, 303-327.
- LIMA, E., 2001: Ferômonio sexual do bicho-mineiro do café, *Leucoptera coffeella*: Avaliação para uso em programas de manejo integrado. Viçosa, MG, Brasil: Universidade Federal de Viçosa, Dissertação de Doutorado.
- MAGALHÃES, S. T. V., 2005: Fitoquímicos na interação de bicho-mineiro com cafeeiros. Viçosa, MG, Brasil: Universidade Federal de Viçosa, Dissertação de Doutorado.
- MCNALLY, P. S.; VAN STEENWYK, R., 1986: Relationship between pheromone-trap catches and sunset temperatures during the spring flight to codling moth (Lepidoptera: Olethreutidae) infestations in walnuts. *J. Econ. Entomol.* **79**, 444-446.
- NANSEN, C.; CAMPBELL, J. F.; PHILLIPS, T. W.; MULLEN, M. A., 2003: The impact of spatial structure on the accuracy of contour maps of small data sets. *J. Econ. Entomol.* **96**, 1617-1625.
- NORRIS, R. F.; CASWELL-CHEN E. P.; KOGAN M., 2003: *Concepts in integrated pest Management*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

- OLIVEIRA, I. R., 2003: Amostragem de *Leucoptera coffeella* e de suas vespas predadoras no cafeeiro. MG, Brasil: Universidade Federal de Viçosa, Dissertação de Doutorado.
- PEDIGO, L. P.; ZEISS, M R., 1996: Analyses in Ecology and Management. Ames, IA: Iowa State University Press.
- RIELD, H., 1980: The importance of pheromone trap density and trap maintenance for development of standardized monitoring procedures for the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Can. Entomol.* **112**, 655-663.
- ROSSI, R. E.; DUNGAN, J. L.; BECK, L. R., 1994: Kriging in the shadows: geostatistical interpolation for remote sensing. *Remote. Sens. Environ.* **49**, 32-40.
- SANTANA, D. G.; PAIVA, H. F.; AQUINO, L. H.; OLIVEIRA, M. S., 1993: Desempenho de planos de amostragem para o controle de bicho-mineiro mineiro (*Perileucoptera coffeella* Guérin-Ménèville, 1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae) em Lavras, Minas Gerais. *Cienc. Prat.* **17**: 322-328.
- SOTO, A.; OHLENSCHLÄEGER, F.; GARCÍA-MARI, F., 2002: Distribution and sampling of the whiteflies *Aleurothrixus floccosus*, *Dialeurodes citri*, and *Parabemisia myricae* (Homoptera: Aleyrodidae) in citrus in Spain. *J. Econ. Entomol.* **95**, 167-173.
- SOUZA, J. C.; REIS, P. R.; RIGITANO, R. L. O., 1998: Bicho-mineiro do cafeeiro: Biologia, danos e manejo integrado. Belo Horizonte, MG, Brasil: Epamig, Boletim Técnico 54.
- SOUTHWOOD, T.R.E., 1978: Ecological methods, with particular reference to the study of insect populations. London: Chapman and Hall.
- STROTHER, K. O.; STEELMAN, C. D., 2001: Spatial analysis of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) in broiler production facilities. *Environ. Entomol.* **30**, 556-561.
- TAYLOR, L. R., 1984: Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. *Annu. Rev. Entomol.* **29**, 321- 357.
- TAYLOR, R A. J.; LINDQUIST, R. R.; SHIP, J. L., 1998: Variation and consistency in spatial distribution as measured by Taylor's power law. *Environ. Entomol.* **27**, 191-201.

