

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**BRUNO SÉRGIO OLIVEIRA E SILVA
Magister Scientiae**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS NUTRIENTES FOLIARES,
PRODUTIVIDADE E *Hypothenemus hampei* EM *Coffea canephora***

São Mateus – ES
Fevereiro de 2014

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS NUTRIENTES FOLIARES,
PRODUTIVIDADE E *Hypothenemus hampei* EM *Coffea canephora***

**BRUNO SÉRGIO OLIVEIRA E SILVA
Magister Scientiae**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Barreto da Silva

São Mateus – ES
Fevereiro de 2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

S586d Silva, Bruno Sérgio Oliveira e, 1988-
Distribuição Espacial dos Nutrientes Foliaves, Produtividade e
Hypothenemus hampei em *Coffea canephora* / Bruno Sérgio
Oliveira e Silva. – 2014.
85 f. : il.

Orientador: Marcelo Barreto da Silva.
Coorientadores: Ivoney Gontijo, Fabio Luiz Partelli.
Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) –
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário
Norte do Espírito Santo.

1. Geologia - Métodos estatísticos. 2. Broca-do-café. 3. Plantas –
Nutrição. 4. Café conilon. I. Silva, Marcelo Barreto da. II. Gontijo,
Ivoney. III. Partelli, Fábio Luiz. IV. Universidade Federal do
Espírito Santo. Centro Universitário Norte do Espírito Santo. V.
Título.

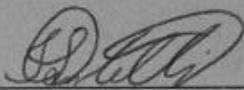
CDU: 63

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS NUTRIENTES FOLIARES, PRODUTIVIDADE E *HYPOTHENEMUS* *HAMPEI* EM *COFFEA CANEPHORA*

BRUNO SÉRGIO OLIVEIRA E SILVA

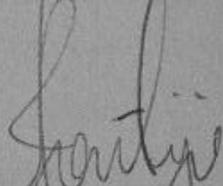
Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Aprovada em 24 de fevereiro de 2014.



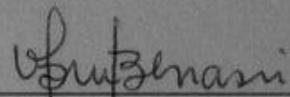
Fábio Luiz Partelli

Universidade Federal do Espírito Santo
(Co-Orientador)



Ivoney Gontijo

Universidade Federal do Espírito Santo
(Co-Orientador)



Sr^a. Vera Lucia Rodrigues Machado
Benassi
INCAPER
(Membro Externo)

A DEUS,
aos meus pais e irmã.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que é responsável por me conceder o maior dom de todos que é o de viver.

A minha mãe, minha protetora e maior exemplo de vida.

Ao meu pai e minha irmã, que são meu sangue e coração.

A minha família mineira e capixaba que foi e é meu suporte de todo dia.

A minha namorada, fonte de força, vontade e amor para eu chegar até aqui.

Aos meus irmãos de coração: Oziel, Tony e Paulão, pelas alegrias e histórias que dividimos juntos.

Aos meus grandes amigos: Seu Jarbas, Wander, Jeferson e Joel, pelo companheirismo e amizade.

Aos professores Marcelo Barreto que me recebeu de portas abertas, Ivoney Gontijo e Fábio Luiz Partelli por me auxiliarem na hora que mais precisei.

Aos meus colegas de mestrado e todo corpo docente do PPGAT, pelo suporte nos estudos.

Aos produtores José Bonomo e Eliseu Bonomo por toda estrutura disponibilizada para realizar o trabalho.

A UFES, CAPES, FAPES e CNPq pelo recurso do projeto, bolsa e estrutura para realização do trabalho.

A COOABRIEL, por acreditar no potencial e disponibilizar o tempo para o estudo.

Obrigado a todos!

