

**GEOESTATÍSTICA NA AMOSTRAGEM
SEQÜENCIAL DE NINHOS DE FORMIGAS
CORTADEIRAS EM EUCALIPTAIS EM
REGIÃO DE MATA ATLÂNTICA**

LÚCIA APARECIDA MENDONÇA

2008

LÚCIA APARECIDA MENDONÇA

**GEOESTATÍSTICA NA AMOSTRAGEM SEQÜENCIAL
DE NINHOS DE FORMIGAS CORTADEIRAS EM
EUCALIPTAIS EM REGIÃO DE MATA ATLÂNTICA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Entomologia, área de concentração em Entomologia Agrícola, para a obtenção do título de "Doutor".

Orientador

Dr. Ronald Zanetti

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2008**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Mendonça, Lúcia Aparecida.

Geoestatística na amostragem seqüencial de formigas cortadeiras em eucaliptais em região de Mata Atlântica / Lúcia Aparecida Mendonça. – Lavras : UFLA, 2008.

52 p. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Ronald Zanetti.

Bibliografia.

1. Formigas cortadeiras. 2. Monitoramento de pragas. 3. Eucalipto. 4. Amostragem seqüencial. 5. Geoestatística. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 595.796046

LÚCIA APARECIDA MENDONÇA

**GEOESTATÍSTICA NA AMOSTRAGEM SEQUÊNCIAL DE NINHOS DE
FORMIGAS CORTADEIRAS EM EUCALIPTAIS EM REGIÃO DE MATA
ATLÂNTICA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras
como parte das exigências do Programa de Pós-
graduação em Agronomia/Entomologia, área de
concentração em Entomologia Agrícola, para a
obtenção do título de "Doutor".

APROVADA em 6 de março de 2008

Prof. Dr. Jair Campos Moraes UFLA

Prof. Dr. José Cola Zanuncio UFV

Prof. Dr. José Márcio de Mello UFLA

Prof. Dr. Marcelo Silva de Oliveira UFLA

Prof. Dr. Ronald Zanetti

UFLA

(Orientador)

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL**

A Deus,

por me dar forças para lutar sempre.

A meu filho, Daniel,

pela alegria que me motiva a cada dia.

OFEREÇO

A meus pais, José e Terezinha (*in memoriam*), pela vida de lutas e conquistas na educação de seus 10 filhos.

Aos meus irmãos, José Maria, Joaquim Maria (*in memoriam*), Antônio Maria, João Maria, Sebastião, Sérgio, Maria do Carmo, Rui e Hélia, pelos bons exemplos em que me espelho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, que em sua infinita sabedoria criou a vida.

À Universidade Federal de Lavras, pelas oportunidades que me proporcionou em minha vida profissional, onde fiz a graduação em Agronomia, o mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária e o doutorado em Entomologia.

Ao Departamento de Entomologia, pela oportunidade para a realização do Doutorado em Agronomia/Entomologia – Área de Concentração Entomologia Agrícola.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

À Celulose Nipo-Brasileira, CENIBRA, por disponibilizar a área de estudo e pessoas para coletar os dados, em especial ao Alex Medeiros, pelo apoio técnico.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Entomologia, pelo apoio irrestrito na condução e desenvolvimento de pesquisa.

Ao Professor Ronald Zanetti, pela orientação e incentivo.

Ao coordenador do curso de doutorado em Agronomia/Entomologia, Prof. Alcides Moino, pelo esforço frente ao programa e motivação durante o curso.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Entomologia, pelo convívio e apoio, além da contribuição a minha formação acadêmica.

Aos funcionários do Departamento de Entomologia, Fábio, Lisiane, Elaine, Nazaré, Julinho, Edvaldo e Irene, pela simpatia e eficiência com que sempre nos ajudam.

À colega Verônica Yumi, pela grande ajuda e presteza na finalização deste trabalho. Que Deus te abençoe sempre, por sua infinita bondade.

Aos colegas do doutorado, em especial a minha grande amiga Ester, pelo agradável convívio durante todo o curso.

Aos demais colegas do DEN e do DEX, pelos anos de alegria e grande aprendizagem. São tantos os colegas que é impossível citar todos os nomes.

Ao meu querido pai, José, pela grande força e persistência para educar os DEZ filhos.

A minha querida mãe, Terezinha, que foi embora deste mundo com a certeza de ter cumprido sua árdua tarefa, nos deixando como herança muito amor, honestidade e humildade acima de tudo.

Aos meus queridos irmãos, José Maria, Antônio Maria, Joaquim Maria (*in memoriam*), João Maria, Sebastião, Sérgio, Maria do Carmo, Rui e Hélia, pelo amor e apoio durante toda a minha vida de caçula.

Ao Robson, pelo grande apoio e atenção.

Em especial, ao meu filho Daniel, que sempre participou muito de perto de minha vida de estudante: na graduação em Agronomia em que fez coleções de insetos e feijões comigo; no mestrado, quando assistia aos seminários de Estatística, sempre muito bem comportado e no doutorado, quando me ajudou a fazer coletas e a coleção de insetos. Agradeço pelo seu amor, sua alegria, seu sorriso, seus beijos e abraços apertados.

Aos demais amigos e familiares, que sempre estiveram por perto, prontos para apoiar.

Ao ensino público, por toda a minha formação profissional.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 Introdução Geral	1
2 Referencial Teórico Geral.....	2
3 Referências Bibliográficas.....	13
CAPÍTULO 1 – Geoestatística na determinação da distribuição espacial de ninhas de formigas cortadeiras em eucaliptais em região de Mata Atlântica.....	17
Resumo	17
Abstract.....	18
1 Introdução	19
2 Material e Métodos	20
3 Resultados e Discussão.....	21
4 Conclusões	27
5 Referências Bibliográficas	28
CAPÍTULO 2 – Amostragem seqüencial de ninhas de formigas cortadeiras em eucaliptais em região de Mata Atlântica.....	30
Resumo	30
Abstract.....	31
1 Introdução	32
2 Material e Métodos	35
3 Resultados e Discussão.....	37
4 Conclusões	41
5 Referências Bibliográficas	42
Anexo	44

RESUMO

MENDONÇA, Lúcia Aparecida. **Geoestatística na amostragem seqüencial de ninhos de formigas cortadeiras em eucaliptais em região de Mata Atlântica.** 2008. 52 p. Tese (Doutorado em Entomologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Um dos passos fundamentais do manejo integrado de pragas é a avaliação populacional da praga. Para isso é preciso saber como ela se distribui no campo. No caso de formigas cortadeiras, diversos estudos foram desenvolvidos para se conhecer essa distribuição e como amostrá-las adequadamente, porém é preciso ampliar esse conhecimento, usando a Geoestatística. Nesse sentido, objetivou-se estudar se há ou não dependência espacial entre os ninhos de formigas cortadeiras em eucaliptais e elaborar um plano de amostragem seqüencial de ninhos de formigas cortadeiras em região de Mata Atlântica de Minas Gerais. Para isso, foi construído o variograma experimental de dados de três anos de avaliação, entre 2002 e 2005. Foi estimado o alcance do primeiro patamar do modelo ajustado, que representa a distância máxima em que há dependência espacial entre as observações. Foram estimados o tamanho ótimo das amostras, as linhas de decisão e as curvas CO e NMA, que foram usadas na avaliação do plano de amostragem seqüencial. Concluiu-se que existe dependência espacial entre os ninhos de formigas cortadeiras em eucaliptais nessa região, que se ajustou um modelo wave. O valor do alcance foi de 35m, indicando que a distribuição espacial dos ninhos se torna aleatória a partir dessa distância. O tamanho ótimo de parcelas para a amostragem seqüencial é de 20m². Essas devem ser lançadas a acaso a uma distância mínima de 35m. A tomada de decisão de controle deve ser feita a partir da 10^a amostra. Quanto mais próximo do nível de controle, maior é o tamanho da amostra necessário para a tomada de decisão de controle.

Orientador: Ronald Zanetti – UFLA

ABSTRACT

MENDONÇA, Lúcia Aparecida. **Geostatistics in the sequential sampling plan of leaf-cutting ant nests in eucalyptus plantations in the Atlantic forest region.** 2008. 52 p. (Thesis - Doctor in Entomology) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.

One of the basic steps of the integrated pest management is the evaluation of pest population. For this, it is necessary to know how it is distributed on the field. Regarding the leaf-cutting ants, several studies have been developed to investigate their distribution as well as how to sample them adequately, but it is also necessary to improve such studies with the use of the Geostatistics. In this sense, the objective of this study was investigate whether there is spatial dependence among the leaf-cutting ant nests in eucalyptus plantations, in a region of Atlantic forest, of State of Minas Gerais. For this, the experimental variograms of three years data of evaluation, between 2002 and 2005, were constructed. The range of first sill of adjust model was estimated and it represents the maximum distance where there is spatial dependence between the observations. The optimum plot size, the Characteristic Operating (OC) and Average Sample Number (ASN) curves were estimated. The OC and ASN were used to evaluate the sequential sampling plan. It was concluded that exists spatial dependence between the leaf-cutting ant nests in eucalyptus plantation in that region and a "wave" model was adjusted. The range value was 35 m, indicating that the spatial distribution of nests is random until this distance. The optimum plot size for the sequential sampling plan is 20 m². The plots must be thrown randomly at distance at least 35m from each other. The making control decision must be done at least at 10th sample. It was ended that when the population density is next to the control level, the sample size for making control decision is higher.

Advisor: Ronald Zanetti – UFLA

1 INTRODUÇÃO GERAL

Perdas em função do ataque de insetos-praga representam um dos fatores que limitam a produção de eucalipto, destacando-se as formigas cortadeiras *Atta laevigata* (F. Smith, 1858) (Hymenoptera: Formicidae) e *Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908 (Hymenoptera: Formicidae) e espécies de *Acromyrmex* (Hymenoptera: Formicidae).

Para a elaboração de um programa de manejo integrado de pragas (MIP), uma das etapas é conhecer a distribuição dos insetos no campo. Existem vários métodos para fazer essa determinação, sendo a Geoestatística a mais indicada, pois leva em consideração se há ou não dependência espacial entre as observações.

Outra etapa para realizar o MIP seriam os planos de amostragem que são usados para fazer o monitoramento de população da praga. Uma das prerrogativas do MIP é fazer o controle de uma praga somente quando o dano proveniente ocasiona prejuízos econômicos. Portanto, um bom plano de amostragem resulta em uma decisão confiável de controlar ou não uma praga. Além disso, se for possível que essa decisão seja tomada mais rapidamente, melhor, porque haverá um menor gasto com mão-de-obra para o monitoramento. A entrada do controle, sendo feita mais rapidamente, reduz os prejuízos com a praga. Neste contexto, a amostragem seqüencial se torna uma ótima opção de elaboração de planos de amostragem, pois, em situações de alta ou baixa densidade da praga, a decisão é feita tomando-se um menor número de unidades amostrais. Somente quando a densidade populacional for média, ou seja, próxima ao nível de controle, haverá a necessidade de um maior número de unidades amostrais, para que seja tomada a decisão de se controlar ou não.

2 REFERENCIAL TEÓRICO GERAL

2.1 As formigas cortadeiras

As formigas cortadeiras pertencem à ordem Hymenoptera, família Formicidae, subfamília Myrmicinae e tribo Attini. Espécies dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex* desfolham vários tipos de plantas, como eucalipto, gramíneas e plantas nativas, utilizando suas folhas para cultivar o fungo empregado na sua alimentação, sendo as principais pragas do eucalipto no Brasil (Anjos et al., 1993). As formigas quenquéns danificam as folhas de eucalipto, mas as saúvas são mais importantes, podendo desfolhar completamente a planta (Gallo et al., 2002).

Vinte espécies e nove subespécies de *Acromyrmex* e dez espécies e três subespécies de *Atta* foram relatadas no Brasil (Della Lucia, 1993). Porém, nem todas têm importância econômica e causam impacto reduzido ao agroecossistema. Dentre as espécies de formigas cortadeiras presentes no Brasil, somente cinco espécies de saúva e nove de quenquém são importantes, do ponto de vista econômico (Zanetti et al., 2000).

Os formigueiros de *Acromyrmex* spp. são pequenos e, geralmente, constituídos de poucas panelas. As operárias variam de tamanho de acordo com a função que exercem, porém, são menores que as saúvas e diferem destas pela presença de mais três pares de espinhos no tórax.

As formigas saúva (*Atta* spp.) possuem apenas três pares de espinhos no dorso do tórax. Ocorrem somente no continente americano, com área de dispersão dos Estados Unidos (latitude 33°N) ao centro da Argentina (latitude 33°S). Não há saúvas no Chile, em algumas ilhas das Antilhas e no Canadá, e, no Brasil, não há presença apenas em Fernando de Noronha. Seus formigueiros são denominados sauveiros e reconhecidos pelo monte de terra solta na superfície do solo, proveniente das escavações para a construção de novas panelas (Mariconi, 1970).

Novos formigueiros são, geralmente, iniciados no período de outubro a dezembro. Após a revoada, quando ocorre o acasalamento, o bitu (macho) e a içá (fêmea) caem no solo. O macho morre imediatamente. A içá carrega, numa cavidade

posterior do cibário, uma porção de fungo para a formação do novo formigueiro e depois de fecundada, livra-se das asas e inicia, no solo, a escavação do novo formigueiro. Durante 80 a 100 dias seguintes a içá permanece em sua panela inicial. O primeiro olheiro é aberto, em média, 3 meses após a penetração da içá no solo e o segundo, 14 meses após a abertura do primeiro (Della Lucia, 1993).

2.1.1 Monitoramento de formigas cortadeiras

As formigas cortadeiras causam grandes perdas aos eucaliptais e, por isso, seu monitoramento deve ser constante e com qualidade. Na fase inicial da cultura, a avaliação da infestação da praga deve ser periódica e o nível de controle é zero, pois as mudas de eucalipto não suportam desfolha. Na fase adulta, a avaliação é feita semestral ou anualmente, pois a planta suporta certo nível de dano nessa fase.

O monitoramento da população de insetos é uma das ferramentas do manejo integrado de pragas para recomendar o controle quando necessário. Para isso, são estabelecidos planos específicos de amostragem por local.

