



JUARA RODRIGUES CARDOSO SANTOS

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PLANO DE
AMOSTRAGEM DE *Syntermes* spp. (Isoptera
Termitidae) EM ÁREAS DE IMPLANTAÇÃO DE
EUCALIPTO NO BIOMA CERRADO**

LAVRAS - MG

2014

JUARA RODRIGUES CARDOSO SANTOS

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PLANO DE AMOSTRAGEM DE
Syntermes spp. (Isoptera Termitidae) EM ÁREAS DE IMPLANTAÇÃO
DE EUCALIPTO NO BIOMA CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, área de concentração em Entomologia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Ronald Zanetti

LAVRAS – MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Santos, Juara Rodrigues Cardoso.

Distribuição espacial e plano de amostragem de *Syntermes* spp. (Isoptera Termitidae) em áreas de implantação de eucalipto no bioma cerrado / Juara Rodrigues Cardoso Santos. – Lavras : UFLA, 2014.

58 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Ronald Zanetti.

Bibliografia.

1. Cupins. 2. Eucalipto. 3. Amostragem. 4. Distribuição espacial.
I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 634.96736

JUARA RODRIGUES CARDOSO SANTOS

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E PLANO DE AMOSTRAGEM DE
Syntermes spp. (Isoptera Termitidae) EM ÁREAS DE IMPLANTAÇÃO
DE EUCALIPTO NO BIOMA CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, área de concentração em Entomologia Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 24 de fevereiro de 2014.

Dr. Natalino Calegario UFLA

Dr. Alexandre dos Santos IFMT

Dr. Ronald Zanetti
Orientador

LAVRAS – MG

2014

Dedico aos meus pais

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo a Deus, por mais esta vitória.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade concedida na realização do Mestrado em Entomologia Agrícola – Entomologia.

As empresas Cenibra, Stora Enso, Gerdau, Veracel, Suzano, Vallourec e Fibria, financiadoras do projeto “Insetos Sociais Pragas do Eucalipto”.

Ao meu orientador Dr. Ronald Zanetti, pelo aprendizado, confiança, paciência e incentivo.

Ao meu coorientador Alexandre dos Santos pela infinita paciência, amizade, aprendizado, incentivo, principalmente nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, João e Edicássia pelo suporte, amor infinito, incentivo, compreensão e por serem sempre meus heróis e às minhas irmãs Fabíola, Joema e Jaína pelo carinho e apoio.

A minha família: Vó (*in memoriam*), Tia Fátima (*in memoriam*), meus tios Celso, Miron, Marly, meus primos Celsinho, Carla, Camila, Haidêe, Polly, Renato, meus padrinhos e meu sobrinho Felipe, pelo carinho.

Ao meu namorado Alex, por estar sempre ao meu lado, pelo companheirismo, carinho e paciência, que tornam minha vida tão especial.

Agradeço o auxílio e amizade incondicional dos meus amigos de Goiânia: Lorena Rover, Joyce, Larissa, Gabriela, Lorena Arruda, Morgana, Simone, Nara, Marianne, Amanda Babinski, Gleyciane, Mirela, Carol, Franciele, Pedro, Vanessa, Lorena Riusse, Fernanda, Renata e meus amigos de Lavras e da UFLA: Camila, Beatrice, Juracy, Jessica, Nadya, Ludmilla, Barbara, Amanda, Lisha e Nathalia.

Aos meus colegas de mestrado do DEN/UFLA, principalmente o André, Roberta e Sandra que estavam sempre me ajudando.

Aos meus colegas de Laboratório de Entomologia Florestal do DEN/UFLA: Stephannie, Caroline, Elisângela, Juliana, Arnhold, em especial o Renan e o Willian, pois, sem eles, não seria possível a realização das coletas.

Aos funcionários do DEN/UFLA, em especial a Léia, Irene, Júlio, Érica e Lisiane, por toda sua dedicação comigo.

Aos queridos professores DEN/UFLA, pelos ensinamentos e os conhecimentos.

À UFLA e à Capes, por todos os recursos fornecidos.

Enfim, a todos que, de forma direta ou indireta, participaram comigo desta vitória.

“Você nunca sabe que resultados virão de suas ações,
mas se você não fizer nada, não existirão resultados.”

Mahatma Gandhi

RESUMO

Os cupins são considerados pragas iniciais da cultura do eucalipto e têm ganhado maior importância, devido à expansão da cultura sobre áreas de pastagens. Dentre as espécies praga, *Syntermes* spp. é considerada a mais importante. Para obter mapas de infestação e realizar manejo integrado é necessário conhecer a sua distribuição espacial. Objetivou-se, neste trabalho, determinar a distribuição espacial de orifícios de forrageamento de *Syntermes* spp. por processos pontuais no Bioma Cerrado; simular um plano de amostragem para estimação do número de orifícios de forrageamento desse inseto; criar mapas de krigagem por regressão GLM da infestação de orifícios de forrageamento de *Syntermes* spp.; e validar o plano amostral simulado. O trabalho foi desenvolvido numa área de cerrado que, posteriormente, será utilizada para implantação de eucalipto. O padrão espacial foi determinado com o número de orifícios de forrageamento e a distância entre eles. A distribuição dos cupins foi ajustada segundo o modelo exponencial para o número de orifício de forrageamento, ambas pelo método de máxima verossimilhança (ML). Concluiu-se que a distribuição espacial de *Syntermes* spp. é agregada e não homogênea até 6m em áreas de cerrado de Minas Gerais. Cada orifício pai de forrageamento desse cupim representa um ninho de 30,97m². O melhor plano de amostragem desses cupins é lançar uma parcela circular de 5m de raio a cada 100m (uma amostra por hectare), distribuídas de maneira sistemática na área. A krigagem por regressão GLM é adequada para a geração de mapas de infestação, visando auxiliar no processo de tomada de decisão, pois permite gerar mapas dos locais infestados, reduzindo o custo de controle.

Palavras-chave: *Syntermes*. Eucalipto. Amostragem. Distribuição espacial.

ABSTRACT

Termites are considered initial pest of *eucalyptus* and have gained increased importance due to the expansion of this culture on pasturelands. Among the pest species, *Syntermes* spp. is considered the most important, so it is necessary to know the spatial distribution. The objective of this study was to determine the spatial distribution of foraging holes *Syntermes* spp. for point processes in the Cerrado; simulate a sampling plan to estimate the number of holes of this insect foraging; create maps of kriging regression GLM Infestation holes foraging *Syntermes* spp. and validate the simulated sampling plan. The study was conducted in a Cerrado area that will later be used for the cultivation of *eucalyptus*. The spatial pattern was determined by the number of foraging holes and the distance between them. The distribution of termites was adjusted according to the exponential model for the number of foraging hole, both by the method of maximum likelihood (ML). It was concluded that the spatial distribution of *Syntermes* spp. is aggregated and not homogeneous up to 6m in Cerrado areas of Minas Gerais. Each hole father of this termite foraging is a nest of 30,97m². The best sampling of these termites is launching a circular plot of 5m radius 100m each (one sample per hectare), distributed in a systematic way in the area. The GLM regression kriging is suitable for generating maps of infestation, aiming to help in the decision making process as to generate maps of infested locations, reducing the cost of control.

Keywords: *Syntermes*. *Eucalyptus*. Sampling. Spatial distribution.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Representação da área de 33,6ha, onde realizou-se a identificação e mapeamento de todos os orifícios de forrageamento no interior de 23 parcelas de 5m de raio, Três Marias, MG, 2013 34
- Figura 2 Função K não homogênea de Ripley para posição de orifícios de forrageamento de *Syntermes*, Três Marias, Minas Gerais 35
- Figura 3 Representação dos processos de simulação de orifícios de *Syntermes*, pelo processo agregado de Matérn: (a) $k=0,001$, (b) $k=0,003$, (c) $k= 0,006$, (d) $k= 0,013$, (e) $k= 0,026$ orifícios de forrageamento de *Synterm41es*, numa área teórica de 30ha (~547x547m)..... 40
- Figura 4 Erros amostrais (%) do plano de amostragem sistemático simulados com parcelas circulares de 5m, lançadas a cada 50, 75, 100, 125, 150, 175 e 200m para intensidade de k de 0,001; 0,003; 0,006; 0,013 e 0,026 orifícios de forrageamento de *Syntermes*. A área cinza em torno da média representa o intervalo de confiança (IC=95%)..... 41
- Figura 5 Semivariograma ajustado pelo método de máxima verossimilhança (ML), para o número de orifícios de forrageamento de *Syntermes* spp. Três Marias, MG, 2013 42
- Figura 6 Mapas de krigagem por regressão GLM de Poisson do número de orifícios de forrageamento de *Syntermes* spp. (a) e Mapas de krigagem por regressão GLM de Poisson do número estimado de orifícios de forrageamento de *Syntermes* spp. e a representação das parcelas observadas utilizadas para validação (Pontos em vermelho) (b), Três Marias, MG, 2013 45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Importância dos cupins para as florestas cultivadas no Brasil	15
2.2	Cupins de mudas	17
2.3	Amostragem de cupins em florestas cultivadas	19
2.4	Estimativa do dano de cupins de mudas	22
2.5	Distribuição espacial de cupins	24
3	MATERIAL E MÉTODO	28
3.1	Área de estudo	28
3.2	Modelagem da distribuição espacial de orifícios de forrageamento de <i>Syntermes</i> spp. por processos pontuais	29
3.3	Simulação de um plano de amostragem para estimação do número de orifícios de forrageamento de <i>Syntermes</i> spp.	29
3.4	Krigagem por regressão GLM da infestação de orifícios de forrageamento de <i>Syntermes</i> spp. e validação do plano amostral	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1	Modelagem da distribuição espacial de orifícios de forrageamento de <i>Syntermes</i> spp. por processos pontuais	34
4.2	Simulação de um plano de amostragem para estimação da densidade de <i>Syntermes</i> spp.	39
4.3	Krigagem por regressão GLM da infestação de <i>Syntermes</i> spp. e validação do plano amostral	42
5	CONCLUSÕES	46
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

O cultivo de florestas no Brasil tem apresentado continuada expansão, principalmente com espécies do gênero *Eucalyptus*. Em 2012, a área brasileira de plantios de eucalipto e pinus atingiu 6,66 milhões de hectares, um crescimento de 2,2% em relação ao indicador de 2011. Os plantios de *Eucalyptus* representaram 76,6% da área total (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2013).

Em 2012, a arrecadação da indústria de base florestal foi de US\$ 7,6 bilhões. Em tributos federais, estaduais e municipais foram arrecadados, aproximadamente, 1,5 milhão. Estima-se que o setor florestal tenha mantido 4,4 milhões de postos de empregos, incluindo empregos diretos (0,6 milhão), empregos indiretos (1,3 milhão) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2013).

Os cupins destacam-se como importantes pragas iniciais na cultura do eucalipto e têm sua importância aumentada pelo avanço dos cultivos florestais em áreas anteriormente ocupadas por pastagens, as quais são reconhecidamente mais propícias ao desenvolvimento de grandes populações de cupins (WILCKEN; RAETANO, 1995).

Dentre as espécies de cupins, as do gênero *Syntermes* são as pragas mais importantes (WILCKEN; RAETANO; FORTI, 2002). Os cupins desse gênero possuem o comportamento de danificar as raízes e o coleto de plantas novas, causando a morte das mudas (WILCKEN; RAETANO; FORTI, 2002). Quando presentes em grandes densidades na área de cultivo, esses cupins podem tornar o replantio muito oneroso (WILCKEN; RAETANO, 1995).

A maioria dos cupins que ataca eucaliptos não constrói montículos. Portanto, a ausência desses numa floresta não significa que ela esteja livre do ataque de cupins e, reciprocamente, a presença de montículos não indica,

necessariamente, uma ameaça de ataque por esses insetos (BERTI FILHO, 1995). O fato de se encontrarem cupins nas proximidades de plantas mortas não é suficiente para associá-los ao dano (DIETRICH, 1989).

O desenvolvimento de programas de manejo integrado, baseado em planos de amostragem, é necessário para evitar que cupins causem danos em mudas de eucalipto e a elaboração desses planos requer o conhecimento prévio das espécies que ocorrem na região e sua distribuição espacial (SANTOS, 2008; GILES et al., 2000).