"Entrega o teu caminho ao Senhor; confia nele, e ele tudo fará." Salmos 37:5

BIOGRAFIA

BRUNO SÉRGIO OLIVEIRA E SILVA, filho de Bruno Sérgio Silva e Angela Maria Oliveira e Silva, nasceu no dia 15 de setembro de 1988, em Belo Horizonte, MG. cursou o ensino primário até o ensino médio no Colégio Arquidiocesano de Belo Horizonte, agora, Santa Maria Pampulha. No ano de 2007 ingressou no curso de Agronomia na UFV, se formando em janeiro de 2012. Em março do mesmo ano, ingressou no curso de mestrado em Agricultura Tropical na Universidade Federal do Espírito Santo / CEUNES, em São Mateus, ES. Em 2013 ingressou no curso de especialização em Proteção de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa e no mesmo ano foi contratado como consultor técnico em café conilon pela COOABRIEL (Cooperativa Agrária dos Cafeicultores de São Gabriel da Palha). No início do mês de fevereiro concluiu a pós-graduação *latu sensu* na UFV e no dia 24 defendeu seu título de mestre em Agricultura tropical.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO GERAL..... 01

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 05

2. TRABALHOS 07

Capítulo 1 07

Distribuição espacial dos macronutrientes foliares e produtividade em *Coffea canephora*

Resumo 07

Abstract 08

Introdução 09

Material e Métodos 11

Resultados e Discussão 15

Conclusões 29

Referência Bibliográficas 30

Capítulo 2 33

Distribuição espacial dos micronutrientes foliares e produtividade em *Coffea canephora*

Resumo 33

Abstract 34

Introdução 35

Material e Métodos 37

Resultados e Discussão 42

Conclusões 52

Referências Bibliográficas 53

Capítulo 3	55
Distribuição espacial do ataque de <i>Hypothenemus hampei</i> (Ferrari, 1867) em <i>Coffea canephora</i>	
Resumo	55
Abstract	56
Introdução	57
Material e Métodos	59
Resultados e Discussão	63
Conclusões	69
Referências Bibliográficas	70
5. CONCLUSÕES GERAIS	73

RESUMO

SILVA, Bruno Sérgio Oliveira e; M.Sc; Universidade Federal do Espírito Santo; fevereiro 2014. **Distribuição Espacial dos Nutrientes Foliares, Produtividade e *Hypothenemus hampei* em *Coffea canephora***. Prof. Orientador: Marcelo Barreto da Silva.

O conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos elementos envolvidos na nutrição vegetal pode possibilitar a otimização das aplicações de fertilizantes, melhorando, dessa maneira o controle do sistema de produção das culturas, reduzindo os custos gerados pela alta aplicação de insumos. A broca do café é a praga mais importante do mundo para a cafeicultura. Apesar da broca atacar todas as espécies de café, *Coffea canephora*, variedade conilon, apresenta características mais favoráveis ao seu desenvolvimento. Objetivou-se no presente trabalho estudar o comportamento espacial dos macro e micronutrientes foliares, produtividade e da praga *Hypothenemus hampei* no cafeeiro conilon. Foi instalada uma malha irregular com 100 pontos, em cada ponto amostral, considerado por uma planta em uma lavoura de alta produtividade, localizada em São Mateus, Espírito Santo, durante as safras 2012 e 2013. Os resultados foram submetidos à análise inicial por meio da estatística descritiva, os dados foram também submetidos à análise geostatística, visando definir a variabilidade espacial dos teores de micronutrientes foliares e produtividade. A técnica geostatística demonstrou ser uma ferramenta importante no estudo da variabilidade espacial dos nutrientes foliares, produtividade e o comportamento da broca.

Palavras-chave: robusta, conilon, geostatística, broca-do-café, nutrição de plantas.

SPATIAL DISTRIBUTION OF LEAVES NUTRIENTS AND *Hypothenemus hampei* in *Coffea canephora*

ABSTRACT: The detailed knowledge of the spatial variability components involved in plant nutrition can enable the optimization of fertilizer applications improved thus the crop control yield system reducing the costs generated by high input application. The coffee berry borer is the most important pest of the coffee world. Although the berry borer attacks all coffee species but *Coffea canephora*, conilon variety has characteristics more favorable to their development. The objective of this work was study the spatial behavior of leaves nutrient content, yield and the *Hypothenemus hampei* behavior in conilon coffee. An irregular mesh with 100 points was installed at each sample point considered by a plant in a crop of high productivity located in São Mateus, Espírito Santo during the 2012 and 2013 harvest. The results were subjected to initial analysis by descriptive statistics and the data were also submitted to geostatistics analysis to define the spatial variability of leaves nutrients levels and yield. The geostatistics technique proved to be an important tool in the study of spatial variability of foliar nutrients, yield and berry borer behavior.