Populações de insetos em culturas podem ser monitoradas por métodos convencional ou seqüencial. Na amostragem convencional, o tamanho da amostra é fixo, independe do nível de infestação da praga, exigindo, geralmente, maior tempo para a tomada de decisão. Os métodos convencionais de monitoramento de formigas cortadeiras são: transectos em linha ou em faixas e parcelas aleatórias.

O transecto em faixa consiste na contagem do número de formigueiros em faixas de plantio, com distâncias variáveis entre elas e começando em uma das bordas do talhão reflorestado e terminando na outra (Zanuncio et al., 2002). Acompanha as linhas de plantio e limita-se às entrelinhas.

O transecto em linha ou em quadrante utiliza linhas de comprimento determinado com largura fixa de 15 metros de cada lado. A distância de cada formigueiro até a árvore mais próxima é medida e a densidade é calculada pelo método Cottan e Curtis ou Pollard (Reis, 2005).

As parcelas ao acaso são, normalmente, retangulares, acompanham a linha de plantio e são lançadas com área fixa, de acordo com o mapa do talhão, onde os pontos são escolhidos.

Outro método, pouco aplicado, é o monitoramento aéreo para a quantificação de danos visuais, que pode ser eficiente quando há problemas para o monitoramento terrestre, como em áreas muito extensas e topografia muito acidentada (Laranjeiro, 1994).

2.2 A amostragem seqüencial

A amostragem seqüencial requer um número variável de unidades amostrais, em função do nível de infestação. A decisão de controle é tomada com menor número de unidades amostrais avaliadas quando a densidade da praga está muito abaixo ou muito acima do nível de controle. Isso permite se reduzir o tempo de amostragem em torno de 50% e diminuir seu custo (Estefanel, 1977). Entretanto, em níveis intermediários de infestação, o plano de amostragem seqüencial exige maior tamanho de amostras para a tomada de decisão.

Existem, basicamente, dois métodos de construção de um plano de amostragem seqüencial: 1) teste seqüencial da razão de probabilidades (Wald, 1947), que depende do modelo probabilístico que descreve a distribuição da praga e 2) metodologia de Iwao (Iwao, 1975), que independe do modelo probabilístico que descreve a distribuição da praga.

A metodologia de Iwao apóia-se no teorema central do limite que consiste em adaptar um intervalo de confiança em torno da média populacional (nível de controle) e gerar as linhas de decisão. Os valores acima da linha superior indicam necessidade de fazer o controle da praga. Os valores abaixo da linha inferior indicam não ser necessário entrar com medidas de controle. Valores entre as linhas inferior e a superior indicam que se deve continuar amostrando até a tomada de decisão.

O plano de amostragem seqüencial é construído para se testar a hipótese $H_0: \mu < m'$ contra a hipótese alternativa de que a infestação é igual ou acima do nível de controle ($H_0: \mu \geq m'$).

2.3 Distribuição espacial

O padrão de distribuição espacial dos indivíduos de uma população (ninhos de formigas) é importante no estudo do seu comportamento e na elaboração de planos de amostragem. Em populações e em agroecossistemas naturais, muitos indivíduos estão espacialmente relacionados um com o outro de maneira recíproca e dois indivíduos podem estar mais próximos entre si que os demais. Qualquer mecanismo que promova a formação de grupos tende a aumentar a dependência espacial (Isaaks & Srivastava, 1989). E, quando há um padrão de dependência espacial entre as observações, a Geoestatística é a mais indicada para analisar os dados.

2.4 Geoestatística: origens e áreas de aplicação

A Geoestatística surgiu na África do Sul para estudos de concentração de ouro, mas não se encontrou sentido nas variâncias se a distância entre as amostras não fosse considerada (Krige, 1951). Essas observações levaram ao desenvolvimento de uma teoria chamada Teoria das Variáveis Regionalizadas, que contém os fundamentos da Geoestatística (Matheron, 1963).

A variável regionalizada é uma função que varia de um lugar para o outro no espaço com certa aparência de continuidade, ou seja, variáveis com a posição espacial que ocupam (Castilho, 1998). A continuidade atribuída às variáveis regionalizadas se observa pela tendência de tomarem valores mais próximos em dois pontos amostrados, quanto menos afastados estão os referidos pontos. A continuidade é a flutuação mais ou menos importante entre valores de amostras vizinhas, refletindo um alto grau de dependência ou independência que existe entre um valor e outro (Guerra, 1988). A continuidade ou variabilidade espacial constitui uma das principais características regionalizadas, cuja compreensão e modelagem representam a base de toda análise Geoestatística (Sturaro, 1994).

As variáveis regionalizadas possuem características qualitativas, como a localização, a continuidade (espacial) e a anisotropia ligadas à estrutura do fenômeno que representam. A Geoestatística é empregada para o estudo estatístico de um

fenômeno natural, caracterizado pela distribuição no espaço de uma ou mais variáveis, denominadas “variáveis regionalizadas”. A diferença básica entre a Estatística Clássica e a Geoestatística é que a primeira requer valores das amostras independentes espacialmente e a segunda, valores das amostras correlacionadas ou dependentes no espaço (Journel & Huijbregts, 1978).

O termo Geoestatística refere-se ao tópico especial da estatística aplicada que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas, as quais têm um comportamento espacial e características intermediárias entre as variáveis casuais e determinísticas. Estas apresentam uma aparente continuidade no espaço, sendo representadas por funções numéricas ordinárias que assumem um valor definido a cada ponto no espaço e, matematicamente, descrevem um fenômeno natural. A continuidade geográfica atribuída se manifesta pela tendência da variável em apresentar valores muito próximos em dois pontos vizinhos e mais diferentes à medida que os pontos vão ficando mais distantes (Landim, 1988).

A Geoestatística era apresentada como uma teoria difícil, desenvolvida na França, acessível apenas a pessoas altamente treinadas ou àqueles com acesso a algum programa computacional complexo e caro (Journel, 1988).

Existem muitos textos disponíveis de Geoestatística para a área de mineração, mas poucos trabalhos a têm adaptado para outras áreas, como Entomologia e Nematologia. A distribuição de nematóides foi descrita como agregada e, portanto, com dependência espacial nos dados (Wallace & Hawkins, 1994). Por isso, usa-se a teoria de variáveis regionalizadas para analisar dados de fitonematóides com conceitos de Geoestatística como modelagem variográfica e krigagem. A distribuição espacial do nematóide reniforme *Rotylenchulus reniformis* Linford e Oliveira, 1940 foi descrita com Geoestatística em sistemas de rotação de culturas de algodão com sorgo, amendoim e mucuna-preta (Farias, 1999).

Na Entomologia, a avaliação do dano e a distribuição espacial utilizam a Geoestatística como ferramenta útil e segura para análise dos dados de espécies de insetos. A distribuição espacial de *Lymantria dispar* (Lineu, 1758) (Lepidoptera: Lymantriidae) e *Calosoma sycophanta* Perty, 1830 (Coleoptera: Carabidae) foi

descrita com análise espectral (Weseloh, 1989). O efeito da localização da amostra na análise estatística da distribuição espacial de *Lygus hesperus* Knight, 1917 (Hemiptera: Miridae) foi estudado em lentilhas (Schotzko & O’Keeffe, 1990). Técnicas geoestatísticas foram estudadas em amostras de massas de ovos de *L. dispar* para avaliar a agregação de massas de ovos com escalas espaciais e diferentes densidades populacionais e demonstrar que um procedimento de krigagem pode ser usado para desenvolver mapas para avaliar a densidade da lagarta em grandes e pequenas áreas (Liebhold et al., 1991).

Diuraphis noxia (Mordvilko, 1913) (Homoptera: Aphididae) apresentou distribuição agregada em trigo, o que demonstra por meio de semivariogramas com modelo exponencial, e distribuição aleatória em aveia, analisada pelo modelo linear do semivariograma obtido (Schotzko & Knudsen, 1992). Conceitos básicos de Geoestatística foram usados na produção de mapas para diferentes situações de manejo de pragas e como podem auxiliar na tomada de decisão, usando o manejo de *L. dispar* como exemplo (Roberts et al., 1993).

Um modelo para estimar a desfolha por *L. dispar* foi estudado com krigagem e regressão logística (Gribko et al., 1995). A ocorrência de insetos na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) foi avaliada em sistemas orgânico e convencional (Romano, 2003). A grande interferência do sistema de cultivo, da época de semeadura e do estágio de desenvolvimento sobre a distribuição espacial e temporal dos insetos na cultura do feijão dificulta a adoção de sistemas de amostragem com Estatística Clássica, recomendando o uso da Geoestatística.

2.4.1 Análise geoestatística de dados

Procedimentos geoestatísticos utilizam informações da posição da amostra e do valor que a variável assume em cada ponto. Portanto, cada amostra contém o valor da variável observada e as coordenadas do ponto onde foi coletada. As coordenadas devem ser expressas em um sistema de unidades que permita o cálculo da distância entre as amostras.

2.4.2 Semivariograma

Métodos geoestatísticos podem juntar o aspecto espacial com o aleatório (probabilístico). Estes métodos se baseiam na teoria das variáveis regionalizadas, a partir da qual é possível estudar a estrutura espacial e calcular o erro na avaliação, levando em conta a posição real das amostras. O objetivo da análise estrutural, por exemplo, do semivariograma, é estudar as duas características essenciais das variáveis regionalizadas (aspectos aleatório e espacial) e extrair uma imagem da variabilidade dos dados e uma medida da correlação entre os valores em dois pontos do espaço.

O semivariograma é uma ferramenta matemática que permite estudar a dispersão natural das variáveis regionalizadas. Ele indica o grau de continuidade espacial e dá informações sobre o fenômeno a ser estudado. Entretanto, geralmente, a modelagem e a interpretação do variograma não são simples. Ambas exigem conhecimentos do fenômeno e da maneira como a coleta das amostras foi realizada para analisar adequadamente os dados (Valente, 1988).

O semivariograma é fundamental para a Geoestatística (Cressie, 1989) e a análise variográfica requer bons instrumentos, como um programa interativo e habilidade para sintetizar e, às vezes, ir além dos dados (Journel, 1988).

O variograma é uma curva que representa o grau de continuidade de uma variável regionalizada. Experimentalmente, plota-se a distância h nas abscissas e nas ordenadas, o valor médio do quadrado da diferença entre os valores da variável regionalizada tomados a uma distância h de uma parte para outra variável (Diniz, 1997). Em termos gerais, o variograma é função crescente com a distância h , desde que, em média, quanto maior a distância em que ambas as amostras estiverem uma da outra, maiores serão as diferenças entre os seus valores. Esta afirmação fornece um conceito preciso da zona de influência de uma amostra. Quanto mais rápido ou lento cresce um variograma, mais rápida ou lentamente será representada a deterioração da influência de uma determinada amostra sobre mais e mais zonas remotas de um determinado fenômeno. As características qualitativas da regionalização são mais bem expressas com variogramas.

A determinação do variograma é o primeiro passo no procedimento de uma estimativa a Geoestatística. Esse passo é o mais importante porque o modelo variográfico escolhido será utilizado por todo o processo de estimação e nos resultados e conclusões (Guerra, 1988).

As principais características estruturais dos semivariogramas (Sturaro, 1994) que devem ser consideradas na modelagem variográfica são:

. **zona de influência:** o semivariograma é função de incremento em relação à distância orientada h . Teoricamente, à medida que essa distância aumenta, mais discrepantes serão os dados e maior será a semivariância, até atingir uma separação de total independência entre as amostras. Esta distância é denominada em Geoestatística de zona de influência, cuja medida é a amplitude variográfica (alcance);

. **anisotropias:** o fenômeno é dito ser isotrópico quando os semivariogramas apresentam configurações semelhantes para as várias direções. Caso contrário, possui algum tipo de anisotropia. Se os semivariogramas apresentam a mesma forma, mas com diferentes amplitudes, denomina-se anisotropia geométrica;

. **continuidade espacial:** a progressão da curva do semivariograma, nas pequenas distâncias, reflete a continuidade da variável no espaço. Assim, a análise do semivariograma próximo à origem proporciona informações desta natureza da variável. Um semivariograma com comportamento parabólico é reflexo de boa continuidade, já uma forma linear na origem reflete a continuidade moderada no espaço. Teoricamente, o semivariograma deveria ser nulo na origem, mas, na maioria das vezes, apresenta uma descontinuidade, denominada efeito pepita.

Historicamente, a origem do efeito pepita está na aparição, mais ou menos casual, de pepitas de ouro nas amostragens de um mineral. Neste caso, pode-se encontrar uma pepita em algum poço sem que isso implique que se venha encontrar nos vizinhos. A descontinuidade do tipo pepita não pode, por si só, justificar que o semivariograma não passe pela origem (Samper & Ramirez, 1996). O efeito pepita corresponde ao ponto no qual o variograma intercepta o eixo das ordenadas (Diniz, 1997) e pode ser considerado como testemunho de microrregionalizações que

ocorrem em escalas inferiores à escala usada na amostragem. Assim, o primeiro ponto levantado no variograma é o $\gamma(1)$ e não se conhece o andamento experimental da curva entre os pontos 0 e 1.

Pares de valores de semivariâncias $\gamma(h)$ e distância h são usados para se calcular os semivariogramas, os quais deverão ser dispostos em gráfico de dispersão tendo como valores de Y as semivariâncias e de X, as distâncias. A esses pontos deverá ser ajustado um modelo. Para propriedades espacialmente dependentes, espera-se que a diferença entre valores $[Z(x_i) - Z(x+h)]$, em média, seja crescente com distância até determinado ponto, a partir do qual se estabiliza num valor, denominado patamar, representado pelo símbolo C e aproximadamente igual à variância dos dados. Esta distância recebe o nome de alcance a e representa o raio de um círculo, dentro do quais os valores são tão parecidos uns dos outros que são correlacionados. O valor da semivariância na interseção do eixo Y tem nome de efeito pepita e cujo símbolo é C_0 e representa a variabilidade da propriedade em estudo em espaçamentos menores do que o amostrado. Assim, quanto maior o efeito pepita, mais fraca é a dependência espacial de um atributo. Os parâmetros efeito pepita (C_0), patamar (C) e alcance a são usados nas equações ajustadas aos semivariogramas (Vieira et al., 1983).