Almeida e Alves (1995) desenvolveram um tipo de isca artificial registrada como Termitrap^R (rolo de papelão ondulado). Essa isca está sendo a mais utilizada em monitoramentos, estudos comportamentais e no controle de cupins.

O gênero *Syntermes*, não é atraído por iscas de papelão (BEZERRA; WILCKEN, 1998b). A única prova de que ele existe são orifícios de forrageamento na superfície do solo, com um número estimado de 35 orifícios de forrageamento/m²/ano (BEZERRA; WILCKEN, 1998a; SANTOS et al., 2011).

Planos de amostragem baseados em presença e ausência de cupins-praga em eucalipto foram estudados para diferentes tipos de solos em região de Cerrado, sendo determinada a intensidade amostral, distribuídas aleatoriamente no campo, de 4 iscas de papelão/3ha para se amostrarem as espécies *Cylindrotermes brevipilosus* e *Heterotermes tenuis*; e 5 parcelas de 20m de raio para *Syntermes* spp. com 10% de erro amostral (SANTOS, 2012). No entanto, esses planos foram elaborados sob abordagem da estatística clássica e não foram validados.

Outro estudo foi desenvolvido com uma abordagem geoestatística por (SANTOS et al., 2011), constatando-se que a distribuição espacial de *Syntermes* foi agregada até 3m, em áreas de Cerrado. Santos (2012) propôs uma nova

metodologia de coleta de *Syntermes*, utilizando parcelas com um raio de 5m, pois foi verificado que os cupins se agregam num raio de até 3m, sendo assim utilizou-se o raio de 5m para coletar o maior número de orifícios pais.

Objetivou-se, neste trabalho, determinar a distribuição espacial de orifícios de forrageamento de *Syntermes* spp. no Bioma Cerrado; determinar a área superficial de ninhos subterrâneos de *Syntermes*, visando aperfeiçoar metodologias de amostragem, através da substituição da abordagem baseada em índice populacional (densidade de orifícios de forrageamento/área), pelo método relativo (densidade de ninhos de cupins/área); simular um plano de amostragem para estimação da densidade desse inseto; criar mapas de krigagem por regressão GLM da infestação de *Syntermes* spp.; e validar o plano amostral simulado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância dos cupins para as florestas cultivadas no Brasil

Nos últimos anos, o setor florestal baseado em florestas plantadas tem contribuído sobremaneira para o desenvolvimento econômico, social e ambiental do País. As plantações florestais têm promovido mudanças em economias regionais e locais, particularmente naquelas que antes estavam fundamentadas no extrativismo e na agricultura de subsistência. As oportunidades de trabalho trazidas pela atividade florestal têm contribuído para alterar o perfil de determinadas regiões do País, aquecendo a economia e propiciando a melhoria de importantes indicadores ambientais e sociais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2012).

Devido ao grande aumento na oferta de alimento, insetos que antes não eram muito expressivos, como o cupim, foram elevados ao “status” de praga, devido ao ataque a mudas ou árvores vivas, podendo ocasionar destruição do sistema radicular, morte das mudas ou perda da qualidade da madeira.

Os cupins pertencem à ordem Isoptera, com cerca de 2.800 espécies conhecidas no mundo. Quatro famílias ocorrem no Brasil: Kalotermitidae, Serritermitidae, Rhinotermitidae e Termitidae. Os Kalotermitidae são os “cupins-de-madeira-seca”, alguns dos quais são pragas importantes de madeira, vivendo apenas em madeira seca, sem contato com o solo. A família Serritermitidae contém apenas duas espécies encontradas no solo, porém sem importância econômica. Os Rhinotermitidae são comumente chamados de “cupins subterrâneos” e são todos xilófagos. Termitidae é uma família muito grande que corresponde a mais de 80% das espécies que ocorrem no Brasil e cujos hábitos são muito variados. O grupo é dividido em quatro subfamílias, das

quais três ocorrem no Brasil: Apicotermitinae (cupins sem soldados), Nasutermitinae (cupins nasutos) e Termitinae (VALÉRIO et al., 1998).

Apesar da grande diversidade de cupins, apenas 10% das espécies são consideradas pragas, sendo prejudiciais tanto na área urbana como na atividade agrosilvopastoril. Em áreas urbanas, o maior problema é atribuído aos cupins xilófagos, sendo o cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis* (WALKER, 1853) e o cupim subterrâneo, *Coptotermes havilandi* (HOLMGREN, 1911), as principais espécies que ocorrem no Brasil (FONTES, 1998).

Em áreas agrícolas, os cupins são importantes pragas das culturas de cana-de-açúcar, arroz, trigo, milho e amendoim (GALLO et al., 2002), podendo também atacar sementeiras, raízes do cafeeiro, abacaxi, tubérculos e plantas frutíferas. As espécies mais importantes para a agricultura brasileira pertencem aos gêneros *Heterotermes*, *Cornitermes*, *Syntermes*, *Neocapritermes* e *Procornitermes* (FORTI; ANDRADE, 1995).

Com relação às pastagens, o maior problema enfrentado é em decorrência da presença de cupins de montículo. De acordo com (FERNANDES; CZEPAK; VELOSO, 1998), o gênero *Cornitermes* é o mais frequente, porém o dano econômico não é significativo, tratando-se somente de um problema estético.

Na silvicultura, a severidade do ataque de cupins é geralmente maior em florestas plantadas com espécies exóticas do que em florestas naturais e, além disso, plantas estressadas por doenças, danos mecânicos ou estiagem prolongada são mais suscetíveis ao ataque (LOGAN; COWIE; WOOD, 1990). Nair e Varma (1985) relataram que cupins atacam florestas plantadas devido a diversos fatores, como a espécie de cupim, sua densidade populacional, seu ritmo de atividade estacional, o acúmulo de resíduos no solo, o tipo de solo, suas condições de umidade, a espécie de planta e seu estado fisiológico.

De acordo com Wilcken e Raetano (1995), os cupins-praga de florestas implantadas podem ser divididos em dois grupos: 1) cupins que atacam mudas, desde o plantio até a idade de um ano, conhecidos como cupins das mudas, das raízes ou do colo, que causam a destruição do sistema radicular (“descorticação do pião”) ou anelamento da muda na região do colo, o que geralmente leva as mudas à morte; e 2) cupins de cerne que atacam árvores formadas (com mais de dois anos), destruindo o seu interior e provocando riscos para o suprimento de matéria-prima de boa qualidade e em quantidade suficiente para sua utilização. Dentre os dois grupos, os cupins de mudas representam maior impacto econômico aos plantios com eucalipto e por isso serão abordados nesse projeto.

2.2 Cupins de mudas

Dentre os países tropicais, o Brasil, a Índia e alguns países africanos são aqueles em que os danos ocasionados por esses cupins são os mais severos (NAIR; VARMA, 1985; WARDELL, 1987; COWIE; LOGAN; WOOD, 1989; WILCKEN, 1992). Desde 1908, quando se iniciaram os plantios comerciais no estado de São Paulo, até 1942, de um total de dois milhões de mudas cultivadas, 70% apresentaram ataque de *Syntermes insidians* e *S. molestus*, que causavam a morte das mudas, logo após o transplante, pela destruição do sistema radicular (FONSECA, 1952).

Anjos, Santos e Zanuncio (1986) mencionaram que *Syntermes insidians* e *S. molestus* causam danos em plantios novos de *Eucalyptus* spp., realizando a remoção da casa na altura do coleto e danificando as raízes finas, com consequente murchamento e seca das folhas, mas nesse estágio os cupins não são mais encontrados no local de ataque. Afirmaram também que, embora os danos não atinjam grandes proporções, torna-se necessária a operação de

replântio que, além de onerosa, vai ocasionar uma desuniformidade futura nos plantios.

A maioria dos cupins que ataca eucaliptos não constrói montículos, portanto a ausência desses numa floresta não significa que ela esteja livre do ataque de cupins e, reciprocamente, a presença de montículos não indica, necessariamente, uma ameaça de ataque por esses insetos (BERTI FILHO, 1995). Também o fato de se encontrarem cupins nas proximidades de plantas mortas não é suficiente para associá-los ao dano, pois, segundo Dietrich (1989) de 27 gêneros coletados em plantio de eucalipto, somente um causava danos ao cerne e nove estavam se alimentando das raízes.

Segundo Nair e Varma (1985), os cupins das mudas podem atacar a partir de 15 dias do plantio até a idade de dois anos, sendo que a maior parte dos ataques ocorre nos quatro meses de plantio no campo, quando as plantas têm cerca de dez meses. O período de maior suscetibilidade das mudas de *Eucalyptus grandis* a *Cornitermes cumulans*, conforme observado por Wilcken (1992), foi de 34 a 76 dias após o plantio. Entretanto, o período de suscetibilidade das mudas varia com a espécie de cupim.

Berti Filho (1993) considera *C. citriodora*, *E. grandis*, *E. robusta* e *E. tereticornis* as espécies florestais arbóreas cultivadas no Brasil mais suscetíveis aos cupins, enquanto na China, *C. citriodora* e *E. maculata* mostraram um certo grau de resistência a esses insetos (HARRIS, 1971). O principal dano, que é a mortalidade de mudas, é expressivo. Na Índia, as falhas no “stand” podem ser de 4 a 80% (NAIR; VARMA, 1985), e na África variam entre 50 e 80% (WARDELL, 1987). Nas condições brasileiras, Wilcken (1992) constatou mortalidade de 18% em mudas de *E. grandis*, causadas por *Cornitermes* sp.. Para plantios comerciais, segundo Wilcken e Raetano (1995), a porcentagem de falhas aceitável encontra-se entre 2 e 5%, e acima desses níveis o replântio torna-se muito oneroso.

No Brasil, as raízes de eucalipto podem ser atacadas por *Anoplotermes pacificus*, *Anoplotermes sp.*, *Armitermes eumignatus*, *Armitermes sp.*, *Cornitermes cumulans*, *Cornitermes sp.*, *Neocapritermes opacus*, *Procornitermes araujoii*, *P. striatus*, *P. triacifer*, *Syntermes insidians* e *S. molestus* (MARICONI, 1981). Essa relação foi ampliada por Dietrich (1989) com o primeiro registro de espécies dos gêneros *Aparatermes*, *Cylindrotermes*, *Embiratermes*, *Obtusitermes*, *Rhyncotermes* e *Subulitermes*, em mudas de eucalipto.

Syntermes é o gênero de cupins que causa o mais severo impacto econômico em plantios de eucalipto recém-implantados, causando alta mortalidade de plantas na fase de muda (WILCKEN; RAETANO; FORTI, 2002). Em ecossistemas naturais, esses cupins possuem o comportamento de forragearem durante a noite (MARTIUS; WELLER, 1998), se alimentarem de gramíneas e folhas mortas e habitam em ninhos subterrâneos e profundos (CONSTANTINO, 1995). O único indício da presença de seus ninhos é a presença de orifícios de forrageamento na superfície do solo (MARTIUS, 1998), em um número estimado de 35 orifícios/m²/ano (MARTIUS; WELLER, 1998), sendo essas estruturas normalmente utilizadas em estudos de levantamento e amostragem de *Syntermes* spp. em reflorestamentos (BEZERRA; WILCKEN, 1998a; SANTOS et al., 2011).

2.3 Amostragem de cupins em florestas cultivadas

A quantidade de cupins nas colônias varia com a idade, tamanho e temperatura do ninho, com a época do ano, tipo de solo (BANDEIRA; TORRES, 1985; ABER, 1989), e também com a espécie de cupim (FORTI; ANDRADE, 1995).

Lee e Wood (1971) e Forti e Andrade (1995) mencionaram que a densidade de termiteiros varia muito em função de diversos fatores, como a vegetação, o solo, o clima, a espécie de cupim considerada e o tempo em que a área permaneceu sem alteração. Segundo Haverty, Nutting e Lafage (1975), a espécie *Heterotermes aureus* ocorre em altas densidades, com até 190 colônias/ha.

Características da vegetação também influenciam a distribuição de cupins. Kemp (1955) constatou que alguns ninhos epígeos só ocorrem em locais sombreados, embora o excesso de sombra exclua certas espécies. O mesmo efeito foi encontrado por Sands (1965), para a distribuição de espécies de cupins subterrâneos. A ocorrência de cupinzeiros é dependente também da idade e da espécie vegetal (SALES, 1985), e quanto maior for a disponibilidade de plantas, maior será a ocorrência de ataques de cupins (CATELLA; FERNANDES; MESQUITA, 1985).