Keywords: robusta, conilon, geostatistics, coffe berry borer, plant nutrition.

1. INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil a área em produção de café tem decrescido. De 2007 a 2013, essa área apresentou um decréscimo de 6,29%, passando de 2,177 milhões de hectares em 2007, para 2,040 milhões de hectares em 2013. Por outro lado, o que se constata é que a produção de café nos últimos anos tem apresentado números crescentes. Para o ano-safra 2013/14, o Brasil deverá colher a maior safra para um ano de baixa produção: 48,59 milhões de sacas. Esse número ficou apenas 4,4% abaixo em relação ao que foi produzido no ano de 2012/13, que foi um ano de safra cheia (Conab, 2013).

O conilon continua sendo muito demandado pelas indústrias torrefadoras para compor os seus blends, e melhorarem, em contrapartida, as suas margens de comercialização. A safra de café conilon brasileira, no ano-safra 2012/13, segundo a Conab (2013), foi de 12,482 milhões de sacas, sendo, cerca de 73% do total, produzido pelo Espírito Santo. Naquele mesmo ano/safra, os embarques de conilon ao exterior, segundo o Conselho dos Exportadores de Café do Brasil (Cecafe), foram de 1,202 milhão de sacas. Portanto, ficou no mercado doméstico um total de 11,280 milhões de sacas de conilon para serem consumidas. Se for levado em consideração que o consumo total de café no Brasil, em 2012 foi de 19,0 milhões de sacas, chega-se a conclusão que foram consumidas internamente 7,720 milhões de sacas de café arábica (Conab, 2013).

Além de a atividade cafeeira exercer importante papel na economia, também desempenha relevante função social, pois, de acordo com Waller (2007), estima-se que 25 milhões de agricultores no mundo dependem da cultura do café para sua subsistência. Devido à crescente demanda do produto no mercado, existe a necessidade de elevar a produtividade das lavouras e reduzir os custos de produção. A melhor maneira de alcançar essa meta é reduzindo os fatores técnicos

que limitam a produção, dentre eles pode-se citar: melhoramento genético, nutrição da planta, tratos culturais e manejo de doenças e pragas. Os principais problemas enfrentados pelos cafeicultores são: o alto custo dos insumos, mão-de-obra (Fnp, 2009), o ataque de pragas (Picanço et al., 2009) e das doenças (Zambolim, 2001) e as variações dos preços de comercialização (Fnp, 2009).

Apesar da expressividade da cultura do café na economia do Brasil, pouca importância tem sido dada ao estado nutricional do cafeeiro, considerando a análise química das folhas, prática essencial para recomendações de adubações mais equilibradas e economicamente mais ajustadas (Bataglia et al., 2004).

A análise química foliar vem sendo usada para detectar respostas de cafeeiros aos vários tipos de manejo, possibilitando interpretar, de maneira mais eficiente, as relações entre nutrientes na planta, e interferir no sistema, elevando as possibilidades de melhores resultados produtivos (Farnezi et al., 2010). Por meio da análise química dos tecidos vegetais é possível distinguir sintomas de deficiência nutricional e possibilitar sua correção, de forma a reduzir o seu impacto sobre a produtividade das culturas, por meio da aplicação foliar de fertilizantes que contenham os elementos minerais necessários ao reestabelecimento do equilíbrio das plantas (Taiz & Zeiger, 2004).