À medida que h aumenta, também $\gamma(h)$ até um valor máximo no qual ele se estabiliza (Vieira et al., 1983). Este valor no qual $\gamma(h)$ se estabiliza chama-se patamar (“Sill”) e é, aproximadamente, igual à variância dos dados $\text{Var}(z)$. A distância na qual $\gamma(h)$ atinge o patamar é chamada de alcance (“Range”), recebe o símbolo de a e é a distância limite de dependência espacial. Medições localizadas a distâncias maiores que o alcance a têm distribuição espacial aleatória e, por isso, são independentes entre si. Para estas amostras, a Estatística Clássica pode ser aplicada sem restrições. Por outro lado, amostras separadas por distâncias menores que a são correlacionadas umas às outras, o que permite que se façam interpolações para espaçamentos menores que os amostrados. Desta maneira, o alcance a é a linha divisória para a aplicação de Geoestatística ou Estatística Clássica e, por isso, o

cálculo do semivariograma deveria ser feito rotineiramente para dados de campo para garantir as hipóteses estatísticas sob as quais serão analisados.

Se o semivariograma, em vez de ser crescente e dependente de h , for constante e igual ao patamar para qualquer valor de h , então, se tem um efeito pepita puro ou ausência total de dependência espacial. Isto significa que o alcance a , para os dados em questão, é menor do que o menor espaçamento entre amostras. Para estes dados, tem-se uma distribuição espacial, completamente aleatória e a única estatística aplicável é a Estatística Clássica.

A relação entre parâmetros C_0 e C_1 fornece um índice $E = C_0/C_1$, denominado efeito pepita relativo, que expressa a aleatoriedade da regionalização. Os seguintes intervalos fornecem uma noção da influência do componente aleatório:

$E < 0,15 \rightarrow$ componente aleatório é pequena.

$0,15 < E < 0,30 \rightarrow$ componente aleatório é importante.

$E > 0,30 \rightarrow$ componente aleatório é muito importante

Outro modo é analisar a razão $C_0 / (C_0 + C_1)$; quando for maior que 0,8, a Estatística e a Geoestatística não se diferenciam (Journel, 1988). Desse modo, pode-se analisar quanto da variância total é causada por variações aleatórias.

2.4.3 Semivariograma experimental

O semivariograma experimental (Figura 1) representa, esquematicamente:

(a) alcance – à medida que a distância entre os pares aumenta, a variabilidade tenderá a aumentar até determinado nível. A distância na qual o variograma atinge este nível é denominada alcance ou “range”;

(C) patamar – representa o nível de variabilidade em que o variograma se estabiliza e esse patamar deve ser, teoricamente, igual à variância amostral. Este parâmetro é, também, denominado “Sill”;

(C_1) variância espacial – representa diferenças espaciais entre os valores de uma variável tomada em dois pontos separados por distâncias cada vez maiores;

(C_0) efeito pepita – para distância igual a zero ($h=0$), o variograma deveria apresentar variabilidade nula. Entretanto, vários fatores, como erros de amostragens ou de medidas e microrregionalizações da variável em análise, causam uma descontinuidade na origem do variograma, denominado efeito pepita (“nugget effect”).

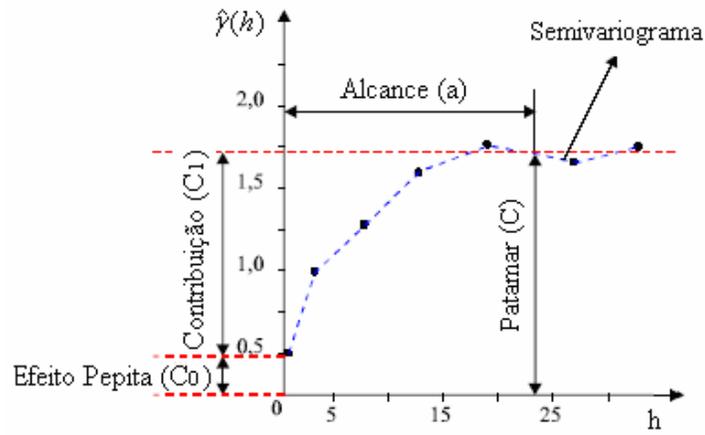


FIGURA 1. Esquema de um semivariograma experimental (Camargo, 2003).

2.4.4 Modelo variográfico

O semivariograma é por definição (Farias, 1999):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

e pode ser estimado por:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

em que $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$, separados por um vetor h .

O gráfico de $\gamma^*(h)$ “versus” valores correspondentes de h , chamado semivariograma, é uma função do vetor h e, portanto, depende da magnitude e da direção de h . Quando o gráfico do semivariograma é idêntico para qualquer direção, ele é chamado isotrópico e representa uma situação mais simples que quando é

anisotrópico, isto é, muda de forma nas diferentes direções. Isso depende da propriedade em estudo e das dimensões da área amostrada. A construção do semivariograma não utiliza valores observados das variáveis aleatórias, mas sim das diferenças entre tais valores separados por uma determinada distância. Assim, conhecendo a distância que separa dois pontos, estima-se o valor da variância da diferença das variáveis aleatórias nos pontos. Admite-se que tal variância não depende da localização dos pontos, mas da distância entre eles.

Para malhas regulares, o semivariograma amostral é obtido com:

- a. fixa-se uma distância h (“lag”);
- b. formam-se todos os pares de pontos separados por tal distância;
- c. aplica-se a expressão do estimador adotado, obtendo-se a semivariância estimada;
- d. os pares de pontos formados pelas distâncias (eixo X) e as semivariâncias (eixo Y) são assinaladas em um gráfico.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, N.; MOREIRA, D. D. O.; DELLA LUCIA, T. M. C. Manejo integrado de formigas cortadeiras em reflorestamentos. In: DELLA LUCIA, T. M. C. (Ed.). **As formigas cortadeiras**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1993. p. 212-241.

CAMARGO, E. C. G. Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: **Geoprocessamento em projetos ambientais**. p. 1-36. 2003. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2006.

CASTILHO, H. J. **Estudo da distribuição espacial de cupins subterrâneos através da geoestatística em área de cultivo de cana-de-açúcar**. 1998. 165 p. Tese (Doutorado – Ciências Biológicas) – Universidade de São Paulo, São Carlos.

CRESSIE, N. Geostatistics. **The American Statistician**, Alexandria, v. 43, n. 4, p. 197-202, Nov. 1989.

DELLA LUCIA, T. M. C. Espécies de formigas cortadeiras no Brasil. In: _____. **As formigas cortadeiras**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1993. p. 26-21.

DINIZ, R. A. V. **A aplicação da metodologia geoestatística para a classificação geomecânica de uma camada da “hangwall” da mina São Bento – MG**. 1997.

154 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos.

ESTEFANEL, V. **A amostragem seqüencial baseada no teste seqüencial da razão de probabilidades e seu uso no controle de lagartas da soja no estado do Rio Grande do Sul.** 1977. 117 p. Tese (Doutorado em Experimentação e Estatística Agrônômica) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

FARIAS, P. R. F. **Distribuição espacial do nematóide reniforme com o uso da geoestatística em um solo com rotação de culturas.** 1999. 109 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BATISTA, G. C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D. **Entomologia agrícola.** Piracicaba: FEALQ, 2002. 920 p.

GRIBKO, L. S.; LIEBHOLD, A. M.; HOHN, M. Model to predict gipsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) defoliation using kriging and logistic regression. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 24, n. 3, p. 529-537, June 1995.

GUERRA, P. A. G. **Geoestatística operacional.** Brasília: Ministério das Minas e Energia, 1988. 145 p.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics.** New York: Oxford University, 1989. 560 p.

IWAO, S. A new method of sequential sampling to classify populations relative to a critical density. **Research on Population Ecology**, Kyoto, v. 16, p. 281-288, 1975.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics.** London: Academic, 1978. 599 p.

JOURNEL, A. G. **Geostatistics for environmental sciences.** Las Vegas: Report of United States Environmental Protection Agency, 1988.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. **Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa**, Pretoria, v. 52, p. 119-139, 1951.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos.** São Paulo: UNESP, 1988. 226 p.

LARANJEIRO, A. J. Controle de formigas cortadeiras em reflorestamentos: propagação, operação e monitoramento. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO NO CONTROLE DE FORMIGAS CORTADEIRAS, 2., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 1994. 24 p.

- LIEBHOLD, A. M.; ZHANG, X. HOHN, M. E.; ELKINTON, J. S.; TICEHURST, M.; BENZON, G. L.; CAMPBELL, R. W. Geostatistical analysis of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) egg mass populations. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 20, n. 5, p. 1407-1417, Oct. 1991.
- MARICONI, F. A. M. **As saúvas**. São Paulo: Ceres, 1970. 167 p.
- MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic geology**, London, v. 58, n. 8, p. 1246-1266, 1963.
- REIS, M. A. **Estudo de métodos aleatório e de distâncias para a amostragem de formigas cortadeiras em eucaliptais**. 2005. 53 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia (Entomologia)) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ROBERTS, E. A.; RAVLIN, F. W.; FLEISCHER, S. J. Spatial data representation for integrated pest management programs. **American Entomologist**, Lanham, v. 39, n. 2, p. 91-107, 1993.
- ROMANO, F. C. **Comparação da ocorrência de insetos na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado nos sistemas orgânico e convencional**. 2003. 73 p. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) – Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu.
- SAMPER, F. J.; RAMIREZ, J. C. **Geoestadística: aplicaciones a la hidrología subterránea**. Barcelona: Universidade Politècnica de Caalunya, 1996. 484 p.
- SCHOTZKO, D. J.; KNUDSEN, G. R. Use of geostatistics to evaluate a spatial simulation of Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) movement behavior on preferred and nonpreferred host plants. **Environmental Entomology**, Lanham, v. 21, n. 6, p.1271-82, Dec. 1992.
- SCHOTZKO, D. J.; O'KEEFFE, L. E. Effect of sample placement on the geostatistical analysis of the spatial distribution of *Lygus hesperus* (Heteroptera: Miridae) in lentils. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 83, n.5, p. 1888-1900, Oct. 1990.
- STURARO, J. R. **Mapeamento geoestatístico de propriedades geológicas – geotécnicas obtidas de sondagens de simples reconhecimento**. 1994. 172 p. Tese (Doutorado em Geoestatística) – Universidade de São Paulo, São Carlos.
- VALENTE, J. M. G. P. **Geomatemática: lições de geoestatística**. 2. ed. Ouro Preto: Fundação Gorceix, 1988. v. 8, 2210 p.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, Feb. 1983.

WALD, W. E. **Sequential analysis**. New York: J. Wiley, 1947. 211 p.

WALLACE, M. K.; HAWKINS, D. M. Applications of geostatics in plant nematology. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 26, n. 4, p. 626-634, Dec. 1994. Suppl.

WESELOH, R. M. Evaluations of insect spatial distributions by spectral analysis with particular reference to the gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) and *Calosoma sycophanta* (Coleoptera: Carabidae). **Environmental Entomology**, Lanham, v. 18, n. 2, p. 201-207, Apr. 1989.

ZANETTI, R.; JAFFÉ, K.; VILELA, E. F. Efeito de densidade e do tamanho de saueiros sobre a produção de madeira em eucaliptais. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 105-112, mar. 2000.

ZANUNCIO, J. C.; LOPES, E. T.; ZANETTI, R. Spatial distributions of the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae) in plantations of *Eucalyptus urophylla* in Brazil. **Sociobiology**, Chicago, v. 39, n. 2, p. 231-242, 2002.

CAPÍTULO 1

GEOESTATÍSTICA NA DETERMINAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE NINHOS DE FORMIGAS CORTADEIRAS EM EUCALIPTAIS EM REGIÃO DE MATA ATLÂNTICA

(Preparado de acordo com as normas da revista “Neotropical Entomology”)

Resumo - O manejo integrado visa o controle de pragas em agroecossistemas com base na avaliação populacional das pragas e na aplicação de técnicas de controle selecionadas com base em princípios econômicos, sociais e ambientais, preocupando-se com a sustentabilidade do ecossistema. Neste contexto, o conhecimento do tamanho e da distribuição espacial das populações de insetos-praga é fundamental para a tomada de decisão de controle. A Geoestatística é a melhor opção para estimar as populações de organismos quando há dependência espacial entre as observações. Em caso contrário, a Estatística Clássica pode ser usada sem prejuízo de perda de informações. Nesse sentido, objetivou-se estudar se há ou não dependência espacial entre os ninhos de formigas cortadeiras em eucaliptais em região de Mata Atlântica, no município de Belo Oriente, Minas Gerais. Variogramas experimentais foram construídos com dados de três anos de avaliação, entre 2002 e 2005. Concluiu-se que existe dependência espacial entre os ninhos de formigas cortadeiras em eucaliptais nessa região, que se ajustou a um modelo wave, indicando que a variância das áreas dos ninhos de formigas apresenta um comportamento oscilante em relação à distância entre eles. O valor do alcance foi de 35m, indicando que a distribuição espacial dos ninhos se torna aleatória a partir dessa distância.

Palavras-chaves: amostragem, Geoestatística, formigas cortadeiras, eucalipto.

**GEOSTATISTICS IN THE DETERMINATION OF THE SPATIAL
DISTRIBUTION OF LEAF-CUTTING ANT NESTS IN EUCALYPTUS
PLANTATIONS IN ATLANTIC FOREST REGIONS**

Abstract - The Integrated Pest Management intend to improve the pest control in the agroecosystem based on the pest population evaluation as well on the application of techniques of control regarding economic, social and environmental aspects, taking into consideration the sustainability of the ecosystem. In this context, the knowledge of the size and the spatial distribution of the insect-pest population is fundamental for making control decision. The Geoestatistics is the most appropriate option to estimate the organism population when spatial dependence occurs between the observations. Otherwise, the classic statistics can be used without damage of losing information. In that sense, the objective of this study was to verify whether there is spatial dependence between the leaf-cutting ant nests in eucalyptus plantations, in a region of Atlantic forest, in Belo Oriente, State of Minas Gerais. The experimental variogram of three-year data between 2002 and 2005 was built. The experimental variograms showed that there is spatial dependence between the leaf-cutting ant nests in eucalyptus plantation in that area. A “wave” model was adjusted indicating that the variance of the area of leaf-cutting ant nests presents oscillating behavior regarding the distance between each other. The range value was 35m, indicating that the spatial distribution of nests turns random starting from that distance.