De acordo com Siqueira e Kitayama (1983), em áreas perturbadas, tais como pastagem semidesmatada, pastagem cultivada e vegetação secundária, a densidade de termiteiros geralmente é maior do que em áreas não perturbadas; porém, o número de espécies de cupins é menor, conforme Wood, Johnson e Ohi Agu (1980).

Espécies de cupins mostraram padrão agregado de dispersão em fragmentos florestais na Amazônia Central, em razão dos determinantes de forrageamento e nidificação estarem distribuídos em mosaico, nas áreas (SOUZA, 1989). No entanto, esses mosaicos podem apresentar manchas com determinantes favoráveis em tamanho menor que as amostras de 1ha utilizadas. É possível que isso não tenha permitido determinar-se a alternância do padrão variegado, o que levou à observação de dispersão, ao acaso, das espécies de cupins nessas amostras de tamanho reduzido. Por isso, dentro das manchas

favoráveis não houve variação suficiente para se produzir uma dispersão agregada, o que não ocorreu com amostras de 10ha.

Cupins dos gêneros *Syntermes* e *Cornitermes* apresentaram distribuição espacial agregada em plantios de eucalipto, tanto em blocos de 1 como de 10ha (BEZERRA; WILCKEN, 1998a). As áreas dos pontos amostrais, utilizadas por esses autores, foram proporcionais ao tamanho do bloco, ou seja, amostras de 40m² foram usadas para blocos de 1ha e as de 400m² para os de 10ha.

Termiteiros de 46 espécies de cupins, no cerrado brasileiro, apresentaram distribuição uniforme, quando analisados em conjunto, mas a distribuição dos mesmos foi ao acaso, quando se consideraram somente os consumidores de gramíneas e folhas, o que retrata a dispersão do alimento na área (DOMINGOS; GONTIJO; CAVENAGHI, 1998). Consumidores de solo e matéria orgânica apresentam padrão agregado, o que deve ocorrer pelo fato de serem inquilinos e ocorrerem simultaneamente em termiteiros multiespecíficos. Os xilófagos apresentaram, também, distribuição agregada, confirmando os resultados dessa pesquisa para cupins de cerne.

Bezerra e Wilcken (1998b) estabeleceram que o número mínimo de amostras para cupins do gênero *Cornitermes* é de uma isca de papelão/ha e de uma parcela de 36m²/ha para aqueles do gênero *Syntermes* em programa de monitoramento de espécies desses gêneros de cupins subterrâneos, em plantios de eucalipto em blocos de 10ha, com 240 parcelas de 400m². Esses autores determinaram um tamanho amostral relacionado à dimensão da área amostrada, diferente deste trabalho, no qual o número de parcelas independe do tamanho da área que será amostrada.

Planos de amostragem, indicadores (baseado em presença e ausência) de cupins-praga em eucalipto foram propostos para diferentes tipos de solos em região de Cerrado, sendo determinada a intensidade amostral, distribuídas aleatoriamente no campo, de 4 iscas de papelão/3ha para se amostrarem as

espécies *Cylindrotermes brevipilosus* e *Heterotermes tenuis*; e 5 parcelas de 20m de raio para *Syntermes* spp. com 10% de erro amostral (SANTOS et al., 2011).

A amostragem pós-plantio é feita durante as operações de ronda pós-plantio, com o lançamento de transectos ao acaso, correspondentes às linhas de plantio. Selecionam-se 3% das linhas de plantio com, no mínimo, duas linhas por talhão. Em cada linha, conta-se o número total de mudas e o número de mudas atacadas, anotando-se a informação na ficha de amostragem e calculando-se a percentagem de mudas atacadas. O nível de controle é de 2 a 5% de mudas atacadas.

Além dos cupins de mudas, planos de amostragem de cupins de cerne têm sido desenvolvidos. Zanetti et al. (2005b) verificaram que a distribuição espacial do ataque dessa praga em plantios de eucalipto foi mais bem representada pelo modelo de distribuição β -binomial, indicando que o mesmo segue padrão agregado. O tamanho das parcelas foi estabelecido em uma linha de 40 plantas e o número mínimo de parcelas, para a amostragem dos cupins de cerne, foi definido em 29, 22 e duas parcelas em João Pinheiro para *E. camaldulensis*, *E. urophylla* e *C. citriodora*, respectivamente, e em quatro, sete e seis parcelas para *E. camaldulensis*, *E. urophylla* e *E. cloeziana* em Bocaiúva, respectivamente.

2.4 Estimativa do dano de cupins de mudas

A relação entre a densidade do inseto-praga, a resposta da cultura à injúria e os danos econômicos resultantes formam um critério bioeconômico sobre o qual é fundamentada a tomada de decisão sobre a adoção de táticas de controle (PEDIGO; HUTCHINS; HIGLEY, 1986). A conceituação desse critério em nível de dano econômico foi inicialmente definida por Stern et al. (1959), como a densidade de insetos-praga na qual as perdas econômicas na produção

possuem igual custo de controle; e essa definição encontra-se na base de programas de manejo integrado de pragas utilizados atualmente (PEDIGO; HIGLEY, 1996).

Para o estabelecimento do nível de dano econômico são empregados modelos matemáticos que relacionam as médias dos diferentes parâmetros econômicos e biológicos envolvidos (STONE; PEDIGO, 1972; CUPERUS et al., 1983; MALTAIS; NUCKLE; LEBLANC, 1998), resultando em um valor que, apesar de ser prático do ponto de vista operacional, apresenta imprecisão (PLANT, 1986). Atualmente, a determinação desses níveis de dano têm sido abordados com o uso de modelos probabilísticos (PETERSON; HUNT, 2003), que ao invés de empregarem a média dos parâmetros envolvidos, utilizam a distribuição dos dados de cada variável. A vantagem do emprego do nível de dano probabilístico em relação à abordagem clássica, advém de os níveis de dano não assumirem um determinado e estático valor, mas serem representados pela sua distribuição de probabilidade, permitindo que o nível de dano seja escolhido em função do risco assumido no momento da tomada de decisão (PETERSON; HUNT, 2003), apresentando-se como um critério mais consistente frente à variabilidade dos dados biológicos e econômicos.

Mais de 200 trabalhos sobre níveis de dano para insetos de importância econômica, em inúmeras culturas agrícolas e florestais foram estabelecidos (PETERSON, 1996). Em florestas cultivadas, os níveis de dano, apesar de serem escassos, dentre os existentes, encontram ampla utilização nos programas de manejo integrado de formigas cortadeiras em eucaliptais (ZANETTI et al., 2003) e para vespa-da-madeira *Sirex noctilio*, em Pinus (PENTEADO; OLIVEIRA; IEDE, 2002).

Em relação à cupins-praga, não existem níveis de danos econômicos estabelecidos, o que pode ser explicado por características bioecológicas desses insetos que dificultam a determinação de sua densidade populacional (FORTI;

ANDRADE, 1995; ALMEIDA; ALVES, 2009). A quantificação de danos por cupins foram estimados para perda de volume de madeira pelo cupim de cerne *Coptotermes* spp., em eucaliptais no Brasil (ZANETTI et al., 2005a); para o gênero *Macrotermes*, no qual sua densidade foi correlacionada com perdas na produção de milho na Nigéria (WOOD; JOHNSON; OHI AGU, 1980); e em cevada para os cupins dos gêneros *Microtermes* e *Odontotermes* na Índia (BHANOT; VERMA; KASHYAP, 1984).

2.5 Distribuição espacial de cupins

Em população, os indivíduos podem apresentar três padrões básicos de distribuição espacial: aleatório, agrupado e uniforme (BROWER; ZAR, 1984). São agregados ou agrupados quando os indivíduos encontram-se aninhados em grupos distintos, devido a particularidades do ambiente, ou quando a presença de um indivíduo atrai a presença do outro e, nesse caso, os indivíduos estão mais próximos uns dos outros do que o esperado por casualidade; uniformes- quando os indivíduos encontram-se igualmente espaçados, com tendência de se evitarem uns aos outros, ou quando indivíduos que, especialmente estão perto de outros, morrem; ou ainda distribuição aleatória, quando os indivíduos possuem igual probabilidade de ocuparem qualquer local no espaço, independentemente da posição de qualquer outro (BEGON; HARPER, 1996).

O padrão de distribuição espacial dos insetos encontrados na natureza não é permanente. O contágio pode ser resultante, principalmente, da disponibilidade de alimento, fase fenológica das plantas, condições do ambiente, escala e tamanho da área amostrada (TILLMAN et al., 2009; BABIN et al., 2010; REAY-JONES, 2010; FAUTEUX et al., 2012). Permanecendo agrupados, os indivíduos podem ser beneficiados pelos efeitos na sobrevivência,

fecundidade e tempo de desenvolvimento (ANSTEY, 2002; CORTÉS-AVIZANDA et al., 2011; LAN et al., 2012; BRITTAIN et al., 2010).

Vários índices de agregação ou dispersão são utilizados para medir a disposição espacial dos insetos. Entre os índices mais utilizados podem ser citados: razão/variância ou índice de dispersão de Morisita; coeficiente de Green (Cx); coeficiente k da distribuição binomial negativa e o expoente b da Lei de Taylor (KUNO, 1991). Rabinovich (1980) recomendou que mais de um índice seja utilizado, antes de se emitir uma conclusão a respeito da distribuição espacial de uma determinada espécie de inseto.

Um dos métodos utilizados para o estudo desta distribuição espacial é a geostatística. Para tanto, são necessários dados que constituem medidas de um ou mais parâmetros com determinada localização geográfica (HAINING, 1990).

Em procedimentos geostatísticos utilizam-se 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 (MENDONÇA, 2008).

Para o estabelecimento de planos de amostragens é importante a determinação prévia da distribuição espacial dos organismos (FOWLER; FORTIL, 1995). A distribuição de indivíduos numa população descreve a distância relativa entre um deles e seus vizinhos (RICKFELS, 2003).

O padrão da distribuição de uma praga pode variar ao longo do tempo e, no início da colonização da cultura, a tendência é se ajustar à série de Poisson, evoluindo para uma distribuição binomial positiva (YOUNG; YOUNG, 1998). Dificilmente, os insetos apresentam um padrão uniforme de distribuição, sendo o mais comum a formação de agregações em determinados pontos (DESLIPPE; SAVOLAINEN, 1995).

Os cupins apresentam distribuição regular (DONOVAN et al., 2007) determinada pela competição intra e interespecífica e comportamento territorial (LEPAGE; DARLINGTON, 2000). No entanto, esse padrão depende da espécie, grupo trófico e das condições ambientais, como a vegetação e tipo de solo.

Termiteiros de 46 espécies de cupins, no cerrado brasileiro, apresentaram distribuição uniforme, quando analisados em conjunto, mas a distribuição dos mesmos foi ao acaso, quando se consideraram somente os consumidores de gramíneas e folhas, o que retrata a dispersão do alimento na área. Consumidores de solo e matéria orgânica apresentam padrão agregado, o que deve decorrer do fato de serem inquilinos e ocorrerem simultaneamente em termiteiros multiespecíficos. Os xilófagos apresentaram, também, distribuição agregada, confirmando os resultados dessa pesquisa para cupins de cerne (DOMINGOS; GONTIJO; CAVENAGHI, 1998).

Espécies de cupins mostraram padrão agregado de dispersão em fragmentos florestais na Amazônia Central, em razão dos determinantes de forrageamento e nidificação estarem distribuídos em mosaico nas áreas (SOUZA, 1989).

A espécie *Cornitermes silvestrii* é uma espécie formadora de colônia, e muito abundante em áreas abertas de cerrado e campo, bem como em áreas alteradas. Apresenta uma tendência a apresentar uma distribuição uniformemente espaçada em áreas de campo devido à possível competição interespecífica entre as colônias e também ao comportamento agonístico entre os indivíduos de colônias diferentes ou pelo fato de ser um efeito inerente da distância velocidade e ritmo de forrageio (MATHEWS, 1977).

Encontrou-se padrão agregado de *Macrotermitinae* em savana africana e também em *Odontotermes pauperans* quando foram influenciados por alterações da fertilidade do solo (JOUQUET; TESSIER; LEPAGE, 2004). A

distribuição espacial de uma espécie pode mudar com o tamanho da amostra (DUNGAN et al., 2004).