Segundo Rocha e Lamparelli (1998), a redução dos custos devido à aplicação excessiva de fertilizantes é possível de ser conhecida por meio do estudo detalhado da variabilidade espacial dos elementos envolvidos na nutrição de plantas. Para isso, na agricultura de precisão é importante a caracterização e a descrição da variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade das culturas, visando à correlação desses dados para auxiliar o manejo da adubação, sobretudo no que se refere à aplicação localizada e em taxas variáveis de fertilizantes (Vieira et al., 2010).

Além da utilidade na nutrição vegetal, a geoestatística permite fornecer o padrão de distribuição dos insetos e assim concentrar o trabalho de amostragem e manejo da praga nas regiões onde ela se apresenta em números que podem causar danos econômicos (Hedges & Lawton, 1983; Hassel, 1987; Barrigossi et al., 2001). A dinâmica espaço-temporal dos insetos em ecossistemas agrícolas é importante para o desenvolvimento de estratégias de manejo e redução do uso de pesticidas (Blackshaw & Vernon, 2006). Da mesma forma, pode proporcionar uma tomada de

decisão melhor embasada, pela maior quantidade de informações obtidas e, como consequência, realizar o controle somente nas áreas com infestação.

Considerando as novas tecnologias com potencial de serem utilizadas no manejo de pragas, a agricultura de precisão, através do georreferenciamento das populações, é uma ferramenta que pode ser usada tanto no monitoramento quanto no controle de insetos (Stürmer et al., 2011)

Para a modelagem da dependência espacial em estudos entomológicos com geoestatística é utilizada a função de semivariância, onde os semivariogramas constituem em modelos adequados para medir o padrão de distribuição espacial de insetos (Brenner et al.,1998; Barrigossi et al.,2001; Bacca et al.,2006; Fernandes et al.,2008).

O interesse pelo estudo dos micronutrientes em plantas tem aumentado em função dos recentes avanços alcançados pelas pesquisas que evidenciaram seu papel importante na resistência aos estresses e às doenças das plantas e, em extensão, dos animais (Welch, 1995). Devido à importância de se buscar o equilíbrio nutricional na planta, metodologias têm sido desenvolvidas para melhor compressão dos fatores que afetam a dinâmica dos nutrientes tanto na planta quanto no ambiente em que ela é cultivada.

A broca do café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Scolytidae) tem sido descrita como a praga mais importante da cafeicultura no mundo (Baker et al.,1993; Murphy & Moore, 1990). Este inseto causa perdas na produção e na qualidade do café ao infestar os frutos em desenvolvimento. Segundo Le Pelley (1968) os frutos, além de fornecerem condições para a procriação da broca, servem de proteção para o ataque de inimigos naturais e condições climáticas adversas. Esta praga, originária da África equatorial, foi introduzida acidentalmente no Brasil, provavelmente, em 1912 (Bergamin, 1943). Atualmente está presente em todas as regiões produtoras de café e em outros 53 países no mundo (Ico, 2002).

Apesar da broca atacar todas as espécies de café, *Coffea canephora*, variedade conilon, apresenta características mais favoráveis ao seu desenvolvimento, quando comparada com a espécie *Coffea arabica*, devido a uma maior desuniformidade de maturação, menor conteúdo de umidade dos grãos e por ser cultivada em regiões com baixas altitudes e temperaturas mais elevadas, o que

possibilita o desenvolvimento de um maior número de gerações do inseto durante o ano (Benassi, 2000).

Diante do elucidado, objetivou-se no presente trabalho estudar o comportamento espacial dos macro e micronutrientes foliares, produtividade e o ataque da praga *H. hampei* no cafeeiro conilon, sendo cada um dos assuntos abordados nos capítulos dessa dissertação.

REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL. **Anuário Agrícola Brasileiro**. São Paulo: Fnp Consultoria & Comércio, 2009. 496p.
- BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; SANTOS, W. R.; ABREU, M. F. Diagnose nutricional do cafeeiro pelo DRIS variando-se a constante de sensibilidade dos nutrientes de acordo com a intensidade e frequência de resposta na produção. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p.253-263, 2004.
- BAKER, P. S.; BARREIRA, J. F. A field study of a population of coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera; Scolytidae) in Chiapas, Mexico. **Tropical Agriculture**, v. 70, n. 4, p.351-355, 1993.
- BARRIGOSI, J. A. F.; YOUNG, L. J.; CRAWFORD, C. A. G.; HEIN, G. L.; HIGLEY, L. G. Spatial and probability distribution of Mexican bean beetle (Coleoptera: Coccinellidae) egg mass populations in dry bean. **Environmental Entomology**, v.30, n. 2, p.244-253, 2001.
- BENASSI, V. L. R. M. Aspectos biológicos da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Scolytidae), em *Coffea canephora*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉ DO BRASIL, 2000, Poços de Caldas. **Resumos...** Poços de Caldas: Embrapa, 2000. p.1181-1184.
- BERGAMIM, J. Contribuição para o conhecimento da biologia da broca-do-café *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) (Coleoptera: Ipidae). **Archives of the Institute of Biology**, v. 14, n. 6, p.31-72, 1943.
- BLACKSHAW, R. P.; VERNON, R. S. Spatio temporal stability of two beetle populations in non-farmed habitats in an agricultural landscape. **Journal of Applied Ecology**, v. 43, n. 4, p.680-689, 2006.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária, volume 1 - safra 2013/2014**. Brasília: Conab, 2013. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_09_13_14_55_32_perspectivas_da_agropecuaria_2013.pdf. Acesso em: 22 outubro 2013.
- FARNEZI, M. M. M. de; SILVA, E. B. de; GUIMARAES, P. T. G.; PINTO, N. A. V. D. Levantamento da qualidade da bebida do café e avaliação do estado nutricional dos cafeeiros do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, através do DRIS. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n. 5, p.1191-1198, 2010.
- ICO, International Coffee Organization. **Trade statistics**. Disponível em: http://www.ico.org/trade_statistics.asp. Acesso: 03 agosto 2013.
- LE PELLEY, R.H. **Las plagas del cafeto**. Barcelona: Editorial Labor S.A., 1968. 93p.
- MURPHY, S. T.; MOORE, D. Biological control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae): previous programmes and possibilities for the future. **Biocontrol News and Information**, v.11, n. 2, p.107-117, 1990.

STÜRMER, G. R.; GUEDES, J. V. C.; CARGNELUTTI FILHO, A.; SANTOS, G. O. dos, STEFANELO, L. S. da, BOSCHETTI, M.; TOMAZI, B. Distribuição espacial e temporal de percevejos na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em Santa Maria. SIMPOSIO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 2011, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria:SEPE, 2011. p.1-7.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

VIEIRA, S. R.; GUEDES FILHO, O.; CHIBA, M. K.; MELLIS, E. V.; DECHEN, S. C. F.; MARIA, I. C. de. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um latossolo vermelho. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n. 5, p.1503-1514, 2010.

WALLER, J. M; BIGGER, M.; HILLOCK, R. A. **Coffee Pests Disease and their Management**. CABI: UK, 2007. 450p.

WELCH, R. M. Micronutrient nutrition of plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.14, n.1, p.49-82, 1995.

ZAMBOLIM, L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2001. 646p.

2. TRABALHOS

CAPÍTULO 1

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS MACRONUTRIENTES FOLIARES E PRODUTIVIDADE EM *Coffea canephora*