Key-words: sampling, geostatistics, leaf-cutting ants, eucalyptus.

1 INTRODUÇÃO

Formigueiros têm, normalmente, distribuição ao acaso, em áreas com baixas densidades dos mesmos, sendo mais regular em locais com altas densidades (Waloff & Blackwith, 1962). O padrão de distribuição de ninhos mais frequentemente observado em formigas é o uniforme (Bernstein & Gobbel, 1979). A colonização e a distribuição dos ninhos de formigas cortadeiras variam de acordo com a declividade, a umidade do solo e a cobertura vegetal, o teor de argila e a profundidade da camada do solo (Fowler & Robinson, 1977).

As iças das espécies de *Atta*, imediatamente após a fecundação e durante o vôo nupcial, descem ao solo e se livram de suas asas com auxílio da musculatura do tórax e das pernas medianas. Geralmente, essas iças procuram locais com pouca vegetação para iniciar a construção de seu ninho (Della Lucia & Vilela, 1993). Os ninhos de *A. sexdens rubropilosa* são, muitas vezes, construídos em áreas limpas, porém, não totalmente expostos ao sol (Pereira-da-Silva, 1975), enquanto *Atta laevigata* prefere áreas com maior exposição solar, o que pode ser uma característica do padrão de distribuição espacial dessas espécies (Clark & Evans, 1955). Colônias de *A. laevigata* tendem a se distribuir, uniformemente, em locais com alta densidade e, em áreas com menor densidade de formigueiros, distribuem-se casualmente (Nicholas & Vilela, 1996).

Particularidades biológicas reforçam a afirmação de que as iças caem aleatoriamente em áreas com ambiente manejado e presença de áreas homogêneas e constroem seus ninhos em qualquer ponto da floresta (Caldeira, 2002). A distribuição espacial de ninhos de formigas cortadeiras foi ao acaso em eucaliptais no cerrado de Bocaiúva (Zanetti et al., 2003). A distribuição aleatória de ninhos de formigas também foi documentada por Bernstein & Gobbel (1979), Herbers (1985), Weseloh (1989), Soares (1999), Zanetti et al. (2003) e Caldeira et al. (2005). Porém, nenhum desses autores utilizou a Geoestatística, para determinar essa distribuição baseada na criação de um plano de amostragem georeferenciado mais preciso. Por isso, no presente trabalho, o objetivo foi estudar a distribuição espacial de ninhos de formigas

cortadeiras dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex* em eucaliptais, em região de Mata Atlântica, Minas gerais. A hipótese testada foi que não existe dependência espacial na distribuição espacial de ninhos de formigas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização do experimento (pré-amostragem)

Este trabalho foi realizado na região do Vale do Rio Doce, em eucaliptais da empresa Celulose Nipo-Brasileira SA. Cinco talhões de eucalipto foram selecionados com área total de 200 ha. Os talhões eram representativos da região e possuíam características semelhantes de topografia, tipo de solo, espécie cultivada, idade de plantio, etc. Cada talhão foi dividido em parcelas de uma entrelinha de plantio por uma entre plantas. Em cada parcela, os formigueiros foram identificados por espécie, mapeados e medidos de acordo com sua área total de terra solta, obtendo-se, assim, o censo da população nesses talhões. O censo de ninhos formigas cortadeiras foi realizado em três anos, 2002, 2004 e 2005 e os dados foram digitados em planilha eletrônica. As espécies amostradas foram *Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908 (Hymenoptera: Formicidae) e *A. laevigata* (F. Smith, 1858) (Hymenoptera: Formicidae) (principais espécies de saúvas que atacam os eucaliptais na região) e de formigas do gênero *Acromyrmex* (Hymenoptera: Formicidae).

Cada formigueiro foi georeferenciado, ou seja, recebeu uma coordenada (x, y) de sua posição espacial, sendo feita uma análise Geoestatística para a variável área do formigueiro nos anos de 2002, 2004 e 2005. A variável observada foi a área de terra solta do ninho de formigas cortadeiras.

2.2 Análise dos dados

Inicialmente, foi feita a análise por meio do semivariograma, que mostra o comportamento das semivariâncias (γ) em função da distância (h), definindo, assim, o modelo da variabilidade espacial. O modelo wave foi utilizado para os dois anos e é definido por (Oliveira, 2003) como:

$$\gamma(h) = \tau^2 + \frac{\phi}{h} \operatorname{sen}\left(\frac{h}{\phi}\right)$$

em que $\gamma(h)$ é a semivariância para a distância h ; τ^2 é o efeito pepita; ϕ é o alcance da dependência espacial; σ^2 é a contribuição (da dependência espacial) e $\tau^2 + \sigma^2$ o patamar.

As estimativas das semivariâncias foram calculadas a partir da equação (Journal & Huijbregts, 1978):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

em que $N(h)$ é o número de pares possíveis para a distância h ; $\hat{\gamma}(h)$ é o estimador da semivariância para uma distância h ; h é a distância de separação das observações e $Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$ são as observações da variável aleatória sob estudo na posição x_i e x_i+h , respectivamente.

Foi ajustado e selecionado, por meio do método dos quadrados mínimos ordinários (OLS), o melhor modelo de semivariograma aos dados e as correspondentes estimativas do patamar e alcance. Ressalta-se que, no modelo wave, o alcance prático é obtido pela multiplicação do alcance teórico por 4,5, para indicar a dependência espacial do fenômeno em estudo (Chilès & Delfiner, 1999).

Os resultados foram obtidos utilizando-se o pacote geoR (Ribeiro Júnior & Diggle, 2001), do software estatístico R versão 2.6.0 (2007).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição dos formigueiros nos anos de 2002, 2004 e 2005 em função das linhas de plantio e árvores dispostas nas linhas (Figuras 2, 3 e 4, respectivamente), mostra a presença de grandes formigueiros. Como a área recebe controle periódico de formigueiros, era esperado que houvesse apenas formigueiros pequenos. Isso indica problemas no controle dessa praga no local.

As áreas amostradas em 2002 e 2005 apresentaram grande número de formigueiros pequenos, mas alguns com grande área, tendo o maior, em 2002, 90 m² e, em 2005, 36 m². Na área amostrada em 2004, o número de formigueiros encontrados foi bem maior, mas com grande tamanho, e o maior com 81 m².

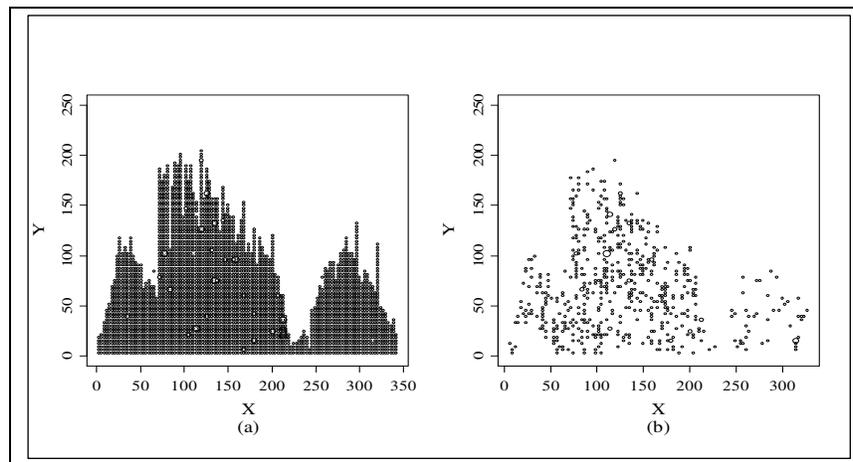


Figura 1. Distribuição de ninhos de formigas cortadeiras em relação às linhas de plantio (X) e às árvores dispostas nas linhas (Y), em 2002. Belo Oriente, Minas Gerais. Contornos da área amostrada (a) e formigueiros distribuídos na área (b).

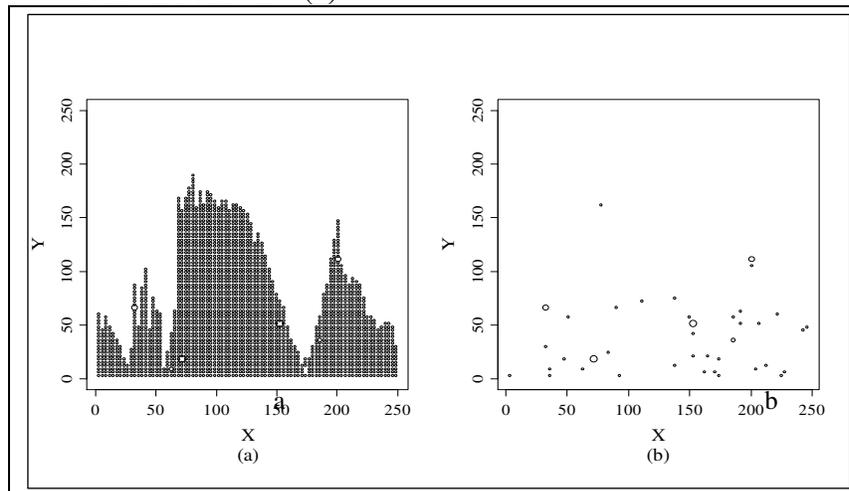


Figura 2. Distribuição de ninhos de formigas cortadeiras em relação às linhas de plantio (X) e às árvores dispostas nas linhas (Y) em 2004. Belo Oriente, Minas Gerais. Contornos da área amostrada (a) e formigueiros distribuídos na área (b).

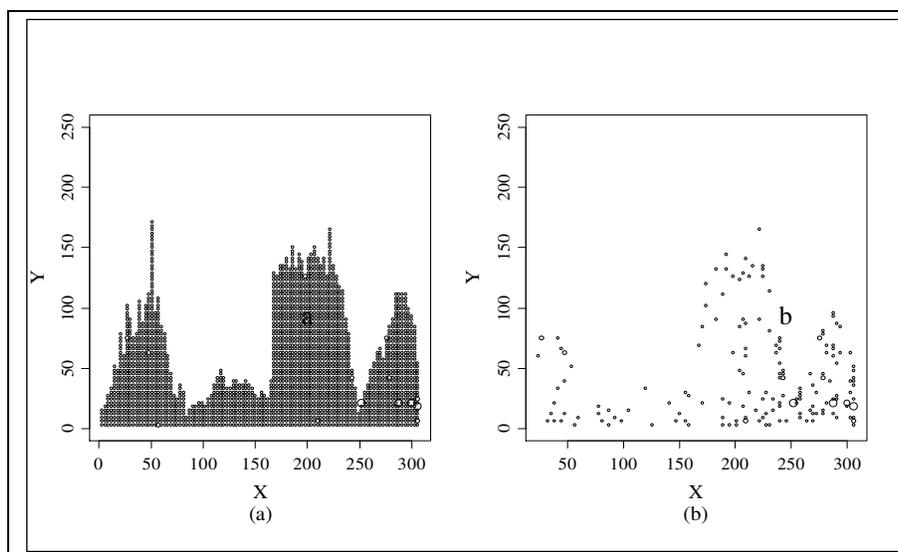


Figura 3. Distribuição de ninhos de formigas cortadeiras em relação às linhas de plantio (X) e às árvores dispostas nas linhas (Y) em 2005. Belo Oriente, Minas Gerais. Contornos da área amostrada (a) e formigueiros distribuídos na área (b).

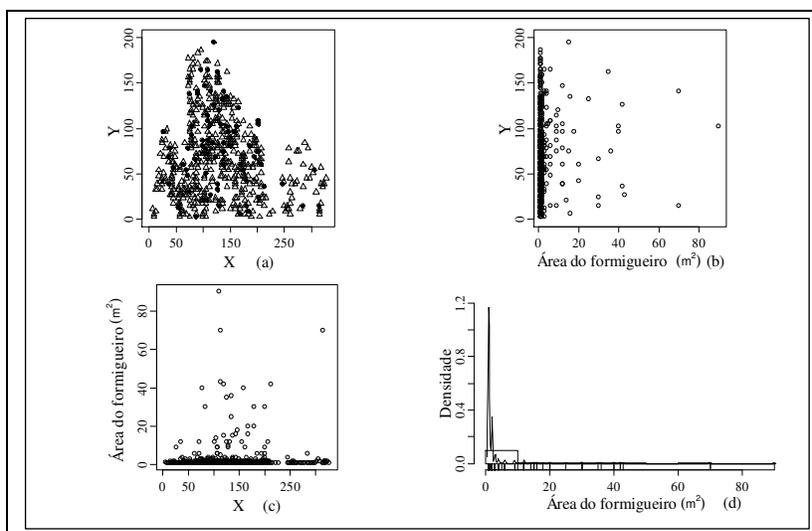


Figura 4. Localização dos formigueiros em relação às coordenadas X e Y (a); a área de formigueiro versus a coordenada Y (b); a coordenada X versus a área de formigueiro (c) e o histograma das áreas dos formigueiros (d), para o ano de 2002. Belo Oriente, Minas Gerais.

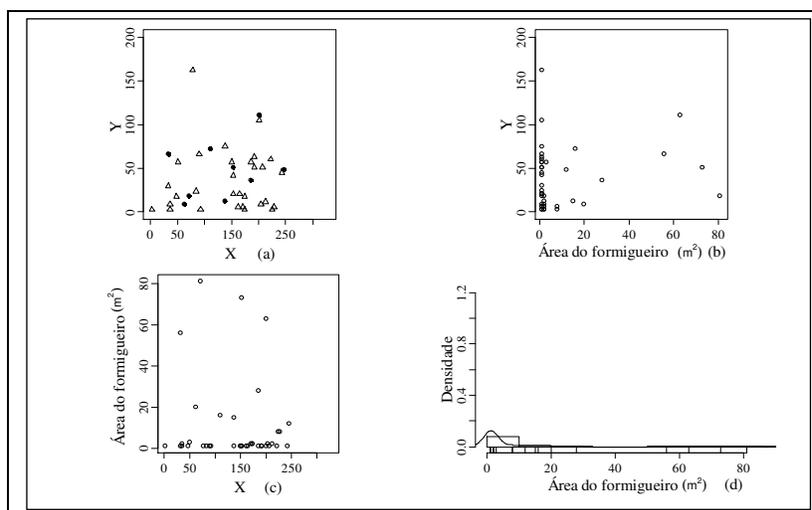


Figura 5. Localização dos formigueiros em relação às coordenadas X e Y (a); a área de formigueiro versus a coordenada Y (b); a coordenada X versus a área de formigueiro (c) e o histograma das áreas dos formigueiros (d), para o ano de 2004. Belo Oriente, Minas Gerais.