- VIEIRA, N. J.; AQUINO, L. H.; BEARZOTI, E.; SOUZA, J. C., 1999: Otimização da amostragem seqüencial para o monitoramento do bicho-mineiro do cafeeiro *Perileuoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) em Lavras, Minas Gerais. Rev. Ciênc. Agrotec. **23**, 707-718.
- VILLACORTA, A.; TORNERO, M. T. T., 1982: Plano de amostragem seqüencial de dano causado por *Perileuoptera coffeella* no Paraná. Pesq. Agrop. Bras. **17**: 1249-1260.
- WEISZ, R.; FLEISCHER, S.; SMILOWITZ, Z., 1996: Site-specific integrated pest management for high-value crops: impact on potato pest management. J. Econ. Entomol. **86**: 226-233.
- WRIGHT, R. J.; DEVRIES, T. A.; YOUNG, L. J.; JARVI, K. J.; SEYMOUR, R.C., 2002: Geostatistical analysis of the small-scale distribution of European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) larvae and damage in whorl stage corn. Environ. Entomol. **31**,160-167
- YOUNG, L. J.; YOUNG, J. H., 1998: Statistical Ecology: a population perspective. Norwel, MA: Kluwer Academic Publishers.

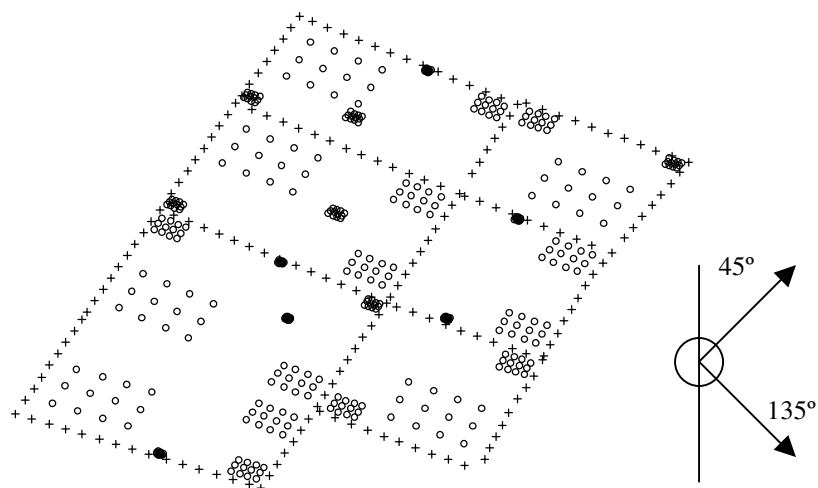


Fig. 1. Localização das 549 armadilhas (círculos e cruzes) na lavoura de café. As cruzes representam as 189 armadilhas que foram avaliadas da quinta até a décima - segunda avaliação. A direção de 45° é o sentido das fileiras do café e 135° é a direção em sentido perpendicular as fileiras de café.

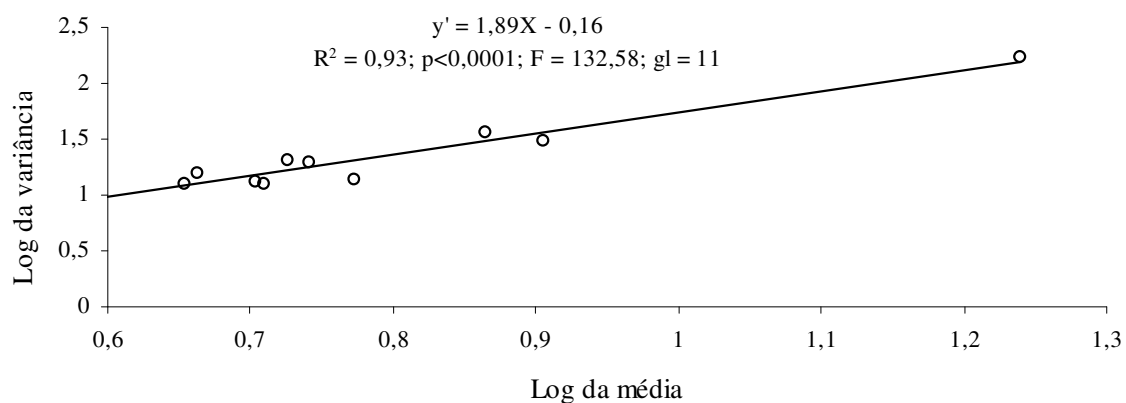


Fig. 2. Análise de regressão entre os logaritmos da variância e média do número machos de *Leucoptera coffeella* capturados para a obtenção dos coeficientes da Lei da potência de Taylor.