RESUMO: O conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos elementos envolvidos na nutrição vegetal pode possibilitar a otimização das aplicações de fertilizantes, melhorando, dessa maneira o controle do sistema de produção das culturas, reduzindo os custos gerados pela alta aplicação de insumos. Diante do exposto, o presente trabalho foi conduzido com o objetivo de analisar a variabilidade espacial dos macronutrientes foliares em plantas de *Coffea canephora*, utilizando a geoestatística. Foi instalada uma malha irregular com 100 pontos em uma lavoura de alta produtividade, localizada em São Mateus, Espírito Santo, durante as safras 2012 e 2013. Em cada ponto amostral, considerado por uma planta, foram coletados 20 pares de folhas no terço médio superior da planta, compondo uma amostra, nestes mesmos pontos foram colhidos todos os frutos e estimada a produtividade. Os resultados foram submetidos à análise por meio da estatística descritiva, e submetidos à análise geoestatística, visando definir a variabilidade espacial dos teores de macronutrientes foliares e da produtividade. Os macronutrientes foliares: P e Ca em 2012 e Mg em 2013 apresentaram forte dependência espacial. O N e K em ambos os anos, Mg em 2012 e a produtividade em 2013 apresentaram estrutura dependência espacial moderada, o que permitiu evidenciar a variabilidade nutricional entre as plantas. O modelo esférico foi o que melhor ajuste às variáveis estudadas. A produtividade foi limitada pela variabilidade espacial dos teores dos nutrientes na área, principalmente pelos elementos: K, Ca e Mg.

Palavras-chave: nutrição de plantas, geoestatística, café conilon, equilíbrio nutricional.

SPATIAL DISTRIBUTION OF LEAF MACRONUTRIENTS AND YIELD IN *Coffea canephora*

ABSTRACT: The detailed knowledge of the spatial variability components involved in plant nutrition can enable the optimization of fertilizer applications improved thus the crop control yield system reducing the costs generated by high input application. The present study was conducted to analyze the spatial variability of *Coffea canephora* leaves macronutrients using geostatistics. An irregular mesh with 100 points was installed in high yield crop located in São Mateus, Espírito Santo, during the 2012 and 2013 harvest. At each sample point considered by a plant 20 pairs of leaves were collected in the upper middle third plant comprising a sample. These same points were reaped and estimated crop yield. The results were analyzed using descriptive statistics and geostatistics analysis to define the spatial variability of the leaves macronutrients levels and yield. The macronutrient P and Ca in 2012 and Mg in 2013 showed a strong spatial dependence. N and K in both years, and Mg 2012 and yield in 2013 showed moderate spatial dependence structure which has highlighted the nutritional variability between plants. The spherical model was the best fit to the variables studied. The yield was limited by spatial variability of nutrient content in the area, especially the elements: K, Ca and Mg.

Keywords: plant nutrition, geostatistics, conilon coffee, nutritional equilibrium.

INTRODUÇÃO

O conilon continua sendo muito demandado pelas indústrias torrefadoras para compor os seus blends, e melhorarem, em contrapartida, as suas margens de comercialização. O caso concreto é que a safra de café conilon brasileira, no ano-safra 2012/13, segundo a Conab (2013), foi de 12,482 milhões de sacas, sendo cerca de 73% do total, produzido pelo Espírito Santo.

Apesar da expressividade da cultura do café na economia do Brasil, pouca importância tem sido dada ao estado nutricional do cafeeiro, considerando a análise química das folhas, prática essencial para recomendações de adubações mais equilibradas e economicamente mais ajustadas (Bataglia et al., 2004). Por meio da análise química dos tecidos vegetais é possível distinguir sintomas de deficiência nutricional e possibilitar sua correção, de forma a reduzir o seu impacto sobre a produtividade das culturas, por meio da aplicação foliar de fertilizantes que contenham os elementos minerais necessários ao reestabelecimento do equilíbrio das plantas (Taiz & Zeiger, 2004).

Segundo Rocha e Lamparelli (1998), a redução dos custos devido à aplicação excessiva de fertilizantes é possível de ser conhecida por meio do estudo detalhado da variabilidade espacial dos elementos envolvidos na nutrição de plantas. Para isso, na agricultura de precisão é importante a caracterização e a descrição da variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade das culturas, visando à correlação desses dados para auxiliar o manejo da adubação, sobretudo no que se refere à aplicação localizada e em taxas variáveis de fertilizantes (Vieira et al., 2010).