A distribuição espacial de cupinzeiros de *Cornitermes snyderi* (Isoptera: Termitidae) em teca, foi avaliada pelo índice de Morisita ($I\sigma = 1,8976$) com o tipo agregada ou também denominada de ocorrência em focos ou reboleiras (PERES FILHO et al., 2012). Segundo Nakano, Silveira Neto e Zucchi (1981), a distribuição de ninhos de insetos sociais como cupins e formigas apresenta distribuição regular, isto é, binomial, porém o presente trabalho contraria esses dados sendo, portanto, binomial negativa. Esse fato pode estar associado à disponibilidade de alimento que, em um plantio florestal, difere das condições encontradas em ambientes naturais.

Em um trabalho realizado por Santos (2008), utilizando amostragem de cupins subterrâneos, especificamente *Syntermes* spp, em eucaliptos, numa região de Mata Atlântica, verificou-se que a distribuição espacial desses insetos foi agregada, independentemente dos métodos de avaliação usados. O padrão espacial apresentado por cupins é de maneira geral, agregado, como para aqueles subterrâneos em plantios de eucalipto (BEZERRA; WILCKEN, 1998b).

Em um trabalho realizado por Santos (2012), os valores da razão variância média (I_d) e do índice de Morisita (I) foram maiores que a unidade em todos os talhões amostrados, demonstrando que a distribuição de cupins subterrâneos ocorreu de forma agregada. A variância apresentou valores muito superiores à média, o que explica os altos valores para ambos os índices.

Cupins dos gêneros *Syntermes* e *Cornitermes* apresentaram distribuição espacial agregada em plantios de eucalipto, tanto em blocos de 1 como de 10ha (BEZERRA; WILCKEN, 1998a). As áreas dos pontos amostrais, utilizadas por esses autores, foram proporcionais ao tamanho do bloco, ou seja, amostras de 40m² foram usadas para blocos de 1ha e as de 400m²

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido no mês de abril de 2014 na área de implantação de eucalipto da empresa Gerdau Aços Brasil no município de Três Marias, Minas Gerais, Brasil. O município de Três Marias (18° 12' 21" S, 45° 14' 31" W e altitude de 538m), Minas Gerais, Brasil é uma área originalmente constituída pelo bioma Cerrado, onde se concentra a maioria das florestas cultivadas com eucalipto no Brasil. O local amostrado é uma área de 33,6ha, plana de cerrado, com domínio de *Brachiaria decumbens*, gramíneas, arbustos e árvores do cerrado de pequeno porte, espaçadas, onde será implantada a cultura de Eucalipto.

O zoneamento climático da mesorregião Central Mineira, conforme classificação climática de Köppen e Geiger (1928) encontra-se na faixa Aw. A classe climática Aw é constituída pelo clima tropical úmido de savana (zonas de transição entre bosques e prados, cuja vegetação predominante são as gramíneas). A época mais seca coincide com o inverno, tendo como precipitação máxima observada para o mês mais seco, nesta estação, valores menores que 60mm. A vegetação observada nessas áreas é arbustiva e rasteira. Observa-se que os meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro concentram as maiores precipitações, sendo responsáveis por, aproximadamente, 60% do total das precipitações ocorridas no ano.

3.2 Modelagem da distribuição espacial de orifícios de forrageamento de *Syntermes* spp. por processos pontuais

Previamente, visualizou-se que a área apresentava cupim *Syntermes* e com auxílio do shape da área foram lançadas subparcelas, utilizando o Programa R. A área total tem 33,6ha e foi dividida 22 subparcelas circulares, com raio de 5m (78,54m²). Essas subparcelas foram distanciadas 100m. Em cada subparcela realizou-se a identificação e mapeamento de todos os orifícios de forrageamento no seu interior. Esses pontos foram identificados e mapeados com auxílio de um tripé dotado de bússola, trena à laser digital e GPS (Global Position System).

A posição dos orifícios de forrageamento foi submetida à função K não homogênea de Ripley (BADDELEY; MÜLLER; WAAGEPETERSEN, 2000) e à análise de Monte Carlo, com 999 simulações para estabelecer os intervalos superiores e inferiores de confiança ($\alpha=0.05$) (GRIFFITH, 1988). Posteriormente, os dados foram submetidos a ajuste pelo processo agregado de Matérn, que permite descrever matematicamente o comportamento espacial do fenômeno estudado (BADDELEY, 2010).

3.3 Simulação de um plano de amostragem para estimação do número de orifícios de forrageamento de *Syntermes* spp.

Os dados foram submetidos a ajuste pelo processo agregado de Matérn, que é um bom modelo para explicação da dinâmica de distribuição de orifícios (o modelo reproduz a observação de campo de agregados de orifícios dispostos aleatoriamente). Foi simulada alta, média e baixa infestação de orifícios de *Syntermes*, sendo orifícios pais de 0,001 (extremamente baixo) a 0,04 (extremamente infestado) por m², a cada 0,005 orifícios/m², orifícios filhos de 1 a 20 em torno de cada combinação de orifícios pais, num raio de distribuição de

5m. Todas as combinações possíveis entre esses três fatores foram repetidos 99 vezes numa área teórica de 33,6ha.

A função K teórica do processo agregado de Matérn é calculada por $K(r) = p r^2 + h(r/(2 \cdot R))/\kappa$, em que: $h(z) = 2 + (1/p) \cdot [(8 \cdot z^2 - 4) \cdot \arccos(z) - 2 \cdot \arcsin(z) + 4 \cdot z \cdot ((1 - z^2)^3)^{-1/2} - 6 \cdot z \cdot ((1 - z^2)^{-1/2})]$, para $z \leq 1$, e $H(z) = 1$ para $z > 1$. Nesse cálculo, o método de contraste mínimo é usado para encontrar valores ótimos dos parâmetros κ e R . Em seguida, o parâmetro m é inferido a partir do lambda da intensidade estimada (DIGGLE; GRATTON, 1984).

O ajuste do processo agregado de Matérn foi realizado com o programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2005) e com o uso do pacote spatstat (BADDELEY; TURNER, 2005).

Os dados da posição espacial dos orifícios de forrageamento de *Syntermes* spp. foram simulados com o uso dos parâmetro k , estimado pelo processo agregado de Matérn ajustado no item anterior, sendo gerados orifícios pais de $k = 0,026$ por m^2 , em torno do qual foram distribuídos orifícios filhos de 1 a 20, num raio de distribuição de 10cm a 5m, a cada 20cm. Todas as combinações possíveis entre esses três fatores foram repetidos 99 vezes, numa área teórica quadrada de 30ha.

Sobre as áreas simuladas foi desenvolvido um plano de amostragem sistemático a distâncias de 10, 20, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 175 e 200m, com parcelas amostrais circulares de 5m de raio. Os erros amostrais (%) produzidos por cada plano de amostragem, com intervalo de confiança de 95%, foi calculado por:

$$Erro\ amostral\ (\%) = \left(\frac{N_{of} - \sum_{i=1}^n (N_a) \times \frac{A_{tal\ h\tilde{a}o}}{A_{amostrada}}}{N_{of}} \right) \times 100$$

em que: N_{or} = número total de orifícios no talhão; $N_{amostrado}$ = número total de orifícios amostrados na simulação; $A_{talhão}$ = área do talhão e $A_{amostrada}$ = área amostrada na simulação. A seleção do plano de amostragem foi baseada em finalidades práticas de manejo, sendo proposto o plano que produzir um erro amostral máximo de 5% e apresentar menor intensidade amostral. As análises foram conduzidas com o pacote spatstat (BADDELEY; TURNER, 2005) e com o uso do programa estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2005).

3.4 Krigagem por regressão GLM da infestação de orifícios de forrageamento de *Syntermes* spp. e validação do plano amostral

Foi selecionado um talhão de 33,6ha destinado à implantação com eucalipto, no bioma Cerrado. A área escolhida foi previamente analisada para constatação da presença de cupins subterrâneos do gênero *Syntermes*.

A unidade amostral foi dividida em 22 pontos, sistematicamente distribuídos em parcelas de 100x100m e 8 pontos aleatoriamente distribuídos na área, objetivando a obtenção de pares de distâncias diferentes da sistemática para detecção da correlação espacial.

A coleta foi realizada com auxílio de um tripé dotado de bússola, trena à laser digital e GPS (Global Position System), onde parcelas circulares de 5m de raio ($78,54m^2$) foram marcadas ao redor do centro de cada parcela, e os orifícios de forrageamento de *Syntermes* spp. foram mapeados.

Para se estudar o comportamento da variável aleatória, o número de orifícios de cupins do gênero *Syntermes* foi ajustado GLM com distribuição de erros de Poisson e a altitude (m) foi utilizada como variável explicativa. A aplicação do GLM apresenta uma série de vantagens, segundo Nelder e Lee, (1998). O GLM utiliza toda a informação dos dados; assim, a análise da variância resulta em uma resposta para cada observação, assim como a da média.

Qualquer tipo de dados (com distribuição pertencente à família exponencial), pode ser usado na modelagem via GLM não havendo a necessidade de fazer transformação dos dados para esses aderirem à distribuição normal. Posteriormente, o modelo GLM ajustado foi utilizado para estudar a estruturação espacial do número de orifícios com o uso de semivariogramas para avaliar a dependência espacial da distribuição do número de orifícios de cupins do gênero *Syntermes*. O semivariograma experimental foi estimado por:

$$\hat{\gamma}(u) = \frac{1}{2N(u)} \sum_{a=1}^{N(u)} [z(x_a) - z(x_a + u)]^2$$

onde, $\hat{\gamma}(u)$ é a semivariância estimada para cada distância ou classe de distância u , $N(u)$ é o número de pares de pontos separados por u e $z(x_a)$ e $z(x_a + u)$ são os valores das variáveis no ponto x_a e $x_a + u$, respectivamente (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978). Visando à escolha do modelo teórico de semivariograma mais apropriado para descrição dos dados foram testados os modelos exponencial, gaussiano e esférico.

A estimação dos parâmetros dos modelos foi realizada pelos métodos de máxima verossimilhança (Maximum Likelihood – ML) e máxima verossimilhança restrita (Restricted Maximum Likelihood - REML), que utilizam os dados amostrados para efetuar o ajuste; e os métodos de ajuste dos modelos ao semivariograma experimental, foi o método dos quadrados mínimos ordinários (Ordinary Least Squares – OLS) e o método dos quadrados mínimos ponderados (Weight Least Squares – WLS) (MELLO et al., 2005). Foi empregado o teste de validação-cruzada para a escolha do modelo mais adequado.

As análises estatísticas foram realizadas com o programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2005) e com o uso do pacote geoR (RIBEIRO JUNIOR; DIGGLE, 2001).

Posteriormente, para validação do plano amostral, oito parcelas aleatórias não coincidentes com pontos já coletados, foram amostradas para se realizar a comparação entre o número de orifícios observados e estimados pela krigagem geoestatística por regressão de infestação, sendo as parcelas comparadas pelo teste de χ^2 ($p < 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Modelagem da distribuição espacial de orifícios de forrageamento de *Syntermes* spp. por processos pontuais

A posição de cada orifício de forrageamento foi submetida à uma análise de Monte Carlo, para estabelecer os limites superiores e inferiores de confiança ($\alpha=0,05$). Os resultados demonstraram que o processo de pontos é aleatório e não homogêneo até 6m (Figura 1) e pode ser modelado pela abordagem estatístico-espacial de processos pontuais, rejeitando-se a hipótese de distribuição sistemática de *Syntermes* spp. em Cerrado, a 5% de significância.