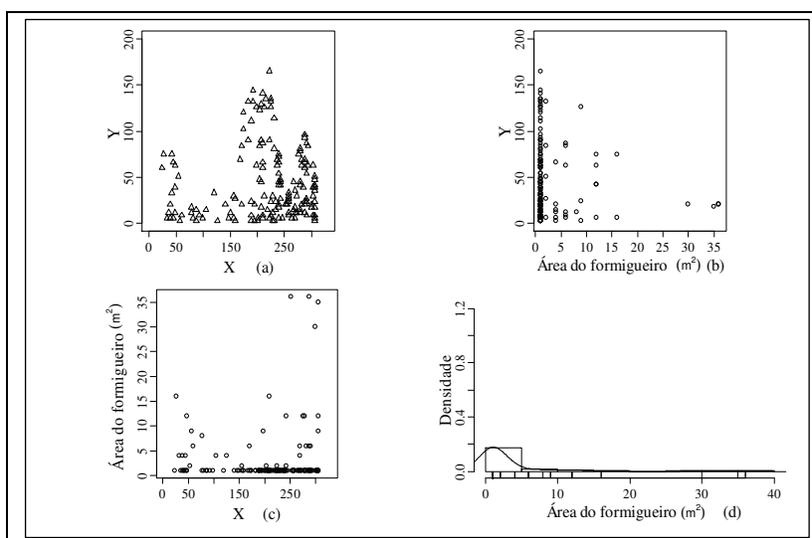


Figura 6. Localização dos formigueiros em relação às coordenadas X e Y (a); a área de formigueiro versus a coordenada Y (b); a coordenada X versus a área de formigueiro (c) e o histograma das áreas dos formigueiros (d), para o ano de 2005. Belo Oriente, Minas Gerais.

O modelo de semivariograma que se ajustou aos dados de 2002 e 2004 foi o modelo wave, em que a semivariância não é constante ou crescente (Figuras 7 e 8, respectivamente). Neste modelo, a semivariância oscilou e apresentou mais de um patamar.

As estimativas dos parâmetros do modelo wave para o ano de 2002 e 2004 estão apresentadas na Tabela 1. O efeito pepita, para o ano de 2002 e 2004, respectivamente, são 52,72 e 372,06. Isso mostra que há uma descontinuidade maior no ano de 2004, visto que seu efeito pepita é maior.

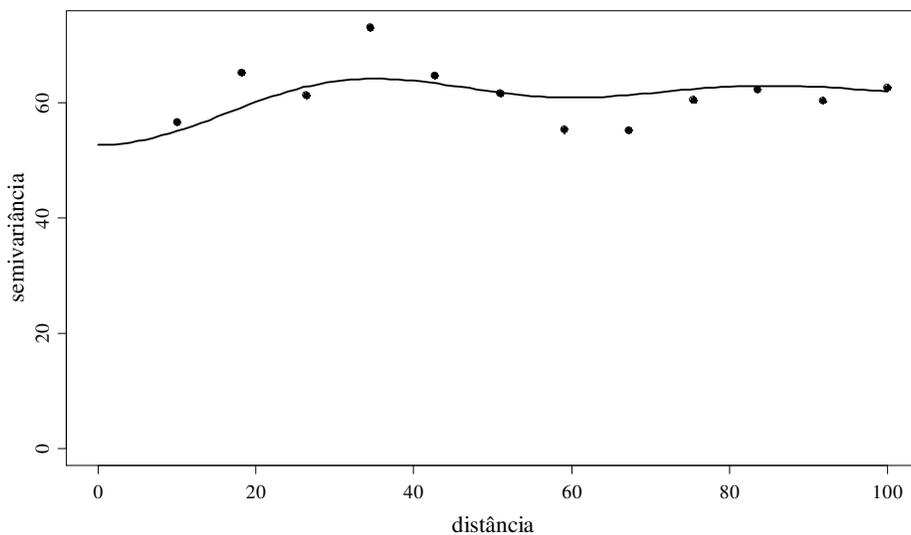


Figura 7. Semivariograma experimental de área de ninhos de formigas cortadeiras em 2002. Belo Oriente, Minas Gerais.

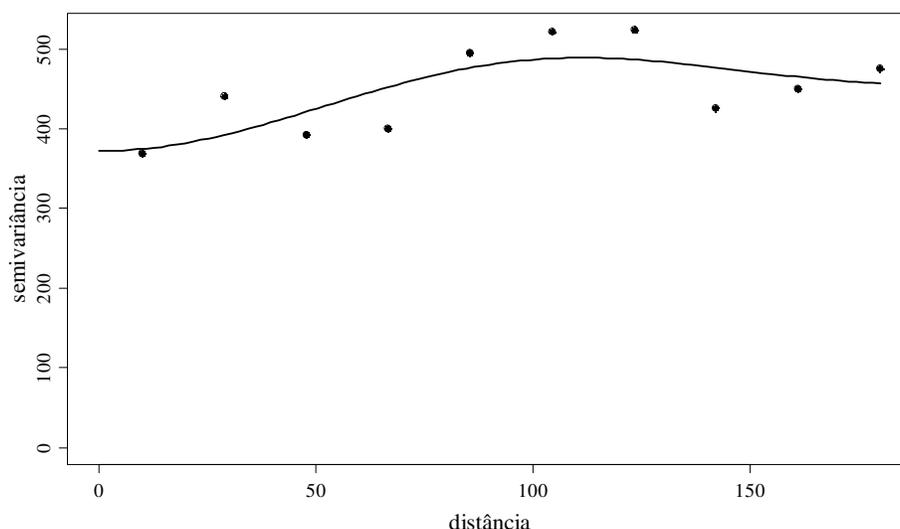


Figura 8. Semivariograma experimental da área de ninhos de formigas cortadeiras em 2004. Belo Oriente Minas Gerais.

O alcance teórico para nos anos de 2002 e 2004 foram 7,79 e 96,01 (Tabela 1). Conforme descrito por Chilès & Delfiner (1999), o alcance prático é obtido multiplicando-se o alcance teórico por 4,5. Portanto, para o ano de 2002, o alcance prático é de 35,055m e, para 2004, é de 432,045m.

Tabela 1. Resultados das estimativas dos parâmetros do modelo wave, para o ano de 2002 e 2004.

Parâmetros	Estimativas	
	2002	2004
Efeito pepita (τ^2)	52,72	372,06
Alcance (ϕ)	7,79	96,01
Contribuição (σ^2)	9,42	24,80

Essa dependência espacial encontrada não concorda com a distribuição aleatória encontrada por Caldeira et al. (2005), em eucaliptais numa região de Cerrado e por Reis & Zanetti (2005) em uma região de Mata Atlântica. Porém, estes utilizaram a Estatística Clássica e não a Geoestatística, como foi feito nesse trabalho.

Deve-se atentar para o fato que a Geoestatística é mais precisa quando há dependência espacial entre as observações e por isso é a mais indicada nos estudos para determinação da distribuição espacial de pragas.

Para o ano de 2005, não foi encontrado nenhum modelo que se ajustasse aos dados. As semivariâncias para este ano em função das distâncias estão representadas na Figura 9. Nos dados referentes ao ano de 2005, a semivariância, em função da distância, começa em um valor alto e decresce até um dado valor. Logo após, volta a subir indefinidamente. Este padrão não é um padrão comum aos modelos de semivariograma e não possui explicação teórica conhecida.

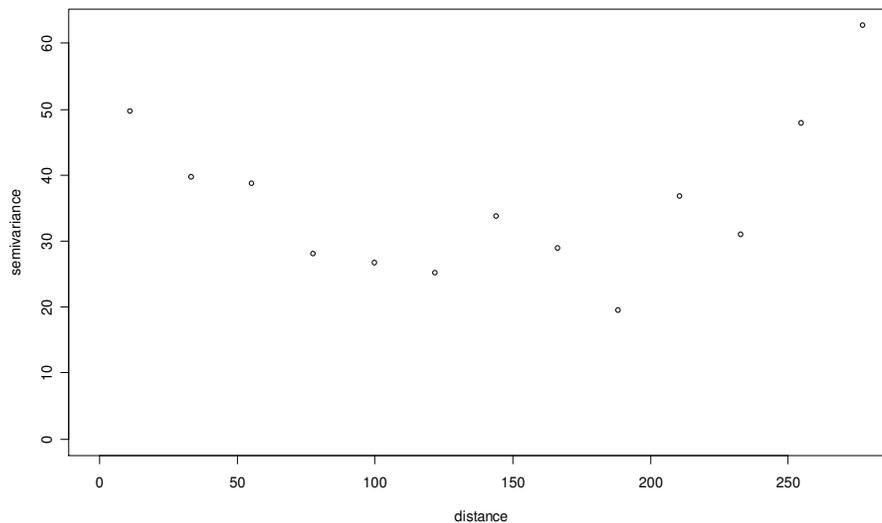


Figura 9. Semivariograma experimental da área de ninhos de formigas cortadeiras em 2005. Belo Oriente, Minas Gerais.

4 CONCLUSÕES

Existe dependência espacial entre os ninhos de formigas cortadeiras em eucaliptais em região de Mata Atlântica.

A distribuição espacial de ninhos de formigas cortadeiras em eucaliptais da região de Mata Atlântica é aleatória, a partir da distância de 35 m.

O modelo wave se ajustou aos dados de área de ninhos de formigas cortadeiras em eucaliptais na região de Mata Atlântica, ou seja, a variância das áreas dos ninhos de formigueiros apresenta um comportamento oscilante em relação à distância entre eles.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNSTEIN, R. A.; GOBBEL, M. Partitioning of space in communities of ants. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v. 48, n. 3, p. 931-942, 1979.
- CALDEIRA, M. A. **Planos de amostragem de saueiros em eucaliptais**. 2002. 39 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- CALDEIRA, M. A.; ZANETTI, R.; MORAES, J. C.; ZANUNCIO, J. C. Distribuição espacial de saueiros (Hymenoptera: Formicidae) em eucaliptais. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 34-39, jan./mar. 2005.
- CHILÈS, J. P. ; DELFINER, P. **Geostatistics: modelling spatial uncertainty**. New York: J. Wiley, 1999. (Wiley Series in Probability and Statistics).
- CLARK, P. J.; EVANS, F. C. On some aspects of spatial pattern in biological populations. **Science**, Washington, v. 121, n. 3142, p. 397-398, Mar. 1955.
- DELLA LUCIA, T. M. C.; VILELA, E. V. Métodos atuais de controle e perspectivas. In: DELLA LÚCIA, T. M. C. **As formigas cortadeiras**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1993. p. 163-190.
- FOWLER, H. G.; ROBINSON, S. W. Foraging and grass selection by the grass-cutting ant *Acromyrmex laudolti fracticornis* (Forel) (Hymenoptera, Formicidae) in habits of introduced forage grasses in Paraguay. **Bulletim of Entomology Research**, Wallingford, v. 67, n. 4, p. 659-666, 1977.
- HERBERS, J. M. Seasonal structuring of a north temperature ant community. **Insects Sociaux**, Basel, v. 32, n. 3, p. 224-240, 1985.
- JOURNEL, A. G.; Huijbregts, C. H. **Mining geostatistics**. New York: Academic, 1978.
- NICHOLAS, J. T.; VILELA, E. F. Territorial mechanisms in post-nupcial flight gynes of leaf-cutting ant *Atta laevigata* (F. Smith). **Anais da Sociedade Brasileira Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 24, n. 2, p. 389-400, Aug. 1995.

PEREIRA-DA-SILVA, V. Contribuição do estudo das populações de *Atta sexdens rubropilosa* Forel e *Atta laevigata* (F. Smith) (Hymenoptera: Formicidae) no Estado de São Paulo. **Studia Entomológica**, Tervuren, v. 18, n. 1-4, p. 201-250, 1975.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2007. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>.

REIS, M. A.; ZANETTI, R. Distribuição espacial e tamanho ótimo de parcelas para amostragem de formigueiros em eucaliptais da Cenibra. In: SIMPÓSIO DE MIRMECOLOGIA, 17., 2005, Campo Grande. **Resumos...** Campo Grande: UNIDERP, 2005. v. 1, p. 271-273.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. GeoR: a package for geostatistical analysis. **R-NEWS**, Pelotas, v. 1, n. 2, p. 15-18, 2001.

SOARES, S. M. **Distribuição espacial e riqueza de espécies de formigas**. 1999. 52 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

WALOFF, N.; BLACKWITH, R. E. The growth and distribution of mounds of *Lasius flavus* (Fabricius) (Hymenoptera: Formicidae) in Silkwood Park, Berkshire. **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v. 31, n. 3, p. 421-437, 1962.

WESELOH, R. M. Evaluations of insect spatial distributions by spectral analysis with particular reference to the gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) and *Calosoma sycophanta* (Coleoptera: Carabidae). **Environmental Entomology**, Lanham, v. 18, n. 2, p. 201-207, Apr. 1989.

ZANETTI, R.; CALDEIRA, M. A.; MORAES, J. C. Distribuição espacial de saueiros (Hymenoptera: Formicidae) em eucaliptais. In: SIMPÓSIO DE MIRMECOLOGIA, 16., 2003, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: CCB/UFSC, 2003. p. 353-355.