Tabela 1. Testes de qui-quadrado (χ^2) de aderência das frequências observadas e esperadas pelas distribuições de Poisson, Binomial Negativa e Binomial dos dados de amostragem da captura de machos de *Leucoptera coffeella*.

Avaliação	μ	S^2	Distribuição de Poisson		Distribuição binomial Negativa			Distribuição Binomial	
			$\chi^2_{\text{calculado}}$	Graus de liberdade	$\chi^2_{\text{calculado}}$	Graus de liberdade	k	$\chi^2_{\text{calculado}}$	Graus de liberdade
1	17,38	170,27	1377,20*	52	63,60 ^{ns}	51	1,98	1618,46*	51
2	7,33	35,85	182,83*	27	39,77 ^{ns}	26	1,88	253,79*	26
3	8,04	29,94	1215,38*	26	30,29 ^{ns}	25	2,3	815,45*	25
4	5,13	12,42	238,27*	17	13,85 ^{ns}	16	3,62	347,41*	16
5	3,87	7,53	32,31*	12	16,94 ^{ns}	11	4,08	60,46*	11
6	5,32	19,90	138,43*	16	12,69 ^{ns}	15	1,94	200,43*	15
7	5,93	13,82	72,64*	16	11,08 ^{ns}	15	4,45	132,26*	15
8	5,52	19,58	154,87*	17	24,84 ^{ns}	16	2,166	291,77*	16
9	5,06	12,78	84,05*	15	13,68 ^{ns}	14	3,31	212,72*	14
10	4,61	15,25	165,77*	15	24,91*	14	1,99	149,74*	14
11	4,51	12,56	101,90*	15	17,64 ^{ns}	14	2,52	105,74*	14
12	3,96	12,75	49,10*	14	16,10 ^{ns}	13	1,79	81,34*	13

Estimativa do $K_{\text{comum}} = 2,17$

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

Graus de liberdade = $k-1-m$, onde k é o número de classes e m é o número de parâmetros do modelo.

Tabela 2. Análise de variância para a verificação do parâmetro de dispersão da distribuição binomial negativa comum em doze avaliações de captura de *Leucoptera coffeella* (K_{comum})

Fontes de Variação	Graus de liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados médios	F calculado
Inclinação $1/kc$	1	5114,85	5114,85	305,58*
Intercepto	1	53,79	53,79	3,21 ^{ns}
Resíduo	8	133,90	16,74	