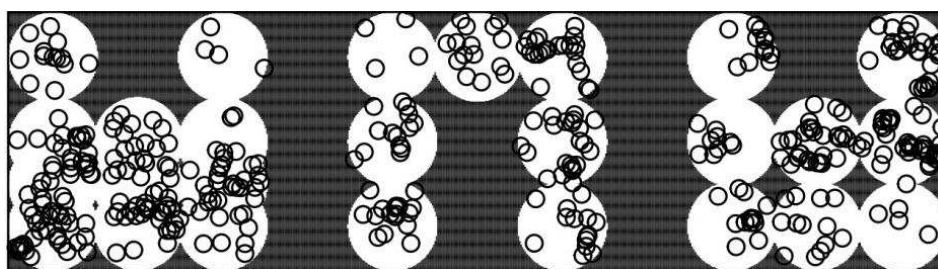


Figura 1 Representação da área de 33,6ha, onde realizou-se a identificação e mapeamento de todos os orifícios de forrageamento no interior de 23 parcelas de 5m de raio, Três Marias, MG, 2013

Apesar da Figura 1 apresentar indícios de presença de agrupamento de *Syntermes*, foi necessário caracterizar estatisticamente a significância desses indícios, por meio dos procedimentos gráficos baseados na função K não homogênea de Ripley, que é considerada uma das funções mais poderosas para detectar configurações com agrupamentos em diferentes escalas (DIGGLE, 2003). O resultado mostrou que existe agregação dos indivíduos na área, caracterizando a estrutura espacial de *Syntermes* spp. no Cerrado (Figura 2).

Este fenômeno de distribuição agregada pode ser explicado pela disponibilidade de alimentos, tipo de solo, clima, altitude, vegetação, competição intra e interespecífica, entre outros fatores ambientais e ecológicos. Segundo Traniello e Leuthold (2000) as diferentes espécies de cupins, de modo geral, forrageiam nas adjacências de suas colônias e tendem a se distribuir por toda a área, nos locais que apresentam condições e recursos que lhe são favoráveis. Em eventos reprodutivos de revoadas, os alados voam por uma curta distância e fundam novas colônias nas proximidades daquelas já existentes (NUTTING, 1969).

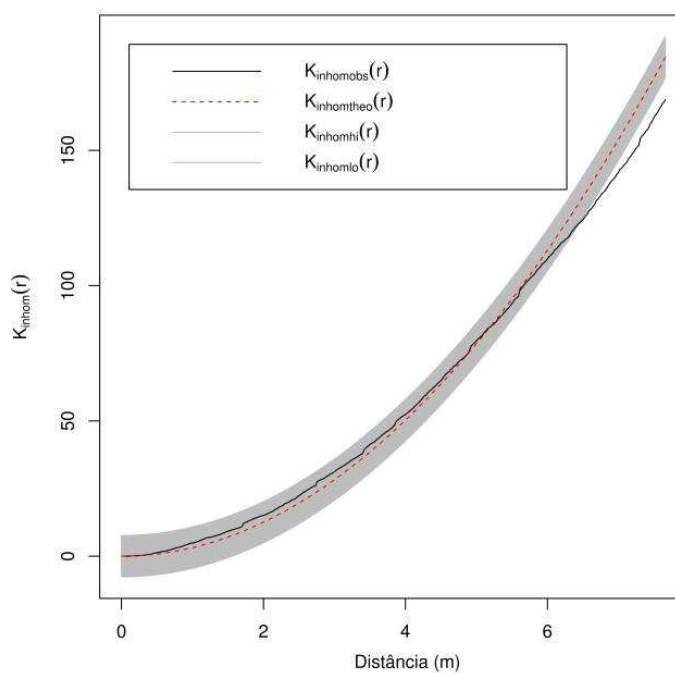


Figura 2 Função K não homogênea de Ripley para posição de orifícios de forrageamento de *Syntermes*, Três Marias, Minas Gerais

Segundo Noirot (1970) são poucas as informações sobre ninhos de *Syntermes* e essa escassez é atribuída ao hábito subterrâneo que dificulta seu

estudo. Os ninhos de *Syntermes* são complexos, dependendo da espécie, podendo se apresentar completamente subterrâneos, subterrâneos com terra solta na superfície do solo e montículos compactos sobre o solo. Porém, as espécies de maior importância econômica como *S. molestus* e *S. nanus* são estritamente subterrâneas (CONSTANTINO, 1995) e o único indício da sua presença são os orifícios de forrageamento na superfície do solo (MARTIUS, 1998). Esses orifícios são a comunicação através de galerias entre o ninho e o meio externo e formam o território de forrageamento desses cupins (MARTIUS; WELLER, 1998).

A estrutura de ninhos subterrâneos em Isoptera, geralmente dispõe de uma arquitetura que permite o controle do microclima interno e seguro contra a predação; e especificamente no caso de *Syntermes*, serve como estoque de alimento forrageado (NOIROT; DARLINGTON, 2000), características essas que permitem ao ninho comportar uma população média de 34.000 indivíduos (LEPAGE; DARLINGTON, 2000).

A partir destas informações, podemos constatar que é difícil quantificar ninhos de *Syntermes* por unidade de área, devido à dificuldade em quantificar ninhos subterrâneos, mas é possível amostrar a quantidade de orifícios de forrageamento e estimar o número de orifícios pais de *Syntermes* numa área e o tamanho dos ninhos pelo método de agregação de Matérn.

Os resultados da agregação de Matérn foram: $k = 0,02598994$, $R = 3,14252155$ e $\mu = 7,94953431$, sendo que a intensidade teórica de um evento (λ) é dada por $\lambda = k * \mu$ (MOLLER; WAAGEPETERSEN, 2003), então neste caso temos $\lambda = 0,2$ orifícios de forrageamento centrais/m² que se distribuem de maneira aleatória na área, circundados por 7,95 orifícios satélites (μ), num raio de 3,14m (R). Cada orifício pai representa um ninho de *Syntermes* com 7,95 orifícios filhos (satélites) e as localizações dos pontos de prole de um pai são independentes e distribuídos dentro de um círculo de raio 3,14m, centrado no

ponto pai, resultando em uma área de 30,96m². Assim, foi possível a substituição da abordagem baseada em densidade de ninhos de cupins/área (método relativo) pela densidade de orifícios de forrageamento/área (índice relativo).

O número médio de ninhos no Brasil foi quantificado por diversos autores (CZEPAK; ARAUJO; FERNANDES, 2003), estimaram em média, 73 cupinzeiros por hectare, em pastagens de Goiás, em estudo realizado em 133 municípios, os quais ocupam 0,4% da área útil. Essas pastagens são habitadas por espécies de vários gêneros, principalmente da subfamília Nasutitermitinae, sendo *Cornitermes snyderi* a espécie predominante (CUNHA; MORAIS, 2010), estimou 182 ha⁻¹.

Oliveira et al. (2011) verificaram no cerrado do planalto central, um número médio de 408ha⁻¹, sendo que o maior número foi observado numa pastagem de dez anos (672 ninhos/ha⁻¹). O valor da área ocupada no presente trabalho também corrobora a média observada pelos autores acima citados, com exceção de Cosenza e Carvalho (1974), que verificaram um maior valor.

Segundo Haverty, Nutting e Lafage (1975), a espécie *Heterotermes aureus* ocorre em altas densidades, com até 190 colônias/ha. Lepage e Darlington (2000) compilaram dados na literatura acerca do tamanho das colônias de diversas espécies, que variaram entre 12,5m², para *Heterotermes aureus*, e 7851m², para o cupim africano *Macrotermes michaelseni*. Para *Syntermes* não há estudos devido à dificuldade de amostrar os ninhos subterrâneos.

Os ninhos de cupins podem se sobrepor em uma mesma área. Os agregados de espécies diferentes também podem se sobrepor e, caso sejam espécies com preferências similares, além da competição intraespecífica, pode haver uma competição interespecífica por alimento e sítios de nidificação (BRANDÃO, 1991; TRANIELLO; LEUTHOLD, 2000).

A dispersão ou distanciamento dos indivíduos entre si pode ser ativa ou passiva e visa minimizar as interações negativas, como competição entre indivíduos que partilham a mesma área e os mesmos recursos (FORTIN; DALE, 2005). Segundo Hutchinson (1957) toda espécie interage com outras e isso afeta de algum modo seu nicho fundamental, restringindo-o a um subconjunto. A distribuição casual ocorre quando as condições ambientais são semelhantes em qualquer ponto no espaço e a presença de um organismo não interfere na de outro (BEGON; HARPER, 1996).

No estudo de Bruschini (2006) e Lima (2012) sobre cupins, a distribuição espacial foi avaliada por índice de distância, que também mostrou distribuição aleatória dos ninhos. Todavia, essa distribuição foi influenciada pela baixa densidade de ninhos (65) e ausência de competição intraespecífica de espaço e recurso alimentar.

Outros autores estudaram a distribuição espacial de ninhos epígeos de *Cornitermes* spp., utilizando outras ferramentas de avaliação. Cunha e Morais (2010) verificaram a distribuição espacial dos ninhos por índices de dispersão e agrupamentos, ao observar a distribuição aleatória dos ninhos, atribuindo esse fato à ausência de competição intraespecífica.

A existência de ninhos maiores e menores, próximos, pode ser influenciada por diferentes circunstâncias, como o fato de alguns dos menores ninhos serem novos e os maiores ninhos, mais velhos. Por outro lado, pode acontecer de alguns dos ninhos menores serem filiais do maior, ou seja, ninhos policálicos (LIMA, 2012).

O conhecimento da distribuição das espécies de cupins possibilita o estabelecimento de estratégias de manejo. Baseado nesse conhecimento, foram realizados testes de simulação descritos no item 3.3, utilizando o número de orifícios pai, cujos resultados estão apresentados no item 4.2. Os testes de simulação são necessários para auxiliar no manejo e no controle das espécies

consideradas pragas. Simulando-se os pontos de agregação é possível determinar a presença e ausência de *Syntermes* na área de manejo.

4.2 Simulação de um plano de amostragem para estimação da densidade de *Syntermes* spp.

O processo de simulação de orifícios de *Syntermes*, pelo processo agregado de Matérn, sobre a área teórica de 547x547m, produziu um total de 3.465 cenários de infestação (99 simulações x 5 intensidade k x 7 distância entre parcelas x 1 tamanho de parcela x 1 intensidades μ x 1 distâncias de R) (Figura 3). Sobre as áreas simuladas foi desenvolvido um plano de amostragem sistemático com parcelas circulares de 5m, lançadas a cada 20, 25, 50, 75, 100, 125 e 150m (Figura 4). Os erros gerados permitiram identificar a amostragem que produz o menor erro amostral ($\leq 5\%$ e menor erro padrão da média) para as maiores distâncias e desconhecendo-se o grau de intensidade da infestação dos cupins, foi sugerido lançar uma amostra de 5m de raio a cada 100m, resultando em uma amostra por hectare distribuída de maneira sistemática na área.

Apesar de 125m se encontrarem no ajuste, ele está no limiar do erro amostral, podendo extrapolar o limite dos ajustes superiores e inferiores, quando obtiver uma intensidade amostral alta, portanto 100m é o mais indicado.