CAPÍTULO 2

AMOSTRAGEM SEQÜENCIAL DE NINHOS DE FORMIGAS CORTADEIRAS EM EUCALIPTAIS EM REGIÃO DE MATA ATLÂNTICA

(Preparado de acordo com as normas da revista Neotropical Entomology)

Resumo - Programas de manejo integrado de formigas cortadeiras requerem sistemas precisos e de baixo custo de monitoramento populacional. Para isso, têm-se utilizado métodos de amostragem convencionais com tamanho fixo de amostras e transecto em faixas. Mas, a amostragem seqüencial pode ser empregada, com igual precisão e menor custo. Na amostragem convencional, o tamanho da amostra fixo independe do nível de infestação da praga e exige, geralmente, mais tempo para a tomada de decisão. A amostragem seqüencial requer número variável de unidades amostrais, em função do nível de infestação. O objetivo da realização deste trabalho foi ajustar um plano de amostragem seqüencial para ninhos de formigas cortadeiras em eucaliptais, em região de Mata Atlântica em Minas Gerais. Foram estimadas linhas de decisão de um plano de amostragem seqüencial baseado na metodologia de Iwao. Curvas característica de operação (CO) e do número médio de amostras (NMA) foram geradas por simulação de dados. Concluiu-se que o tamanho ótimo de parcelas é de 20m², que devem ser lançadas ao acaso a uma distância mínima de 35m. A tomada de decisão de controle deve ser feita a partir da 10^a amostra. Quanto mais próximo do nível de controle, maior é o tamanho da amostra necessário para a tomada de decisão de controle.

Palavras-chaves: monitoramento, amostragem seqüencial, *Atta* spp., eucalipto.

SEQUENTIAL SAMPLING PLAN OF LEAF-CUTTING ANT NESTS IN EUCALYPTUS PLANTATION IN ATLANTIC FOREST REGIONS

Abstract - The Integrated Pest Management of leaf-cutting ants requests precise and cheap systems of population sampling. For that, conventional sampling methods have been used with fixed sample size. However the sequential sampling can be used as well, with equal precision and lower cost. In the conventional sampling, the sample size is fixed independently of the level of infestation of the pest and it demands, usually, more time for making control decision. The sequential sampling requests variable number of sample units, in function of the infestation level. The objective of this study was to adjust a sequential sampling plan for leaf-cutting ant nests in eucalyptus plantation, in a region of Atlantic forest, in State of Minas Gerais. The lines of decision of a sequential sampling plan were estimated based on Iwao's methodology. The curves Operating Characteristic (OC) and Average Sample Number (ASN) were generated by data simulation. It was ended that the optimum plot size was 20m², and the plots should be thrown at random at a minimum distance of 35m. The making control decision should be done starting from to 10th sample. When the population density is next to the control level, the sample size necessary to making control decision is higher.

Key words: monitoring, sequential sampling, *Atta* spp., eucalyptus.

1 INTRODUÇÃO

O monitoramento, que inclui a avaliação da população de pragas e a tomada de decisão de controle, é uma importante etapa da aplicação de programa de manejo integrado de pragas. A avaliação do nível populacional pode ser feita com diferentes métodos, divididos em convencionais, com tamanho fixo de amostra, e seqüencial, em que, a cada unidade amostral avaliada, existe a possibilidade de se tomar uma decisão. A tomada de decisão é rápida em níveis populacionais muito acima ou abaixo do nível de controle, usando a amostragem seqüencial. No entanto, quando o nível da população de pragas está próximo ao nível de controle, é necessário um tamanho maior de amostra maior para se reduzir a possibilidade de uma tomada errada de decisão. Isso permite se reduzir o tempo de amostragem em torno de 50% e diminuir seu custo (Estefanel, 1977).

A amostragem de formigas cortadeiras em florestas cultivadas é realizada, principalmente, com parcelas aleatórias (Oliveira et al., 1993; Caldeira, 2002) e transectos (Lopes, 2000; Sossai, 2001; Caldeira, 2002; Zanuncio et al., 2002).

O método de parcelas aleatórias é mais comum para quantificar as populações dos insetos e consiste na marcação de parcelas de tamanho fixo ao acaso na área e na contagem do número de insetos presentes, para estimar a densidade da praga.

A técnica de parcelas aleatórias, desenvolvida pela empresa V&M Florestal, em Paraopeba, Minas Gerais, utilizava uma parcela de 720m² (80x9m), a cada cinco hectares de plantio de eucalipto, para medir a quantidade de árvores desfolhadas, o grau de desfolhamento e o número de formigueiros por classe de tamanho: I (< 1m²); II (1 a 2,9m²); III (3 a 8,9m²); IV (9 a 25m²) e V (> 25m² de terra solta) (Oliveira et al., 1993).

O tamanho ótimo das parcelas aleatórias foi estimado para a região de cerrado, município de Bocaiúva, Minas Gerais, pelo método da curvatura máxima, obtendo-se tamanho ótimo de 430m² para se amostrar a densidade de saueiros (n/ha) e de 796m² para a área de saueiros (m²/ha). Isso significou intensidade amostral de

2,64% ou 1,32%, que é equivalente ao lançamento de uma parcela de 840m² a cada três ou seis hectares, para um erro esperado de 5% ou 10%, respectivamente (Caldeira, 2002).

O uso de parcelas aleatórias de 720m² a cada cinco hectares teve menor número de hectares amostrados por hora que o lançamento de transectos em faixas a cada 120, 150 e 180 metros no município de Montes Claros, Minas Gerais, em plantações de *Eucalyptus* spp., para determinar os métodos de amostragem e monitorar o número e a área de formigueiros nos eucaliptais (Zanuncio et al., 2004).

A intensidade amostral adequada para representar a área de formigueiros variou de 5,18% a 9,21%, com erro esperado entre 20% e 15%, respectivamente, com parcelas aleatórias para a região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, variando de 420m² a 160m² (Reis & Zanetti, 2005).

O tamanho ótimo de parcelas para amostragem de ninhos de *Acromyrmex* spp. (Hymenoptera: Formicidae) em áreas pré-plantio de pinos, na Argentina, foi de 614m², para amostrar a densidade de formigueiros (n/ha) e com intensidade amostral de 10,5%, resultando no lançamento de 1,5 parcela de 700m² por hectare (Cantarelli et al., 2006).

Os transectos em faixa são parcelas de comprimento variável, igual ao da linha de plantio e largura de duas a três entrelinhas. Esses transectos têm sido lançados a partir da terceira ou da quinta linha de plantio, entre 96 e 180 metros de distância entre cada uma. Os valores exatos devem ser previamente calculados por um plano de amostragem para cada região.

O lançamento de transectos de nove metros de largura a partir da sétima linha de plantio em eucaliptais de Montes Claros, Minas Gerais, representou melhor o censo, com maior porcentual de saueiros amostrados (10,3%), seguido por aqueles das linhas oito e seis com, respectivamente, 9,86% e 9,57% (Sossai, 2001). O lançamento de um transecto de nove metros de largura a cada 120 metros de distância pode ser recomendado para monitorar o número e a área de colônias de formigas cortadeiras nos eucaliptais nessa região (Zanuncio et al., 2004).

As linhas de plantio um, três, cinco, sete ou nove podem ser utilizadas para o lançamento do primeiro transecto, com distância de 96 metros em relação ao segundo, para estimar a área (m^2/ha) e a densidade de saúveiros (n/ha), em região de cerrado no município de Bocaiúva, Minas Gerais, por apresentarem menor erro de estimativa populacional e menor custo com amostragem (Caldeira, 2002). A quinta linha foi selecionada por ter apresentado maior valor numérico de correlação e ter alinhamento mais regular que as duas primeiras (Zanuncio et al., 2002).

A melhor distância entre os transectos em faixa foi definida como 96m, lançados a partir da terceira linha de plantio, com intensidade amostral de 6,25%, em um plano de amostragem com transectos em faixa para eucaliptais da Celulose Nipo-Brasileira S.A. (Cenibra), município de Belo Oriente, região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais (Reis et al., 2005).

A maioria dos planos de amostragem por transectos em faixa utiliza o estimador de área proporcional para o cálculo da densidade de ninhos de formigas cortadeiras. Esse estimador foi comparado com outros e verificou-se que a estimativa da densidade de ninhos de formigas cortadeiras pelo estimador de área proporcional produziu erro médio de 3,65% em relação ao censo, mas sem diferenças significativas ($p>0,05$), enquanto o estimador de Cottam e Curtis superestimou a população em 448,52%, diferindo do censo. Portanto, o primeiro estimador é mais preciso (Reis et al., 2005).

Todos estes métodos citados possuem tamanho de amostra fixo, independente do nível de infestação da praga.

Outro método que pode ser usado é a amostragem seqüencial, que requer um número variável de unidades amostrais, em função do nível de infestação. A cada unidade amostral examinada existe a possibilidade de se tomar a decisão de controle. Portanto, um menor número de unidades amostrais é avaliado para a tomada de decisão quando a densidade da praga está muito abaixo ou muito acima do nível de controle, reduzindo o tempo de amostragem em torno de 50%, o que faz com que seu custo de aplicação também seja diminuído (Estefanel, 1977). Porém, quando a infestação está próxima ao nível do controle, ou seja, é uma infestação intermediária,

o plano de amostragem seqüencial exige maior número de unidades amostrais para a tomada de decisão.

Existem, basicamente, dois métodos de construção de um plano de amostragem seqüencial. São eles: 1) teste seqüencial da razão de probabilidades (Wald, 1947), que depende do modelo probabilístico que descreve a distribuição da praga e 2) metodologia de Iwao (Iwao, 1975), que independe do modelo probabilístico que descreve a distribuição da praga.

A metodologia de Iwao apóia-se no teorema central do limite que consiste em adaptar um intervalo de confiança em torno da média populacional (nível de controle) e gerar as linhas de decisão. Os valores acima da linha superior indicam necessidade de se fazer o controle da praga. Os valores abaixo da linha inferior indicam não ser necessário entrar com medidas de controle. Valores entre as linhas inferior e superior indicam que se deve continuar amostrando até a tomada de decisão.

O plano de amostragem seqüencial é construído para testar a hipótese $H_0: \mu < m'$ contra a hipótese alternativa de que a infestação é igual ou acima do nível de controle ($H_0: \mu \geq m'$).

O uso dos métodos de amostragem de formigueiros em florestas cultivadas tem contribuído para a redução da área combatida em torno de 30% a 40%, mas, ainda se podem reduzir o tempo e os custos de amostragem, com outros métodos como a amostragem seqüencial. Dessa forma, objetivou-se elaborar um plano de amostragem seqüencial de ninhos de formigas cortadeiras em eucaliptais em região de Mata Atlântica de Minas Gerais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta dos dados

O estudo foi conduzido na região do Vale do Rio Doce, em eucaliptais da Celulose Nipo-Brasileira S.A. Cinco talhões de eucalipto, com área mínima de 200 ha foram selecionados. Esses talhões eram representativos da região e tinham

características semelhantes de topografia, tipo de solo, espécie cultivada, idade de plantio, etc. Cada talhão foi dividido em parcelas de uma entrelinha de plantio por uma entre plantas. Em cada parcela, os formigueiros foram identificados por espécie, mapeados e medidos de acordo com sua área total de terra solta, obtendo-se o censo da população desses talhões. O censo de ninhos formigas cortadeiras foi feito em 2002, 2004 e 2005 e a variável observada foi a área de terra solta dos ninhos. Posteriormente, os dados foram digitados em planilha eletrônica. As espécies amostradas foram *Atta sexdens rubropilosa* Forel, 1908 (Hymenoptera: Formicidae) e *A. laevigata* (F. Smith, 1858) (Hymenoptera: Formicidae) (principais espécies de saúvas que danificam plantas de eucalipto na região), além de espécies do gênero *Acromyrmex* (Hymenoptera: Formicidae).

2.2 Tamanho ótimo de parcelas

O tamanho ótimo de parcela foi determinado com base no Método da Curvatura Máxima Modificado, proposto de Lessman & Atkins (1963):

$$CV(x) = a/x^b$$

em que: $CV(x)$ são coeficientes de variação dos diferentes tamanhos das parcelas; x , diferentes tamanhos de parcelas; a e b são coeficientes estimados por regressão linear ponderada pelos graus de liberdade e aplicada na logaritmização dessa regressão.

O tamanho ótimo de parcela (N) foi definido pelo ponto de máxima curvatura, dado pela expressão (Chaves, 1985):

$$N = \left[a^2 b^2 (2b-1) / (b-2) \right]^{1/(2-2b)}$$

em que: N é o tamanho ótimo de parcela; a e b são coeficientes estimados por regressão linear ponderada pelos graus de liberdade e aplicada na logaritmização dessa regressão.

2.3 Plano de amostragem seqüencial

Para a elaboração do plano de amostragem seqüencial foi considerado um nível de controle igual a $9m^2$ de saúveiros por hectare (Zanetti et al., 2003).

As linhas de decisão do plano baseado na metodologia de Iwao, modificada por Wilson et al. (1983) foram estimadas por:

$$T_n = n.y \pm t \left[y(1 - y/n) \right]^{1/2}$$

em que T_n é o número acumulado de unidades amostrais infestadas; n é o número de unidades amostrais examinadas até um dado momento; $y = n\hat{P}(I)$, em que y representa o número de unidades amostrais infestadas e $\hat{P}(I)$ é a estimativa da proporção de unidades amostrais infestadas em torno do nível de controle.

As curvas característica de operação (CO) e a curva do número médio de amostra (NMA) foram usadas verificar a qualidade do plano de amostragem seqüencial. A curva característica de operação (CO) é a probabilidade de se aceitar a hipótese nula de nenhuma intervenção em qualquer nível de infestação de ninhos de formigas cortadeiras. Isso significa que não há recomendação para a aplicação de inseticida para se prevenir uma infestação acima do nível de controle. A curva do tamanho médio de amostra representa o número necessário de unidades amostrais para a tomada de decisão, ou seja, classificar a infestação da praga como acima ou abaixo do nível de controle (Estefanel, 1977). Estas curvas foram geradas pela simulação de aplicação do plano, sob diferentes níveis de infestação da praga.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas dos parâmetros a e b , que foram usados no cálculo do tamanho ótimo de parcela são representadas na Tabela 1. Com elas foi obtida a equação $N = \{1083,53^2(-0,0764)^2[2.(-0,0764) - 1] / [(-0,0764) - 2]\}^{1/[2-2.(-0,0754)]}$, a qual gerou uma parcela de 19m^2 . Para efeito prático esse valor foi arredondado para 20m^2 . Esse valor foi menor do que 796m^2 (Caldeira, 2002), 720m^2 (Zanuncio et al., 2004), 420 a 160m^2 (Reis e Zanetti, 2005) e 700m^2 (Cantarelli et al., 2006), obtidos em outras regiões.