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

^{ns} Não significativo ao nível de 5% de probabilidade

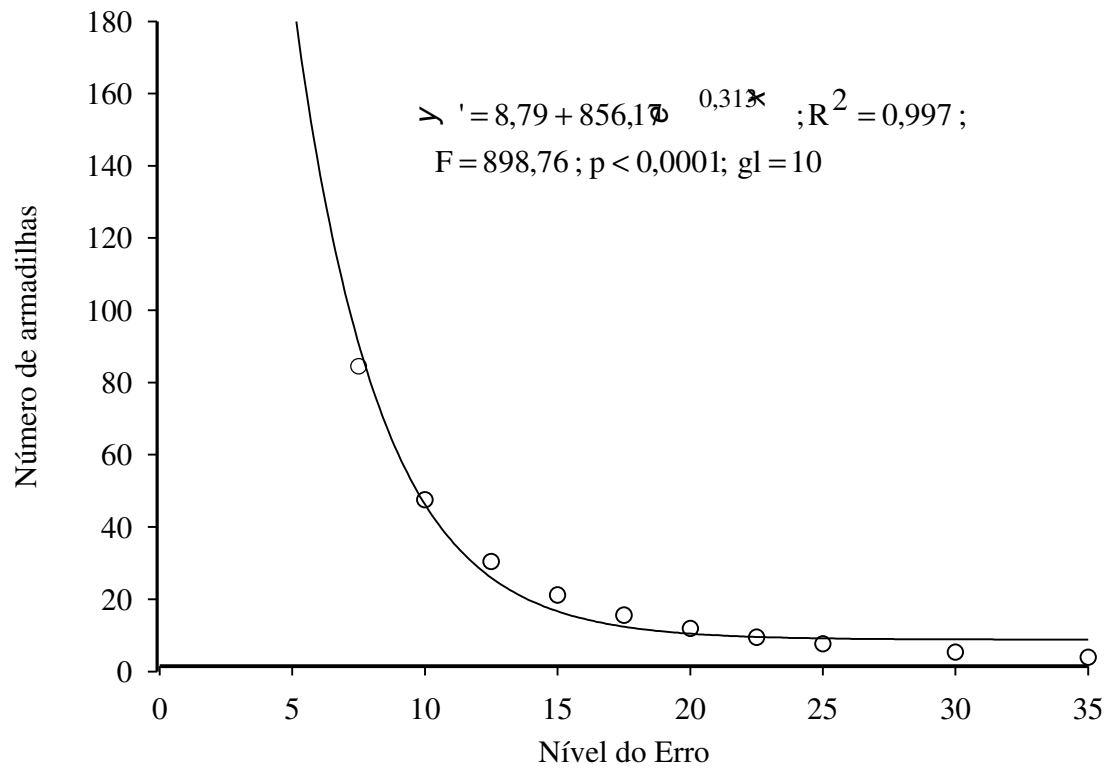


Fig. 3. Número de amostras (armadilhas) a compor o plano de amostragem em função do nível do erro da amostragem de machos de *Leucoptera coffeella*.