Atualmente, a geoestatística é uma técnica usada para analisar e inferir valores de uma variável distribuída no espaço e/ou no tempo. Esses valores são implicitamente assumidos ser correlacionados com outros, e o estudo de correlação

é denominada de análise estrutural ou modelagem do variograma. Resumidamente, os passos num estudo empregando técnicas geoestatísticas incluem: (a) análise exploratória dos dados, (b) análise estrutural (cálculo e modelagem do variograma) e (c) realização de inferências (Krigagem ou Simulação)(Figueiredo et al., 2011).

O estudo da distribuição espacial dos nutrientes na planta pode ajudar a entender melhor os fatores que podem influenciar na variabilidade da produção na lavoura. Há três pontos importantes a serem avaliados: a uniformidade da distribuição dos nutrientes na lavoura, fatores do solo que podem influenciar na absorção dos nutrientes e até a capacidade diferenciada das plantas em absorver os nutrientes fornecidos, levando em consideração que a aplicação dos fertilizantes é feita de maneira homogênea na área.

Diante do exposto, o presente trabalho foi conduzido com o objetivo de analisar a distribuição espacial dos macronutrientes foliares de plantas de *Coffea canephora* em dois anos agrícolas, utilizando a geoestatística, bem como sua correlação com a produtividade da lavoura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado o período de janeiro/2012 a agosto/2013, no distrito de Nestor Gomes Rodovia ES 381, Km 28 no município de São Mateus, Norte do Estado do Espírito Santo (Figura 1.). As coordenadas geográficas estão situadas latitude $18^{\circ} 43' S$, longitude $40^{\circ} 30' W$ com altitude média de 82 metros.

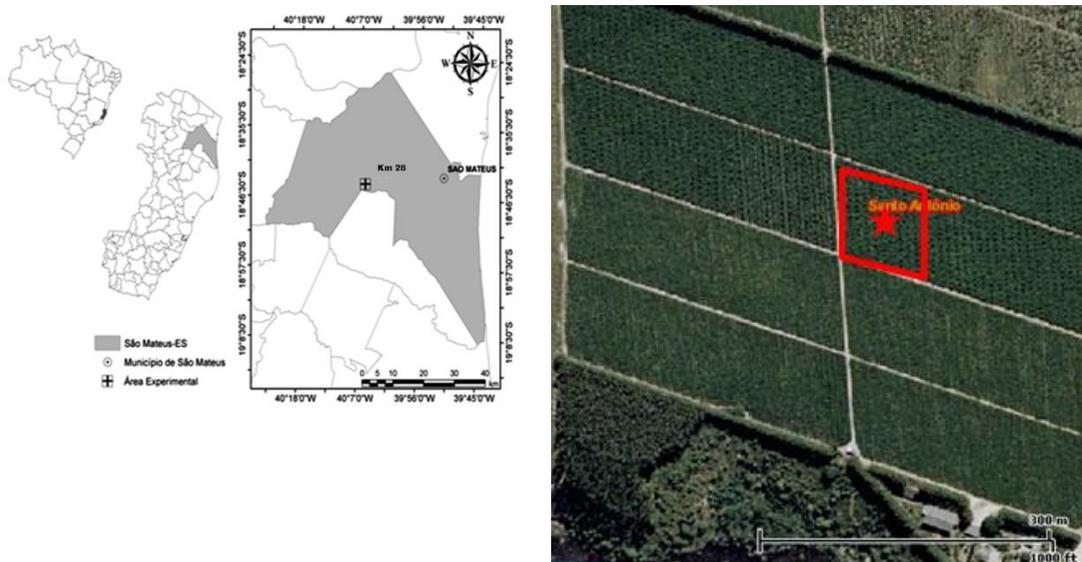


Figura 1 - Localização e vista por satélite da área experimental. Fonte: Geobases, (2008).

A área experimental possui 1,0 hectare com o cultivo de café conilon (*Coffea canephora*). O genótipo utilizado foi o Bamburral. A lavoura foi instalada em março de 2010, com espaçamento $3,0 \times 1,0$ m (3.333 plantas ha^{-1}), sob o sistema de irrigação por microaspersão. O clima da região é quente e úmido (tipo Aw de Köppen), com estação seca no outono-inverno e estação chuvosa na primavera-verão.