Tabela 1. Estimativa de a e b da equação de regressão de CV (%), em função do tamanho da parcela (m²).

Parâmetros	Estimativa	p-level	IC (Limite inferior)	IC (Limite Superior)
a	430,85	0,00000	349,7296	511,9699
b	-0,0764	0,00000	-0,1016	-0,0513

O valor de P(I), estimado com o nível de dano de 9m²/ha, foi de 0,018m² em uma parcela de 20m². As linhas de decisão de controle do plano de amostragem seqüencial foram dadas por $T_n = 0,018n^2 \pm 0,2606\sqrt{n}$ (Tabela 2 e Figura 1) Nesse caso, o limite superior, a partir do qual é necessário o controle da praga, foi $LS = 0,018n^2 + 0,2606\sqrt{n}$ e o limite inferior, abaixo do qual não há necessidade de controle foi $LI = 0,018n^2 - 0,2606\sqrt{n}$, sendo que n é o número de unidades amostrais examinadas.

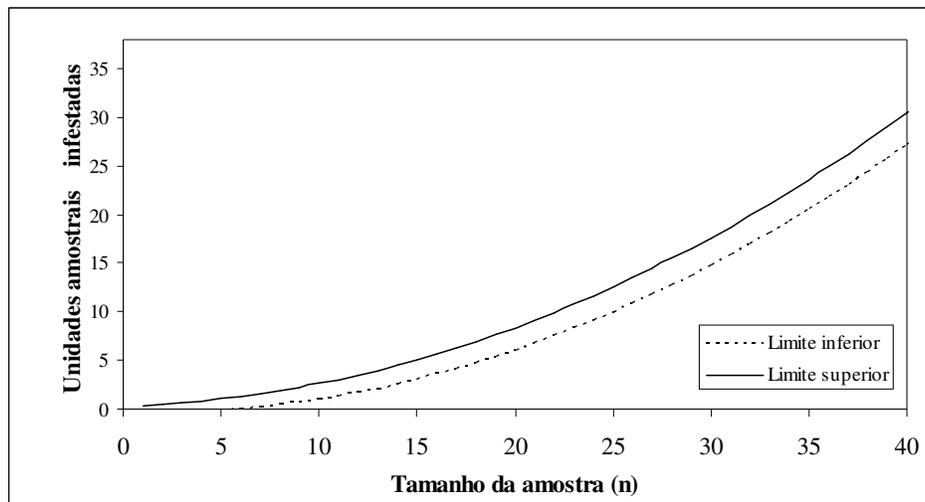


Figura 1. Linhas de decisão do plano de amostragem seqüencial de formigas cortadeiras em eucaliptais em Belo Oriente, Minas Gerais.

Tabela 2. Ficha de amostragem seqüencial de formigas cortadeiras, mostrando as linhas de decisão de controle em função do número amostras de 20m² examinadas (N). Belo Oriente, Minas Gerais.

N	Limite Inferior	Valor Acumulado	Limite Superior
1	-		-
2	-		-
3	-		-
4	-		-
5	-		-
6	-		-
7	-		-
8	-		-
9	-		-
10	1		3
11	1		3
12	2		3
13	2		4
14	3		5
15	3		5
16	4		6
17	4		6
18	5		7
19	5		8
20	6		8
21	7		9
22	7		10
23	8		11
24	9		12
25	10		13
26	11		13
27	12		14
28	13		15
29	14		17
30	15		18
31	16		19
32	17		20

De acordo com o Capítulo 1, há dependência espacial entre ninhos de formigas cortadeiras. Por isso, ao se fazer a amostragem deste inseto deve-se lançar as parcelas a uma distância mínima de 35m entre si, a partir da qual não há dependência entre as observações. Portanto, o procedimento para a aplicação do plano de amostragem seqüencial consiste em lançar ao acaso parcelas de 20m² distanciadas de 35m uma da outra. Em cada unidade amostral avalia-se a presença de ninhos de formigas cortadeiras. Como o valor de P(I) é um muito pequeno (0,018m²), se houver ninhos na parcela, esta é considerada infestada. O número acumulado de unidades amostrais infestadas é obtido e, a partir da décima unidade amostral examinada, compara-se com os limites inferior e superior do plano. Se este valor acumulado for menor que o limite inferior, interrompe-se a amostragem e não se recomenda o controle. Caso o valor acumulado seja maior que o limite superior, interrompe-se a amostragem e não se recomenda o controle. Permanecendo este valor entre os limites, a amostragem continua até a 32^a amostra. Se ao final da última amostra o valor acumulado permanecer entre os limites inferior e superior, deve-se interromper a amostragem e retornar após seis meses.

As curvas característica de operação (CO) e do número médio de amostras (NMA) (Figuras 2 e 3), mostraram que a probabilidade de se tomar uma decisão errada é baixa quando o nível de infestação de formigas cortadeiras for muito acima ou muito abaixo do nível de controle (9 m²/ha). A probabilidade de erro aumenta quando a infestação estiver próxima a este nível. Dessa forma, à medida que se aproxima do nível de controle, o número de unidades amostrais para a tomada de decisão é maior. Por outro lado, quando a infestação estiver muito baixa ou muito alta, o número de unidades amostrais exigido será menor.

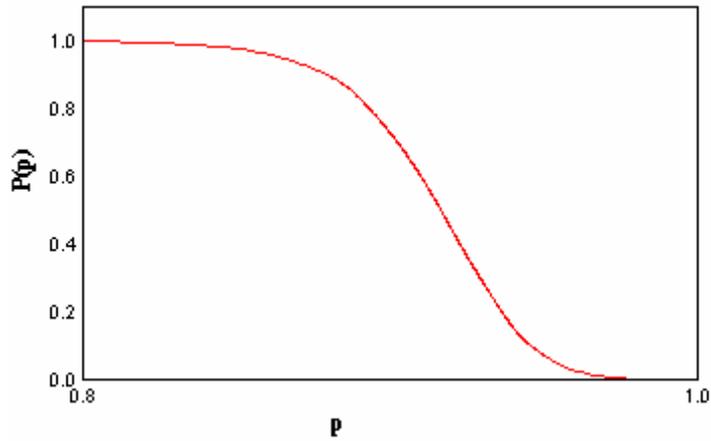


Figura 2. Curva característica de operação (CO) para o plano de amostragem sequencial para formigas cortadeiras. Belo Oriente, Minas Gerais.

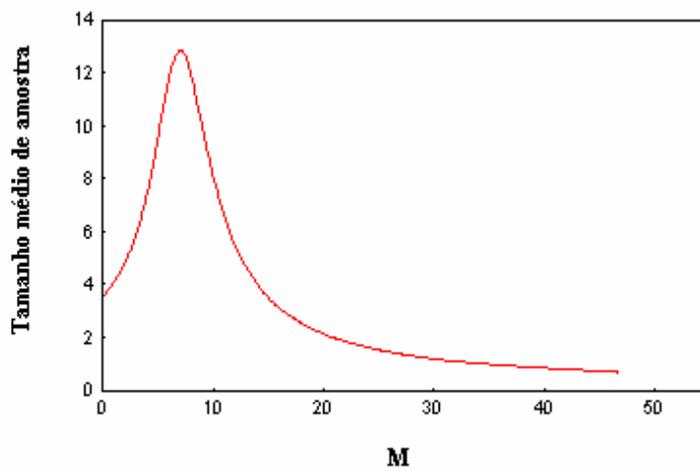


Figura 3. Curva do número médio de amostras para o plano de amostragem sequencial para formigas cortadeiras. Belo Oriente, Minas Gerais.

4 CONCLUSÕES

O tamanho ótimo de parcelas é de 20m^2 , que devem ser lançadas ao acaso a uma distância mínima de 35m.

A tomada de decisão de controle deve ser feita a partir da 10ª amostra.

Quanto mais próximo do nível de controle, maior é o tamanho da amostra necessário para a tomada de decisão de controle.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALDEIRA, M. A. **Planos de amostragem de saueiros em eucaliptais**. 2002, 39p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Entomologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CANTARELLI, E. B.; COSTA, E. C.; ZANETTI, R.; PEZZUTTI, R. Plano de amostragem de *Acromyrmex* spp. (Hymenoptera: Formicidae) em áreas de pré-plantio de *Pinus* spp. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 385-390, mar./abr. 2006.

CHAVES, L. J. **Tamanho da parcela para seleção de progênies de milho (*Zea mays* L.)**. 1985. 148 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

ESTEFANEL, V. **A amostragem seqüencial baseada no teste seqüencial da razão de probabilidades e seu uso no controle de lagartas da soja no estado do Rio Grande do Sul**. 1977. 117 p. Tese (Doutorado em Experimentação e Estatística Agrônômica) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

IWAO, S. A new method of sequential sampling to classify populations relative to a critical density. **Research on Population Ecology**, Kyoto, v. 6, p. 281-288, 1975.

LESSMAN, K. J.; ARTIKINS, R. E. Optimum plot size and relative efficiency of lattice designs for grain sorghum yield tests. **Crop Science**, Madison, v. 3, p. 477-481, Nov./Dec. 1963.

LOPES, E. T. **Distribuição e métodos de amostragem de saueiros em plantações de eucalipto**. 2000. 53 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

OLIVEIRA, A. C.; BARCELOS, J. A. V.; MORAES, E. J.; FREITAS, G. D. Um estudo de caso: o sistema de monitoramento e controle de formigas cortadeiras na Mannesmann & Florestal Ltda. In: DELLA LUCIA, T. M. C. (Ed.). **As formigas cortadeiras**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1993. p. 242-255.

REIS, M. A. ; ZANETTI, R. . Distribuição espacial e tamanho ótimo de parcelas para amostragem de formigueiros em eucaliptais da Cenibra. In: SIMPÓSIO DE MIRMECOLOGIA, 17., 2005, Campo Grande. **Resumos...** Campo Grande: UNIDERP, 2005. v. 1, p. 271-273.

REIS, M. A.; ZANETTI, R.; SCOLFORO, J. R. S.; FERREIRA, M. Z.; RIZENTAL, M. S. Amostragem de formigas cortadeiras (Hymenoptera: Formicidae) pelos métodos de quadrantes e de prodan em eucaliptais da Mata Atlântica. In: Simpósio de Mirmecologia, 17., 2005, Campo Grande. **Resumos...** Campo Grande: UNIDERP, 2005. p. 425-427.

SOSSAI, M. F. **Avaliação de métodos de amostragem de formigas cortadeiras em plantios de *Eucalyptus* spp.** 2001. 56 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

WALD, W. E. **Sequential analysis.** New York: J. Wiley, 1947. 211 p.

WILSON, L. T.; PICKEL, C.; MOUNT, R. C.; ZALON, F. G. Presence-absence sampling for cabbage aphid and green peach aphid (Homoptera: Aphididae) on Brussels sprouts. **Journal of Economic Entomology**, Lanhan, v. 76, n. 3, p. 476-479, 1983.

ZANETTI, R.; ZANUNCIO, J. C. ; VILELA, E. F.; LEITE, H. G.; JAFFÉ, K.; OLIVEIRA, A. C. Level of economic damage for leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) in Eucalyptus plantations in Brazil. **Sociobiology**, Chicago, v. 42, n. 2, p. 433-442, 2003.

ZANUNCIO, J. C.; LOPES, E. T.; ZANETTI, R. Spatial distributions of the leaf-cutting ant *Atta sexdens rubropilosa* (Hymenoptera: Formicidae) in plantations of *Eucalyptus urophylla* in Brazil. **Sociobiology**, Chicago, v. 39, n. 2, p. 231-242, 2002.

ZANUNCIO, J. C.; LOPES, E. T.; LEITE, H. G.; ZANETTI, R.; SEDIYAMA, C. S.; FIALHO, M. C. Q. Sampling methods for monitoring the number area of colonies of leaf cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) in *Eucalyptus* plantations in Brazil. **Sociobiology**, Chicago, v. 44, n. 2, p. 337-344, 2004.