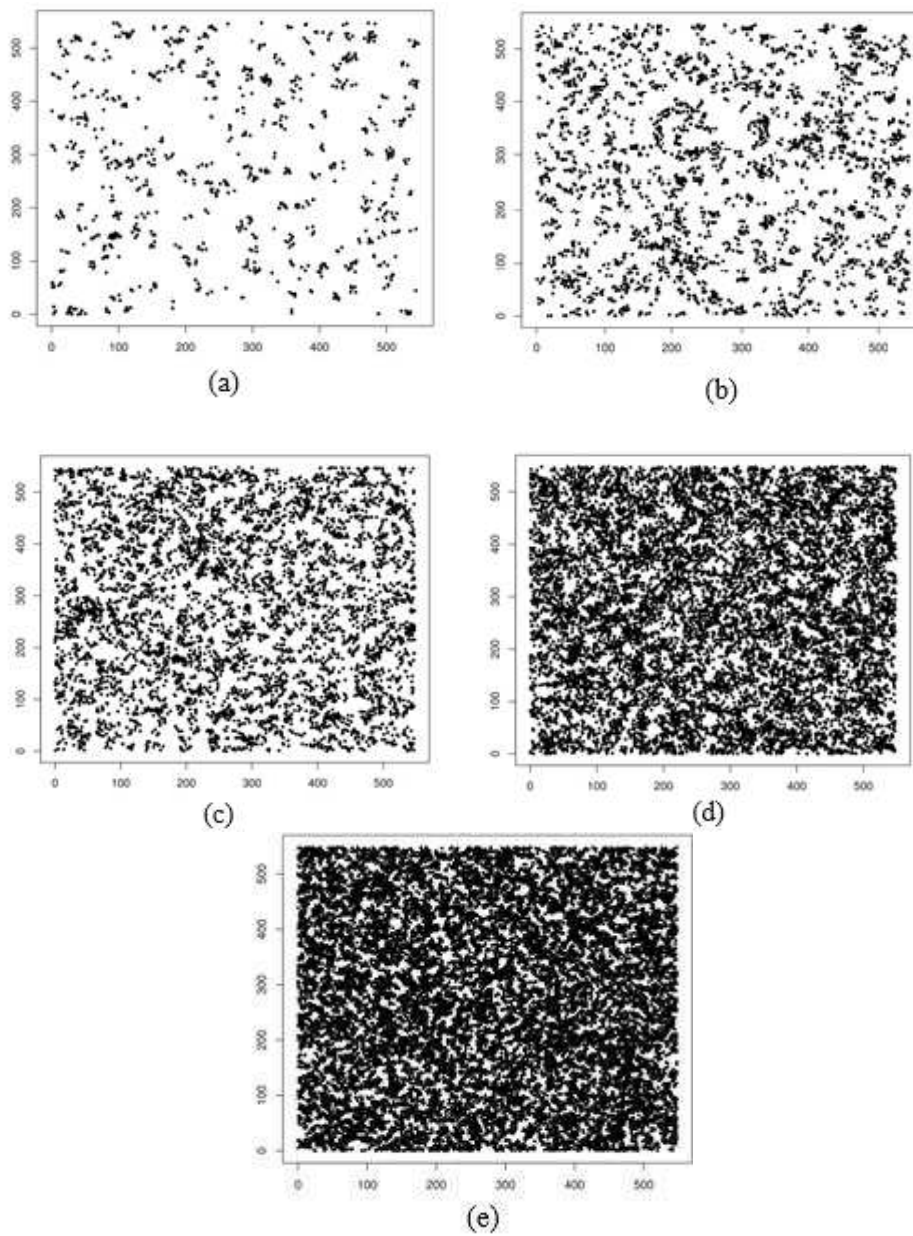


Figura 3 Representação dos processos de simulação de orifícios de *Syntermes*, pelo processo agregado de Matérn: (a) $k=0,001$, (b) $k=0,003$, (c) $k=0,006$, (d) $k=0,013$, (e) $k=0,026$ orifícios de forrageamento de *Synterm41es*, numa área teórica de 30 ha ($\sim 547 \times 547$ m)

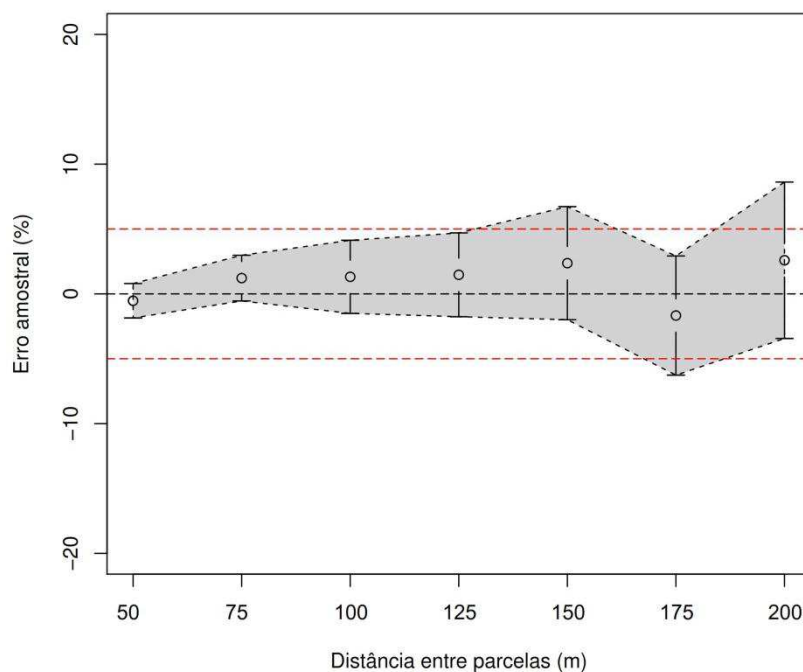


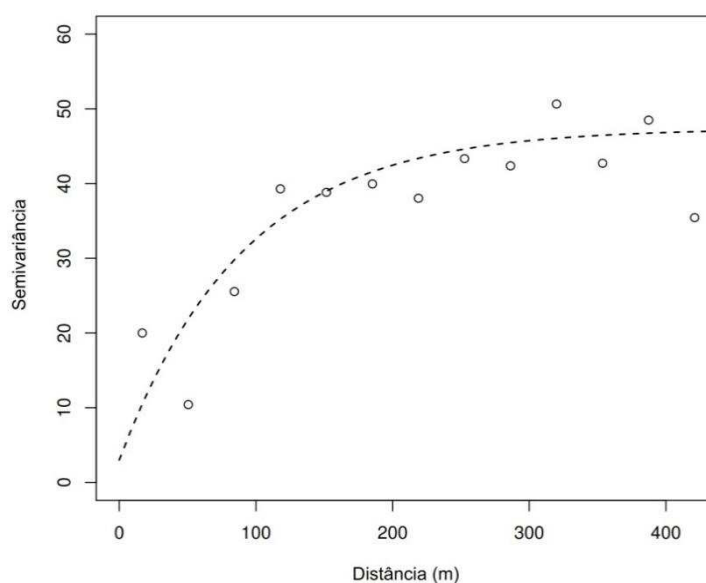
Figura 4 Erros amostrais (%) do plano de amostragem sistemático simulados com parcelas circulares de 5m, lançadas a cada 50, 75, 100, 125, 150, 175 e 200m para intensidade de k de 0,001; 0,003; 0,006; 0,013 e 0,026 orifícios de forrageamento de *Syntermes*. A área cinza em torno da média representa o intervalo de confiança (IC=95%)

A identificação e mapeamento em parcelas espaçadas por grandes áreas permite a elaboração de mapas de probabilidade de ocorrência e distribuição de orifícios em áreas não amostradas, permitindo a elaboração de mapas de contorno da densidade estimada de orifícios de forrageamento de *Syntermes*, facilitando o processo de tomada de decisão do ponto de vista do manejo integrado de pragas.

4.3 Krigagem por regressão GLM da infestação de *Syntermes* spp. e validação do plano amostral

O comportamento da variável aleatória, número de orifícios de cupins do gênero *Syntermes* foram ajustados modelos lineares generalizados (GLM) com distribuição de erros de Poisson e a altitude (m) foi utilizada como variável explicativa, para serem modelados. Os resultados anteriores demonstraram que o processo de pontos é aleatório e não homogêneo até 6m.

A distribuição espacial agregada de orifícios de *Syntermes* foi ajustada a vários modelos e o que atendeu melhor foi o modelo exponencial pelo método ML (Tabela 1), que podem ser visualizados na Figura 5.



$$\gamma(h) = 3,00 + 44,38 \left[1 - \exp\left(-\left(\frac{h}{272,39}\right)^2\right) \right]$$

Figura 5 Semivariograma ajustado pelo método de máxima verossimilhança (ML), para o número de orifícios de forrageamento de *Syntermes* spp. Três Marias, MG, 2013

O alcance médio dos orifícios de forrageamento foi de 272,4m, classificação de Cambardella et al. (1994). Essa moderada dependência deve-se ao alto valor do efeito pepita que diz respeito ao erro não captado pelo censo. Segundo Lasmar (2012), semivariogramas explicaram parte da variância dos dados experimentais, mesmo demonstrando uma dependência espacial significativa, que deve ser incorporada aos planos de amostragem, repercutindo em um aumento de precisão em relação a outros planos que não consideram a relação entre as variáveis e o espaço.

Tabela 1 Estimativa dos parâmetros efeito pepita (τ^2), variação estruturada (σ^2), alcance em metros (\emptyset), média e variância da validação cruzada do número de orifícios de forrageamento de *Syntermes* spp, pelos métodos de máxima verossimilhança (ML), máxima verossimilhança restrita (REML), quadrados mínimos ordinários (OLS) e quadrados mínimos ponderados (WLS), considerando os modelos esféricos (Esf), exponencial (Exp) e gaussiano (Gau). Três Marias, MG, 2013

Método de ajuste	Modelo	Parâmetros estimados			Validação cruzada	
		τ^2	σ^2	\emptyset (m)	\bar{x}	s^2
ML	Exponencial	3,00	44,38	272,39	0,03021	1,14690
REML	Exponencial	10,85	54,22	375,00	0,03315	1,17220
WLS	Exponencial	3,00	41,30	270,75	0,03090	1,20695
OLS	Exponencial	3,00	41,97	274,91	0,00000	1,20422
ML	Gaussiano	11,01	47,19	169,24	0,08039	1,63165
REML	Gaussiano	11,11	52,47	179,33	0,08123	1,64176
WLS	Gaussiano	3,00	35,62	0,001	0,07812	1,64568
OLS	Gaussiano	3,00	39,76	154,53	0,00000	1,20422
ML	Esférico	10,56	43,34	200,10	0,04193	1,15347
REML	Esférico	10,62	46,13	206,25	0,04134	1,12929
WLS	Esférico	3,00	38,98	199,38	0,04296	1,21933
OLS	Esférico	3,00	39,75	197,04	0,04324	1,25005

Após a construção de semivariogramas experimentais e teóricos, os pontos não amostrados foram estimados pela interpolação dos valores observados (Tabela 2). A krigagem ordinária é o método mais comum de se obter mapas de distribuição espacial que consideram a dependência encontrada nos semivariogramas (LASMAR, 2012). Não houve diferença estatística ($\chi^2 = 6,492$; GL = 5; $p=0,2612$) entre o número de orifícios observados e estimados, mostrando-se que a krigagem por regressão GLM é adequada para a geração de mapas de infestação como auxiliar no processo de tomada de decisão.

Tabela 2 Média dos orifícios estimados pela krigagem por regressão GLM de Poisson do número de orifícios de forrageamento de *Syntermes* spp. e o número de orifícios observados nas parcelas utilizadas para validação, Três Marias, MG, 2013

Unidade amostral (78,54m ²)	Média de orifícios de <i>Syntermes</i>	
	Estimado	Observado
1	14,6	11
2	16,0	8
3	19,1	8
4	3,4	8
5	9,4	7
6	15,8	14
Média (\pm EP)	13,1 \pm 2,32	9,3 \pm 1,08
$\chi^2 = 6,492$; GL = 5; $p=0,2612$		

Na Figura 6(a,b) são apresentados mapas oriundos de krigagem ordinária fornecida pelos pontos coletados no talhão, representando-os de forma contínua e não de forma pontual, ou seja, foram estimados os valores em locais não amostrados por meio do interpolador geoestatístico. Esses valores foram gerados nos mapas com a localização dos orifícios de forrageamento em

diferentes infestações, o que é fundamental para obter planos de amostragem que comparem orifícios estimados e orifícios observados.

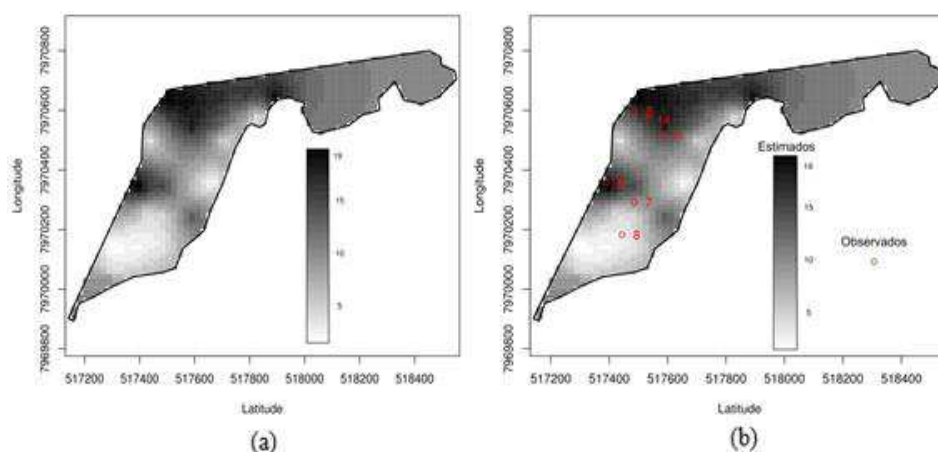


Figura 6 Mapas de krigagem por regressão GLM de Poisson do número de orifícios de forrageamento de *Syntermes* spp. (a) e Mapas de krigagem por regressão GLM de Poisson do número estimado de orifícios de forrageamento de *Syntermes* spp. e a representação das parcelas observadas utilizadas para validação (Pontos em vermelho) (b), Três Marias, MG, 2013

Sugere-se: desenvolver a determinação da distribuição espacial de *Syntermes* em florestas cultivadas em outros biomas brasileiros onde estão sendo implementados plantios de eucalipto; estimar o nível de dano econômico para cupins do gênero *Syntermes*, para comprovar a necessidade da aplicação de inseticidas nas áreas infestadas; e desenvolver mais estudos sobre fatores ecológicos (tipos de solo, teor de matéria orgânica, altitude e regime de chuvas) que influenciem na distribuição de *Syntermes*.