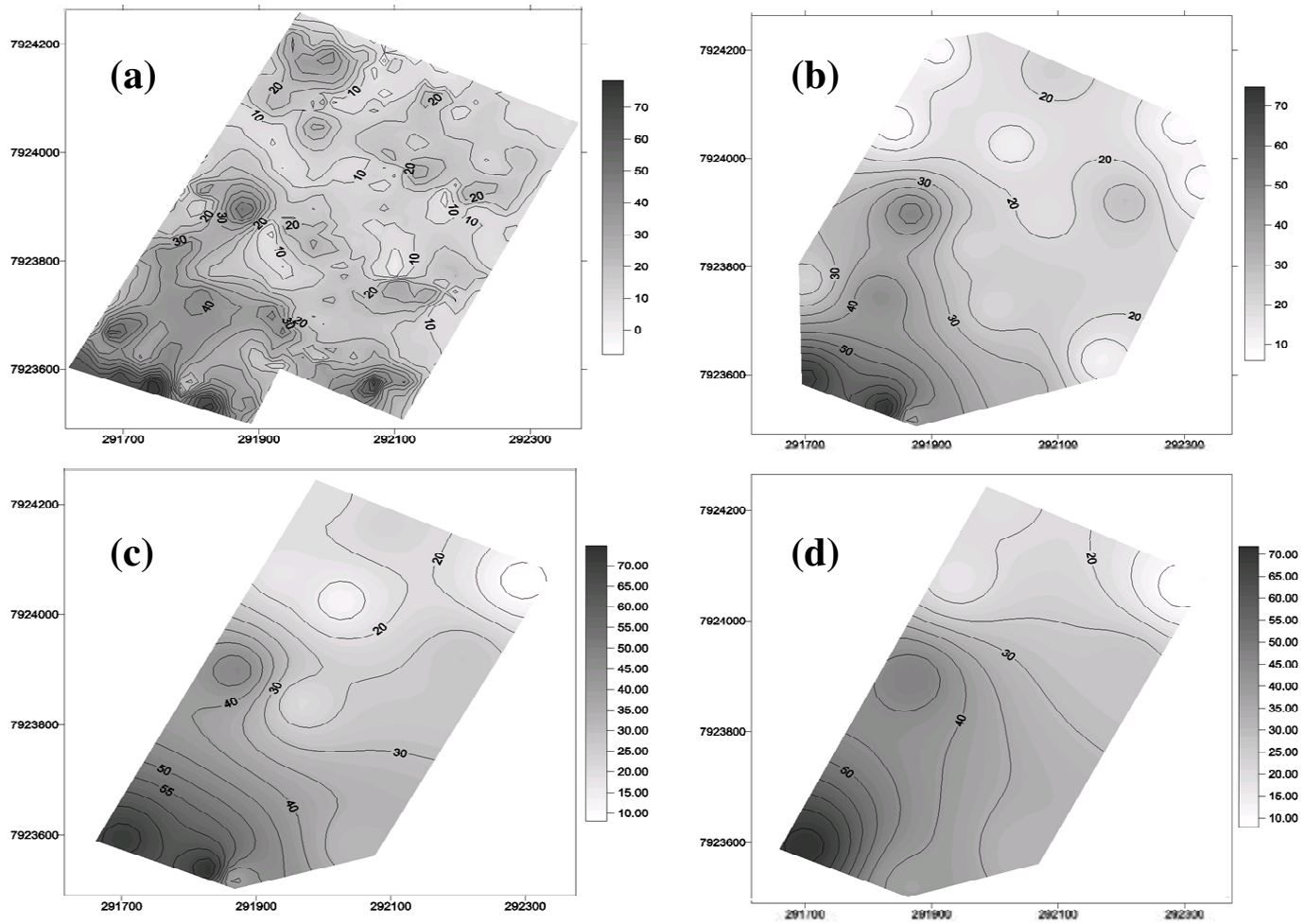


Fig. 4. (a). Mapas das estimativas das capturas de machos de *L. coffeella* gerado a partir de 549 utilizando crigagem, (b). 20, (c) 12 e (d) 8 armadilhas utilizando o inverso da distância ponderada.