ANEXO

Comandos no software R para o teste do ajuste do modelo wave aos dados de área de terra solta de ninhos de formigas cortadeiras e construção dos gráficos

```
#AJUSTE DO MODELO
library(geoR)

a=read.table("2002s.txt",h=T)
attach(a)
dados=as.geodata(a,coords.col=1:2)

## CONSTRUÇÃO DO SEMIVARIOGRAMA EXPERIMENTAL:2002
par(mfrow = c(1, 2))
d=100 # distancia máxima
bin1 <- variog(dados)
bin2 <- variog(dados, uvec = seq(10, d, l =12))
plot(bin1)
plot(bin2)
eyefit(bin2)

##AJUSTE 2002###
ols <- variofit(bin2, ini=c(26.37,8.33),nug=38.55,wei="equal",cov.model = "wave")
par(mfrow = c(1,1))
plot(bin2, xlab = "", ylab="",cex.lab=1.6,cex.axis=1.3,pch=19,font=6,cex=1.2)
mtext("distância",side=1, line=3,cex=1.6,font=6)
mtext("semivariância",side=2, line=2.5,cex=1.6,font=6)
  lines(ols, lty = 1, max.dist = d,lwd=2)
summary(ols)
env.model=variog.model.env(dados,obj.var=bin2,model.pars=ols)
env.mc=variog.mc.env(dados,obj.var=bin2)
par(mfrow=c(1,2))
plot(bin2,envelope=env.mc,pch=19,cex.axis=1.3,xlab="",ylab="")
mtext("distância",side=1, line=3,cex=1.6,font=6)
mtext("semivariância",side=2, line=2.5,cex=1.6,font=6)
plot(bin2, envelope=env.model,pch=19,cex.axis=1.3,xlab="",ylab="")
mtext("distância",side=1, line=3,cex=1.6,font=6)
mtext("semivariância",side=2, line=2.5,cex=1.6,font=6)
  lines(ols, lty = 1, max.dist = d,col=1,lwd=2)

#GRÁFICOS
a=read.table("20020.txt",h=T)
attach(a)
dados=as.geodata(a,coords.col=1:2)
b=read.table("2002s.txt",h=T)
```

```

attach(b)
dados2=as.geodata(b,coords.col=1:2)
par(mfrow = c(1, 2))
fp=function (x, coords = x$coords, data = x$data, data.col = 1,
  borders = x$borders, pt.divide = c("data.proportional", "rank.proportional",
  "quintiles", "quartiles", "deciles", "equal"), lambda = 1,
  trend = "cte", abs.residuals = FALSE, weights.divide = "units.m",
  cex.min, cex.max, cex.var, pch.seq, col.seq, add.to.plot = FALSE,
  x.leg, y.leg, dig.leg = 2, round.quantiles = FALSE, graph.pars = FALSE,
  permute = FALSE, ...)
{
  if (missing(x))
    x <- list()
  x$coords <- coords
  x$data <- data
  if (!is.null(list(...)$pt.s))
    pt.divide <- list(...)$pt.s
  if (mode(pt.divide) != "numeric")
    pt.divide <- match.arg(pt.divide)
  if (!is.vector(data))
    data <- (as.data.frame(data))[, data.col]
  npts <- nrow(coords)
  if (nrow(coords) != length(data))
    stop("coords and data have incompatible sizes")
  if (!is.null(weights.divide)) {
    if (all(weights.divide == "units.m")) {
      if (!is.null(x$units.m) && identical(data, x$data)) {
        if (!all(x$units.m > 0))
          stop("all values in units.m must be greater than zero")
        data <- data/x$units.m
      }
    }
    else {
      if ((length(weights.divide) != 1) && (length(weights.divide) !=
        length(data)))
        stop("length of weights.divide must be equal to the length of data")
      data <- data/weights.divide
    }
  }
  if (missing(cex.min))
    cex.min <- 0.5
  if (missing(cex.max))
    cex.max <- 1.5
  if (lambda != 1)
    data <- BCtransform(x = data, lambda = lambda)$data
  xmat <- unclass(trend.spatial(trend = trend, geodata = x))
  if (nrow(xmat) != nrow(coords))
    stop("coords and trend have incompatible dimensions")
  if (trend != "cte") {

```

```

data <- lm(data ~ xmat + 0)$residuals
if (abs.residuals)
  abs.res <- abs(data)
names(data) <- NULL
}
if (permute)
  data <- sample(data)
if (missing(cex.var)) {
  if (trend != "cte" && abs.residuals)
    cex.var.data <- abs.res
  else cex.var.data <- data
}
else {
  cex.var.data <- cex.var
  if (length(cex.var) != npts)
    stop("length of cex.var must be the same as the number of data locations")
}
ind <- order(cex.var.data)
ind.order <- order(ind)
r.y <- range(cex.var.data)
size <- cex.min + ((cex.var.data[ind] - r.y[1]) * (cex.max -
  cex.min))/(r.y[2] - r.y[1])
if (missing(borders))
  borders <- x$borders
attach(x, pos = 2, warn.conflicts = FALSE)
eval(borders, envir = as.environment(2))
detach(2)
if (!add.to.plot) {
  if (is.null(borders))
    coords.lims <- set.coords.lims(coords = coords)
  else {
    if (ncol(borders) != 2)
      stop("argument borders must be an object with 2 columns with the XY coordinates
of the borders of the area")
    coords.lims <- set.coords.lims(coords = rbind(as.matrix(coords),
      as.matrix(borders)))
  }
  par(pty = "s")
  toplot <- apply(coords, 2, range)
  colnames(toplot) <- c("X", "Y")
par(font.lab=6)
par(font.axis=6)
plot(toplot, type = "n", xlim = coords.lims[, 1], ylim = c(0,250), cex.lab=1.5,cex.axis=1.3,...)
mtext("b)", side=1,line=4.5,cex=1.6,font=6)
}
if (!is.null(borders))
  polygon(borders)
graph.list <- list()
if (mode(pt.divide) == "numeric" || any(pt.divide %in% c("quintiles",

```

```

"quartiles", "deciles")) {
if (all(pt.divide == "quintiles")) {
  n.quant <- 5
  if (missing(col.seq))
    col.seq <- c("blue", "green", "yellow", "orange3",
                "red2")
}
if (all(pt.divide == "quartiles")) {
  n.quant <- 4
  if (missing(col.seq))
    col.seq <- c("blue", "green", "yellow", "red")
}
if (all(pt.divide == "deciles")) {
  n.quant <- 10
  if (missing(col.seq))
    col.seq <- terrain.colors(46)[seq(1, 46, by = 5)]
}
if (mode(pt.divide) == "numeric" && length(pt.divide) ==
    1) {
  n.quant <- pt.divide
  if (missing(col.seq))
    col.seq <- "gray"
}
if (mode(pt.divide) == "numeric" && length(pt.divide) >
    1) {
  if (length(pt.divide <= length(data))) {
    data.quantile <- pt.divide
    n.quant <- length(pt.divide) - 1
  }
  else stop("length of pt.divide cannot be greater than length of the data")
}
else data.quantile <- quantile(data, probs = seq(0, 1,
  by = (1/n.quant)))
if (!missing(col.seq) && all(col.seq == "gray"))
  col.seq <- gray(seq(1, 0, 1 = n.quant))
if (missing(pch.seq))
  pch.seq <- rep(21, n.quant)
if (round.quantiles) {
  data.quantile[1] <- floor(data.quantile[1])
  data.quantile[n.quant + 1] <- ceiling(data.quantile[n.quant +
  1])
  data.quantile <- round(data.quantile)
}
graph.list$quantiles <- data.quantile
graph.list$data.group <- cut(data, breaks = data.quantile,
  include.l = TRUE)
if (missing(cex.var))
  size <- seq(cex.min, cex.max, l = n.quant)[as.numeric(graph.list$data.group)]
else size <- size[ind.order]

```

```

graph.list$cex <- size
graph.list$pch <- pch.seq
graph.list$col <- col.seq[as.numeric(graph.list$data.group)]
if (add.to.plot)
  points(coords, pch = pch.seq, cex = size, bg = graph.list$col,
        ...)
else points(coords, pch = pch.seq, cex = size, bg = graph.list$col)
if (!missing(x.leg) && !missing(y.leg)) {
  textleg <- character()
  for (i in 1:(length(graph.list$quantiles) - 1)) textleg <- c(textleg,
    substitute({
      a <= y
    } < b, list(a = round(unnname(graph.list$quantiles)[i],
      dig = dig.leg), b = round(unnname(graph.list$quantiles[i +
      1]), dig = dig.leg))))
  legend(x = x.leg, y = y.leg, textleg, pt.bg = graph.list$col,
    col = graph.list$col, pch = graph.list$pch)
}
}
else {
  n <- length(data)
  if (missing(pch.seq))
    pch.seq <- 21
  ind.d <- order(data)
  ind.d.order <- order(ind.d)
  if (pt.divide == "rank.proportional") {
    if (missing(cex.var))
      size <- seq(cex.min, cex.max, l = n)
  }
  if (pt.divide == "data.proportional") {
    if (missing(cex.var)) {
      r.y <- range(data)
      size <- cex.min + ((sort(data) - r.y[1]) * (cex.max -
        cex.min))/(r.y[2] - r.y[1])
    }
  }
  if (pt.divide == "equal")
    size <- cex.max
  else size <- size[ind.order]
  if (missing(col.seq))
    col.seq <- 0
  if (all(col.seq == "gray"))
    col.seq <- gray(seq(1, 0.1, l = n))
  if (length(col.seq) == 1)
    col.seq <- rep(col.seq, n)
  if (length(col.seq) != n)
    col.seq <- col.seq[round(seq(1, length(col.seq),
      length = n))]
  col.seq <- col.seq[ind.d.order]
}

```

```

graph.list$cex <- size
if (mode(pch.seq) == "numeric")
  graph.list$pch <- unique(range(pch.seq))
else graph.list$pch <- pch.seq
graph.list$col <- col.seq
if (add.to.plot)
  points(coords, cex = size, pch = pch.seq, bg = col.seq,
  ...)
else points(coords, cex = size, pch = pch.seq, bg = col.seq)
if (!missing(x.leg) && !missing(y.leg))
  warning(paste("arguments x.leg and y.leg are ignored when pt.divide = ",
  pt.divide, "\n"))
}
if (graph.pars == TRUE)
  return(graph.list)
else return(invisible())
}
x=dados
attach(x)
fp(x)
x=dados2
attach(x)
fp(x)

```

#GRÁFICOS 2

```

a=read.table("2002s.txt",h=T)
attach(a)
dados=as.geodata(a,coords.col=1:2)
pfi=function (dados, coords = x$coords, data = x$data, borders = x$borders,
  trend = "cte", lambda = 1, col.data = 1, weights.divide = "units.m",
  lowess = FALSE, scatter3d = FALSE, density = TRUE, rug = TRUE,
  qt.col, ...)
{
  if (missing(x))
    x <- list()
  x$coords <- coords
  x$data <- data
  if (missing(qt.col))
    qt.col <- c("black", "black", "gray", "gray3")
  if (length(qt.col) == 1)
    qt.col <- rep(qt.col, 4)
  par.ori <- par(no.readonly = TRUE)
  on.exit(par(par.ori))
  coords <- as.matrix(coords)
  data <- as.matrix(data)
  data <- data[, col.data]
  if (missing(borders))
    borders <- x$borders

```

```

attach(x, pos = 2, warn.conflicts = FALSE)
eval(borders, envir = as.environment(2))
detach(2)
if (!is.null(weights.divide)) {
  if (all(weights.divide == "units.m")) {
    if (!is.null(x$units.m) && identical(data, x$data)) {
      if (!all(x$units.m > 0))
        stop("all values in units.m must be greater than zero")
      data <- data/x$units.m
    }
  }
  else {
    if ((length(weights.divide) != 1) && (length(weights.divide) !=
      length(data)))
      stop("length of weights.divide must be equals to the length of data")
    data <- data/weights.divide
  }
}
if (lambda != 1) {
  if (lambda == 0)
    data <- log(data)
  else data <- ((data^lambda) - 1)/lambda
}
xmat <- unclass(trend.spatial(trend = trend, geodata = x))
if (nrow(xmat) != nrow(coords))
  stop("coords and trend have incompatible sizes")
if (trend != "cte") {
  data <- lm(data ~ xmat + 0)$residuals
  names(data) <- NULL
  data.lab <- "residuals"
}
else data.lab <- "data"
par(mfrow = c(2, 2), mar = c(4, 4, 1, 1), mgp = c(2, 0.8,
  0))
if (is.null(borders))
  coords.lims <- set.coords.lims(coords = coords)
else {
  if (ncol(borders) != 2)
    stop("argument \"borders\" must be a 2 columns object with coordinates of the borders
of the study area")
  coords.lims <- set.coords.lims(coords = rbind(as.matrix(coords),
    as.matrix(borders)))
}
par(pty = "s")
par(font.lab=6)
par(font.axis=6)
plot(coords, xlab = "", ylab = "Y ", type = "n", cex.lab=1.6,
  xlim = c(0,330), ylim = c(0,200), cex.axis=1.3)
mtext("(a)", side=1, line=2.5, cex=1.3, font=6, adj=0.65)

```

```

mtext("X", side=1,line=2.5,cex=1.3,font=6,adj=0.45)

if (!is.null(borders))
  polygon(borders)
data.breaks <- unique(quantile(data))
data.cut <- cut(data, breaks = data.breaks, include.l = TRUE,
  labels = FALSE)
points(coords, pch = c(24,19,19,1)[data.cut], col = qt.col[data.cut])
par(font.lab=6)
par(font.axis=6)
plot(data, coords[, 2], ylab = "Y", xlab = "",
  cex.lab = 1.6, ylim = c(0,200),cex.axis=1.3)
mtext(expression((m^2)), side=1,line=2.5,cex=1,adj=0.85,font=6)
mtext("Área do formigueiro", side=1,line=2.4,cex=1.3,adj=0.05,font=6)
mtext("(b)", side=1,line=2.4,cex=1.3,font=6,adj=0.99)

if (lowess) {
  foo <- lowess(data ~ coords[, 2])
  lines(foo[[2]], foo[[1]])
}
par(mar = c(5, 5, 1, 0.5))
par(font.lab=6)
par(font.axis=6)
plot(coords[, 1], data, xlab = "", ylab = "",
  cex.lab = 1.6, xlim =c(0,330),cex.axis=1.3)
mtext(expression((m^2)), side=2,line=3,cex=1,adj=0.92,font=6)
mtext("Área do formigueiro", side=2,line=2.9,cex=1.3,adj=0.15,font=6)
mtext("(c)", side=1,line=2.5,cex=1.3,font=6,adj=0.65)
mtext("X", side=1,line=2.5,cex=1.3,font=6,adj=0.45)

if (lowess)
  lines(lowess(data ~ coords[, 1]))
par(pty = "m")
par(mar = c(5, 5, 2, 2))
if (scatter3d && !require(scatterplot3d)) {
  scatter3d <- FALSE
  cat("plot.geodata: the argument scatter3d=TRUE requires the package scatterplot3d\n
which is not available, will plot an histogram instead")
}
if (scatter3d)
  scatterplot3d::scatterplot3d(x = coords[, 1], y = coords[,
  2], z = data, box = FALSE, type = "h", pch = 16,
  xlab = "X Coord",ylab = "Y Coord", ...)
else {
par(font.lab=6)
par(font.axis=6)
hist(data, main = "", xlab = "",ylab="Densidade", cex.lab=1.6,
cex.axis=1.3,ylim=c(0,1.2),prob = TRUE, ...)

```

```
  mtext(expression((m^2)), side=1,line=2.5,cex=1,adj=0.72,font=6)
  mtext("Área do formigueiro", side=1,line=2.4,cex=1.3,adj=0.4,font=6)
mtext("(d)", side=1,line=2.3,cex=1.3,font=6,adj=0.85)
```

```
  if (density)
    lines(density(data))
  if (rug)
    rug(data)
}
return(invisible())
}
attach(dados)
pfi(dados)
```