5 CONCLUSÕES

A distribuição espacial de *Syntermes spp.* é agregada e não homogênea até 6m, em áreas de cerrado de Minas Gerais.

Há uma estimativa de que cada orifício pai de forrageamento de *Syntermes* represente um ninho de 30,96m².

O melhor plano de amostragem de *Syntermes*, em áreas de cerrado de Minas Gerais, é lançar uma parcela circular de 5m de raio a cada 100m (uma amostra por hectare), distribuída de maneira sistemática na área.

Para redução de custos:

- a) o método de campo (imersão de mudas) poderá ser realizado apenas em áreas que necessitem;
- b) a krigagem por regressão GLM é adequada para geração de mapas de infestação, visando auxiliar no processo de tomada de decisão, pois permite gerar mapas dos locais infestados, reduzindo o custo de controle.

REFERÊNCIAS

- ABER, A. Análises de la población de los nidos de *Termes saltans* (Wasmann, 1897) (Isoptera, Termitidae) en Uruguay: ciclo anual de castas y enjambrazón. **Revista Brasileira de Entomologia**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 161-168, 1989.
- ALMEIDA, J. E. M.; ALVES, S. B. Atividade de forrageamento de *Heterotermes tenuis* (Hagen) (Isoptera: Termitidae) em cana-de-açúcar utilizando a armadilha termitrap. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 76, n. 4, p. 613-618, 2009.
- ALMEIDA, J. E. M.; ALVES, S. B. Seleção de armadilhas para a captura de *Heterotermes tenuis* (Hagen). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 24, n. 3, p. 619-624, dez. 1995.
- ANJOS, N.; SANTOS, G. P.; ZANUNCIO, J. C. Pragas do eucalipto e seu controle. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 141, p. 53, 1986.
- ANSTEY, L. J. **The spatial and temporal distribution and possible benefits of gregarious behavior of balsam fir sawfly (*Neodiprion abietis* Harris) (Hymenoptera: Diprionidae) on balsam fir (*Abies balsamea* L.)**. 2002. 63. p. Thesis (Masters of Science in Forestry) – University of New Brunswick, Fredericton, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico**: ano base 2012. Brasília: ABRAF, 2013. Disponível em: <<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3910>>. Acesso em: 13 mar. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico**. Brasília: ABRAF, 2012.
- BABIN, R. et al. Impact of shade on the spatial distribution of *Sahlbergella singularis* in traditional cocoa agroforests. **Agricultural and Forest Entomology**, Malden, v. 12, n. 1, p. 69-79, Feb. 2010.
- BADDELEY, A. J. **Analysing spatial point patterns in R. Workshop notes: version 4.1**. Camberra: CSIRO & University of Western Australia, 2010.

BADDELEY, A. J.; MÜLLER, J.; WAAGEPETERSEN, R. Non and semiparametric estimation of interaction in inhomogeneous point patterns. **Statistica Neerlandica**, Holanda, v. 54, p. 329-350, Nov. 2000.

BADDELEY, A.; TURNER, R. Spatstat: an R package for analyzing spatial point patterns. **Journal of Statistical Software**, Washington, v. 12, n. 6, p. 1-42, Jan. 2005.

BANDEIRA, A. G.; TORRES, M. F. P. Abundância e distribuição de invertebrados do solo em ecossistemas da Amazônia Oriental: o papel ecológico dos cupins. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi**, Belem, v. 2, n. 1, p. 13-38, dez. 1985.

BEGON, M. J. L.; HARPER, C. R. **Ecology: individuals, populations and communities**. Oxford: Blackwell Science, 1996.

BERTI FILHO, E. **Alguns aspectos atuais da biologia e controle de cupins**. Piracicaba: Editora da FEALQ, 1995.

BERTI FILHO, E. **Manual de pragas em florestas: cupins ou térmitas: volume 3**. Piracicaba: IPEF, 1993.

BEZERRA, N. S.; WILCKEN, C. F. Distribuição espacial de cupins subterrâneos dos gêneros *Syntermes* e *Cornitermes* (Isoptera: Termitidae) em plantios de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 17., 1998b: p. 725. Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: Editora da UFRRJ, 1998b.

BEZERRA, N. S.; WILCKEN, C. F. Número mínimo de amostras para o monitoramento de cupins subterrâneos dos gêneros *Syntermes* e *Cornitermes* (Isoptera: Termitidae) em plantios de eucalipto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 1998a, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: UFRRJ, 1998a. p. 725.

BHANOT, J. P.; VERMA, A. N.; KASHYAP, R. K. Population dynamics of termites in barley fields and correlation between termite population and termite damage. **Journal of Applied Entomology**, Hissar, v. 98, n. 1-5, p. 234-238, Jan./Dec. 1984.

BRANDÃO, D. Relações espaciais de duas espécies de *Syntermes* (Isoptera, Termitidae) nos cerrados da região de Brasília, DF, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 745-754, 1991.

BRITAIN, C. A. et al. Impacts of a pesticide on pollinator species richness at different spatial scales. **Basic and Applied Ecology**, Jena, v. 11, n. 2, p. 106-115, Mar. 2010.

BROWER, J. E.; ZAR, J. H. **Field & laboratory methods for general ecology**: volume 2. Dubuque: Brown Publishers, 1984.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Journal of Soil Science Society of America**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, Sep./ Oc. 1994.

CATELLA, A. C.; FERNANDES, D. A.; MESQUITA, R. C. C. Ocorrência e frequência de ataque de térmitas na vegetação arbóreo-arbustiva de cerrado, Sete Lagoas, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, 12., 1985, Campinas. **Resumos...** Campinas: SBZ, 1985. p. 1501-1511.

CONSTANTINO, R. Revision of the neotropical genus *Syntermes* Holmgren (Isoptera: Termitidae). **The University of Kansas Science Bulletin**, Lawrence, v. 55, n. 13, p. 455-518, Jan. 1995.

CORTÉS-AVIZANDA, A. et al. Spatial heterogeneity in resource distribution promotes facultative sociality in two Trans-Saharan migratory birds. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 6, n. 6 p. 21016, June 2011.

COSENZA, G. W.; CARVALHO, M. M. de. Controle e nível de dano do cupim de montículo em pastagens. **Revista Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 3, n. 1, p. 1-12, 1974.

COWIE, R. H.; LOGAN, J. W. M.; WOOD, T. G. Termite (Isoptera) damage and control in tropical forestry with special reference to Africa and Indo-Malasya: a review. **Bulletin of Entomological Research**, Wallingford, v. 79, n. 2, p. 173-184, June 1989.

CUNHA, H. F.; MORAIS, P. P. A. M. Relação espécie-área em cupinzeiros de pastagem, Goiânia-GO, Brasil. **EntomoBrasil**, Goiás, v. 3, n. 3, p. 60-63, 2010.

CUPERUS, G. W. et al. Economic injury levels and economic thresholds for potato leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) on alfalfa in Minnesota. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 76, n. 1, p. 1341-1349, Nov. 1983.

CZEPAK, C.; ARAUJO, E. A.; FERNANDES, P. M. Ocorrência de espécies de cupins de montículo em pastagens no Estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 33, n. 1, p. 35- 38, ago. 2003.

DESLIPPE, R. J.; SAVOLAINEN, N. **Mechanisms of competition in a guild of formicine ants**: volume1. Oikos: Wiley & Sons, 1995.

DIETRICH, C. R. R. C. **Ocorrência de cupins (Insecta: Isoptera) em reflorestamento de *Eucalyptus* spp.** 1989. 68 p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

DIGGLE, P. J. **Statistical analysis of spatial point patterns**. New York: Oxford University Press, 2003.

DIGGLE, P. J.; GRATTON, R. J. Monte Carlo methods of inference for implicit statistical models (with discussion). **Journal Royal Statistical Society**, Newcastle, v. 46, n. 2, p. 193–227 Jan. 1984.

DOMINGOS, D. J.; GONTIJO, T. A.; CAVENAGHI, T. M. C. M. Partilha de alimento e espaço por térmitas em cerrado em Sete Lagoas, MG (Isoptera: Termitidae). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 12., 1998, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: SEB, 1998. p. 77.

DONOVAN, S. E.; EGGLETON, P.; BIGNELL, D. E. The effect of a soil feeding termite, *Cubitermes fungifaber* (Isoptera: Termitidae) on soil properties: termites may be an important source of soil microhabitat heterogeneity in tropical forests. **Pedobiologia**, Jena, v. 45, n. 1, p. 1-11, 2001.

DONOVAN, S. E. et al. The spatial pattern of soil dwelling termites in primary and logged forest in Sabah, Malaysia. **Ecological Entomology**, London, v. 32, n. 1, p. 1-10, Feb. 2007.

DUNGAN, J. L. et al. A balance view of scale in spatial statistics analysis. **Ecography**, Canadá, v. 25, p. 626-640, Feb. 2004.

FAUTEUX, D. et al. Small mammal responses to coarse woody debris distribution at different spatial scales in managed and unmanaged boreal forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 266, n. 25, p. 194-205, Feb. 2012.

FERNANDES, P. M.; CZEPAK, C.; VELOSO, V. R. S. Cupins de montículo em pastagens: prejuízo real ou praga estética? In: FONTES, L. R.; BERTI FILHO, E. **Cupins: o desafio do conhecimento**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 187-210.

FONSECA, J. P. Emprego de inseticidas orgânicos no combate a cupins subterrâneos nocivos a mudas de eucalipto. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 21, n.3, p. 13-19, jun. 1952.

FONTES, L. R. Considerações sobre a complexidade da interação entre o cupim subterrâneo, *Coptotermes havilandi*, e a arborização no ambiente urbano. In: FONTES, L. R.; BERTI FILHO, E. (Ed.). **Cupins: o desafio do conhecimento**. Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 109-124.

FORTI, L. C. et al. Populações de cupins. In: BERTI FILHO, E.; FONTES, R. L. (Ed.). **Alguns aspectos atuais da biologia e controle de cupins**. Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 29-51.

FORTI, L. C.; ANDRADE, M. L. D. Populações de cupins. In: BERTI FILHO, E.; FONTES, R. L. **Alguns aspectos atuais da biologia e controle de cupins**. Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 29-51.

FORTIN, M.J.; DALE, M. R. T. **Spatial analysis: a guide for ecologists**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

FOWLER, H. C.; FORTIL, C. Methods for the evaluation of leaf-cutting and harvest. In: VANDER MEER, R. K. D. R.; CEDEÑO, K. K.; JAFFÉ, A. (Ed.). **Applied myrmecology: a world perspective**. Boulder: Westview Press, 1995. p. 228-241.

GALLO, D. et al. **Entomologia agrícola**. Piracicaba: FEALQ, 2002.

GILES, K. L. et al. Development and validation of a binomial sequential sampling plan for the greengug (Homoptera: Aphididae) infesting winter wheat in the southern plains. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 93, n. 3, p. 1522-1530, Oct. 2000.

GRIFFITH, D. A. **Advanced spatial statistics: special topics in the exploration of quantitative spatial data series.** Dordrecht: Academic Publishers, 1988.

HAINING, R. **Spatial data analysis in the social and environmental sciences.** Cambridge: Cambridge University, 1990.

HARRIS, W. V. **Termites: their recognition and control.** 2. ed. England: Longman Group, 1971.

HAVERTY, M. I.; NUTTING, W. L.; LAFAGE, J. P. Density of colonies and spacial distribution of foraging territories of the desert subterranean termite, *Heterotermes aureus* (Snyder). **Environmental Entomolog**, Tucson, v. 4, n. 1, p. 105-109, Jan. 1975.