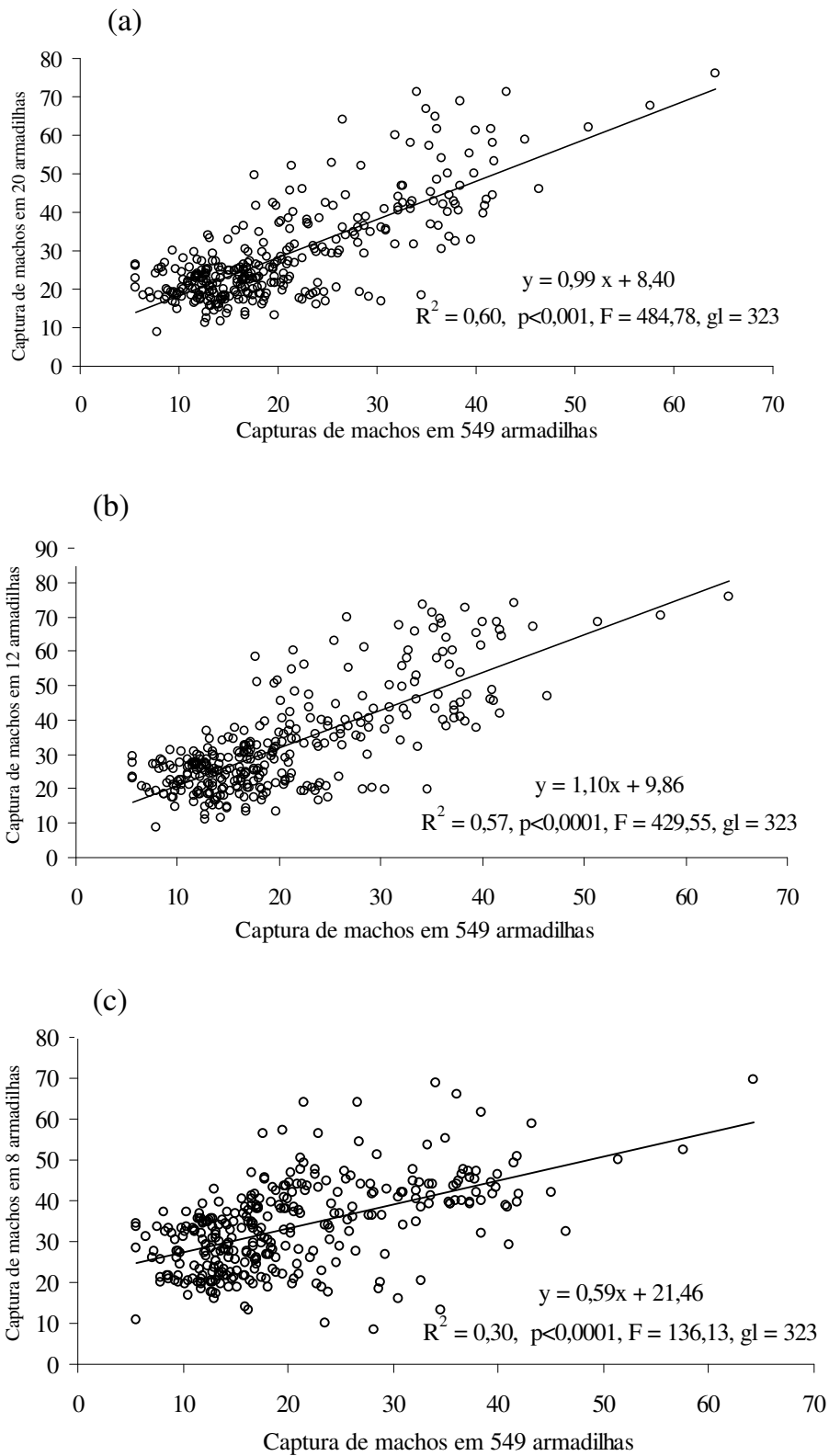


Fig. 5. Relação entre a estimativa da captura de machos de *Leucoptera coffeella* utilizando como interpoladores espaciais; o de método de crigagem 549 armadilhas e do inverso da distância ponderada para (a) 20 armadilhas, (b) 12 armadilhas e (c) 8 armadilhas.

CONCLUSÃO GERAL

- A captura dos machos de *L. coffeella* em armadilhas de feromônio reflete com precisão a intensidade de folhas minadas, podendo incorporar esta técnica de amostragem no manejo integrado deste inseto;
- Os ovos de *L. coffeella* foram positivamente correlacionados com as capturas de machos nas armadilhas de feromônio;
- A diminuição da temperatura média favoreceu o incremento da percentagem de folhas minadas;
- Houve interferência nas capturas de machos de *L. coffeella*, quando as armadilhas de feromônio foram posicionadas a distâncias menores que 10 m;
- A independência espacial das capturas de machos de *L. coffeella*, foi atingida com distância de 110 a 177 m entre armadilhas;
- A direção das fileiras de café ajudaram na dispersão da pluma de feromônio, possibilitando aumentar a distância entre armadilhas;
- O padrão de distribuição espacial dos machos de *L. coffeella* foi agregado;
- Com a utilização de interpoladores espaciais foi possível validar o plano de amostragem;
- O monitoramento de *L. coffeella* pode ser feito na densidade de 1 armadilha/4ha de café, gerando informações precisas e rápidas, e ainda permite a identificação dos focos de infestação do inseto.