HOLMGREN, N. Termitenstudien: II systematik der termiten: die familien mastotermitidae, protermitidae und mesotermitidae. **Kungliga Svenska Vetenskaps akademiens Skrifter i Naturskyddsarenden**, Stockholm, v. 6, n. 46, p. 1-88, 1911.

HUTCHINSON, G. E. Concluding remarks. **Cold Spring Harbor Symposium of Quantitative Biology**, New Haven, v. 22, p. 415-427, 1957.

JOUQUET, P.; TESSIER, D.; LEPAGE, M. The soil structural stability of termites of termite nests. The role of clays in *Macrotermes bellicosus* (Isoptera: Macrotermitinae) mound soils. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 40, p. 23-29, Jan. 2004.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics.** New York: Academic Press, 1978.

KEMP, P. B. The termites of North-Eastern Tanganyika: their distribution and biology. **Bulletin of Entomological Research**, Wallingford, v. 46, n. 2, p. 113-135, Apr. 1955.

KUNO, E. Sampling and analysis of insects populations. **Annual Review Entomology**, Palo Alto, v. 36, p. 285-304, Jan. 1991.

LAN, G. et al. Spatial distribution and interspecific associations of tree species in a Tropical Seasonal Rain Forest of China. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 7, n. 9, p. 1-9, Sept. 2012.

LASMAR, O. **Amostragem de sauveiros (Hymenoptera: Formicidae) em eucaliptais, pelos metodos geoestatistico e de função de densidade de probabilidade**. 2012. 61 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

LEE, K. E.; WOOD, T. G. **Termites and soils**. New York: Academic Press, 1971.

LEPAGE, M.; DARLINGTON, J. P. E. C. Population dynamics of termites. In: ABE, T.; BIGNELL, D. E.; HIGASHI, M. **Termites: evolution, sociality, symbioses, ecology**. Kluwer: Academic Publishers, 2000. p. 333-361.

LIMA, S. S. **Pastagens no cerrado e a relação com os térmitas construtores de ninhos Epígeos**. 2012. 52 p. Tese (Doutorado em Ciência do solo) – Universidade Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

LOGAN, J. W. M.; COWIE, R. H.; WOOD, T. G. Termite (Isoptera) control in agriculture and forestry by nonchemical methods: a review. **Bulletin of Entomological Research**, Wallingford, v. 80, n. 3, p. 309-313, Sept. 1990.

MALTAIS, P. M.; NUCKLE, J. R.; LEBLANC, P. V. Economic threshold for tree lepidopterous larval pests of fresh-market cabbage in southeastern New Brunswick. **Journal of Economic Entomology**, Canada, v. 91, n. 3, p. 699-707, June 1998.

MARICONI, F. A. M. **Inseticidas e seu emprego no combate à praga: volume 2**. São Paulo: Nobel, 1981.

MARTIUS, C. Occurrence, body mass and biomass of *Syntermes* spp. (Isoptera: Termitidae) in reserva Duck, Central Amazonia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 28, n. 3, p. 319-324, jun. 1998.

MARTIUS, C.; WELLER, M. Observations on dynamics of foraging hole construction of two leaf-feeding, soil-inhabiting *Syntermes* species (Isoptera: Termitidae) in an amazonian rain forest, Brazil. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 28, n. 3, p. 325-330, June 1998.

MATHEWS, A.G. A. **Studies on termites from the Mato Grosso State, Brazil**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1977.

MELLO, J. M. et al. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 69, p. 25-37, 2005.

MENDONÇA, L. A. **Geoestatística na amostragem sequencial de formigas cortadeiras em eucaliptais na região de Mata Atlântica**. 2008. 52 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MOLLER, J.; WAAGEPETERSEN, R. **Statistical inference and simulation for spatial point processes**. New York: Chapman and Hall, 2003.

NAIR, K. S. S.; VARMA, R. V. Some ecological aspects of the termite problem in young eucalypts plantations in Kerala, India. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 12, n. 3, p. 287-303, Oct. 1985.

NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; ZUCCHI, R. A. **Entomologia econômica**. São Paulo: Livroceres, 1981.

NELDER, J. A.; LEE, Y. Letteres to the edition: joint modeling of mean and dispersion. **Technometrics**, Washington, v. 40, n. 2, p. 168-171, 1998.

NOIROT, C. The nests of termites. In: KRISHNA, K.; WEESNER, F. **Biology of termites**: volume 2. New York: Academic Press, 1970. p. 73-125.

NOIROT, C.; DARLINGTON, J. P. E. C. Termite nests: architecture, regulation and defense. In: ABE, T.; BIGNELL, D. E.; HIGASHI, M. **Termites**: evolution, sociality, symbioses, ecology. New York: Academic Publishers, 2000. p. 121-139.

NUTTING, W. L. Flight and colony foundation. In: KRISHNA, K.; WEESNER, F. M. **Biology of termites**: volume 1. New York: Academic Press, 1969.

OLIVEIRA, M. I. L. de. et al. Incidence of epigeal nest-building termites in Brachiaria pastures in the Cerrado. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 181-185, July 2011.

PEDIGO, L. P.; HUTCHINS, S. H.; HIGLEY, L. G. Economic injury levels in theory and practice. **Annual Reviews of Entomology**, Ames, v. 31, p. 341-368, 1986.

PEDIGO, L. P.; HIGLEY, L. G. Introduction to pest management and thresholds. In: PEDIGO, L.P.; HIGLEY, L.G. **Economic thresholds for integrated pest management**. Lincoln: University of Nebraska Press, 1996. p. 3-9.

PENTEADO, S. R.; OLIVEIRA, E. B.; IEDE, E. T. Aplicação da amostragem sequencial para monitoramento dos níveis de ataque de *Sirex noctilio* em povoamentos de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Colombo, v. 1, n. 11, p. 1-17, out. 2002.

PERES FILHO, O. et al. Distribuição espacial de cupinzeiros de *Cornitermes snyderi* (Isoptera: Termitidae) e sua associação com teca. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Viçosa, v. 32, n. 70, p. 175-181, abr./jun. 2012.

PETERSON, R. K. D. The status of economic-injury-level development. In: PEDIGO, L. P.; HIGLEY, L.G. **Economic thresholds for integrated pest management**. Lincoln: University of Nebraska Press, 1996. p. 151-178.

PETERSON, R. K. D.; HUNT, T. E. The probabilistic economic injury level: incorporating uncertainty into pest management decision-making. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 96, n. 3, p. 536-542, Dec. 2003.

PLANT, R. E. Uncertainty and the economic threshold. **Journal of Economic Entomology**, Lanham, v. 79, n. 1, p. 1-6, 1986.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: Foundation for Statistical Computing, 2005.

RABINOVICH, J. E. **Introducción a la ecología de poblaciones animales**. México: Continental, 1980.

RAETANO, C. G.; WILCKEN, C. F. Controle preventivo de cupins subterrâneos (Isoptera) em plantios de eucalipto com o inseticida fipronil. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 15., 1995, Caxambu. **Resumos...** Lavras: UFLA, 1995. p. 546.

REAY-JONES, F. P. F. Spatial and temporal patterns of stink bugs (Hemiptera: Pentatomidae) in wheat. **Environmental Entomology**, College Park, v. 39, n. 3, p. 944-955, June 2010.

RIBEIRO JUNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. GeoR: a package for geostatistical analysis. **R News**, Lancaster, v. 1-2, p. 15-18, June 2001.

RICKFELS, R. E. **A economia da natureza**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003.

SALES, L. G. Relação entre a ocorrência de cupinzeiros e as plantas cultivadas no sítio Betânia, Caucaia, CE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOLOGIA, 12., Campinas. **Resumos...** Campinas: SBZ, 1985. p. 82-83.

SANDS, W. A. Termite distribution in man-modified habitats in West Africa, with special reference to species segregation in the genus *Trinervitermes* (Isoptera, Termitidae, Nasutitermitinae). **Journal of Animal Ecology**, Oxford, v. 34, n. 3, p. 557-571, Oct. 1965.

SANTOS, A. **Amostragem de cupins subterrâneos em plantios de eucalipto e persistência de resíduos de fipronil em substrato de mudas e na calda inseticida**. 2008. 45 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

SANTOS, A. et al. Subterranean termites (Insecta: Isoptera) sampled in sandy and sandy-clay soils at Minas Gerais Cerrado, Brazil. **Sociobiology**, Chico, v. 57, n. 3, p. 633-641, 2011.

SANTOS, A. **Mortality estimation of seedlings and sampling subterranean termites in *eucalyptus* plantations**. 2012. 72 p. Tese (Doutorado em Entomologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

SIQUEIRA, M. G.; KITAYAMA, K. Nota sobre a densidade de cornitermes cumulans (kollar) - termitidae, isoptera, em áreas natural e alterada, no Distrito Federal, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 8., 1983, Brasília. **Resumos...** Brasília: Sociedade Entomologica do Brasil, 1983. p. 41.

SOUZA, O. F. F. de. **Diversidade de térmitas (Insecta: Isoptera) e sua relação com a fragmentação de ecossistemas na Amazônia Central**. 1989. 85 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1989.

STERN, V. M. et al. The integrated control concept. **A Journal of Agricultural Science**, California, v. 29, n. 2, p. 81-101, Oct. 1959.

STONE, J. D.; PEDIGO, L. P. Development and economic-injury level of the green cloverworm on soybean in Iowa. **Journal of Economic Entomology**, Iowa, v. 65, n. 1, p. 197-201, Feb. 1972.

TILLMAN, P. G. et al. Spatiotemporal patterns and dispersal of stink bugs (Heteroptera: Pentatomidae) in Peanut-Cotton farmscapes. **Environmental Entomology**, College Park, v. 38, n. 4, p. 1038-1052, Aug. 2009.

TRANIELLO, J. F. A.; LEUTHOLD, R. H. Behavior and ecology of foraging in termites. In: ABE, T.; BIGNELL, D. E.; HIGASHI, M. **Termites: evolution, sociality, symbioses, ecology**. Netherlands: Academic Publishers, 2000. p. 141-167.

VALÉRIO, J. R. et al. Controle químico e mecânico de cupins de montículo (Isoptera: Termitidae) em pastagens. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 125-132, jul. 1998.

WALKER, F. **List of specimens of neuropterous insects in the collection of the British Museum**. London: British Museum, 1853.

WARDELL, D. A. Control of termites in nurseries and young plantations in Africa: established practices and alternative courses of action. **Commonwealth Forest Review**, Oxford, v. 66, n. 1, p. 77-89, 1987.

WILCKEN, C. F. Danos de cupins subterrâneos *Cornitermes* sp. (Isoptera: Termitidae) em plantios de *Eucalyptus grandis* e controle com inseticidas no solo. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Jaboticabal, v. 21, n. 3, p. 329-338, 1992.

WILCKEN, C. F.; RAETANO, C. G.; FORTI, L. C. Termite pests in *eucalyptus* forests in Brasil. **Sociobiology**, Chico, v.40, n. 1, p. 179-190, 2002.

WILCKEN, C. F.; RAETANO, C. G. **Controle de cupins em florestas: alguns aspectos atuais da biologia e controle de cupins**. Piracicaba: Editora da FEALQ, 1995.

WOOD, T. G.; JOHNSON, R. A.; OHI AGU, C. E. Termite damage and crop loss studies in Nigeria: a review of termite (Isoptera) damage to maize and estimation of damage, loss in yield and termite (*Microtermes*) abundance at Mokwa. **Tropical Pest Management**, Basingstoke, v. 26, n. 3, p. 241-253, July 1980.

YOUNG, L. J.; YOUNG, J. H. **Statistical ecology: a population perspective**. Boston: Academic Publishers, 1998.

ZANETTI, R. et al. Estimation of wood volume losses by heartwood termites (Insecta: Isoptera) in *Eucalyptus* plantations in the Brazilian savannah. **Sociobiology**, Chico, v. 45, n. 3, p. 619-630, 2005a.

ZANETTI, R. et al. Level of economic damage for leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) in *Eucalyptus* plantations in Brazil. **Sociobiology**, Chico, v. 42, n. 2, p. 433-442, 2003.

ZANETTI, R. et al. Spatial distribution and sampling methodology of heartwood termite attacks (Isoptera Rhinotermitidae) in *Eucalyptus* spp. plantations in the Brazilian savannah. **Sociobiology**, Chico, v. 46, n. 2-3, p. 655-665, 2005b.