Na implantação da lavoura foi realizada a correção do solo e a adubação de solo baseadas na análise de solo, conforme as Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes no Estado do Espírito Santo (Prezotti et al., 2007), com aplicação de 170 kg ha^{-1} de P_2O_5 e de 1 tonelada ha^{-1} de calcário incorporado no sulco de plantio.

A adubação de produção seguiu as mesmas normas citadas, os nutrientes foram aplicados via sistema de fertirrigação com aplicação mensal do fertilizante e fornecimento anual de 480 kg ha^{-1} de N, 75 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 480 kg ha^{-1} de K_2O .

Em maio de 2012, foi instalada uma malha irregular de 10.000 m^2 com 100 pontos, com distância mínima de 1 m (Figura 2). Para georreferenciamento dos pontos, foi utilizado um par de receptores GPS TechGeo®, modelo GTR G2 geodésico. Os dados, após serem processados pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do IBGE, apresentaram precisão de $10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$. Os dados meteorológicos foram obtidos da estação 83550 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Figura 3).

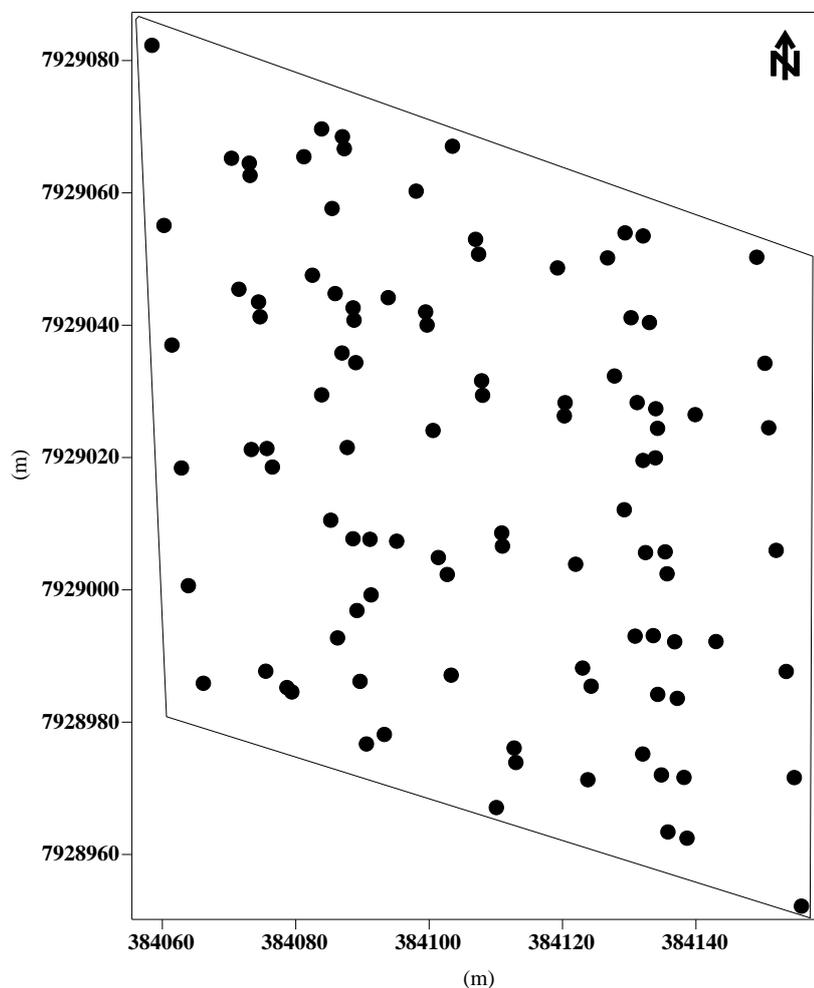


Figura 2 - Malha amostral com 100 pontos, elaborada para amostragem dos frutos de café. Cada ponto representando uma planta de *Coffea canephora*.

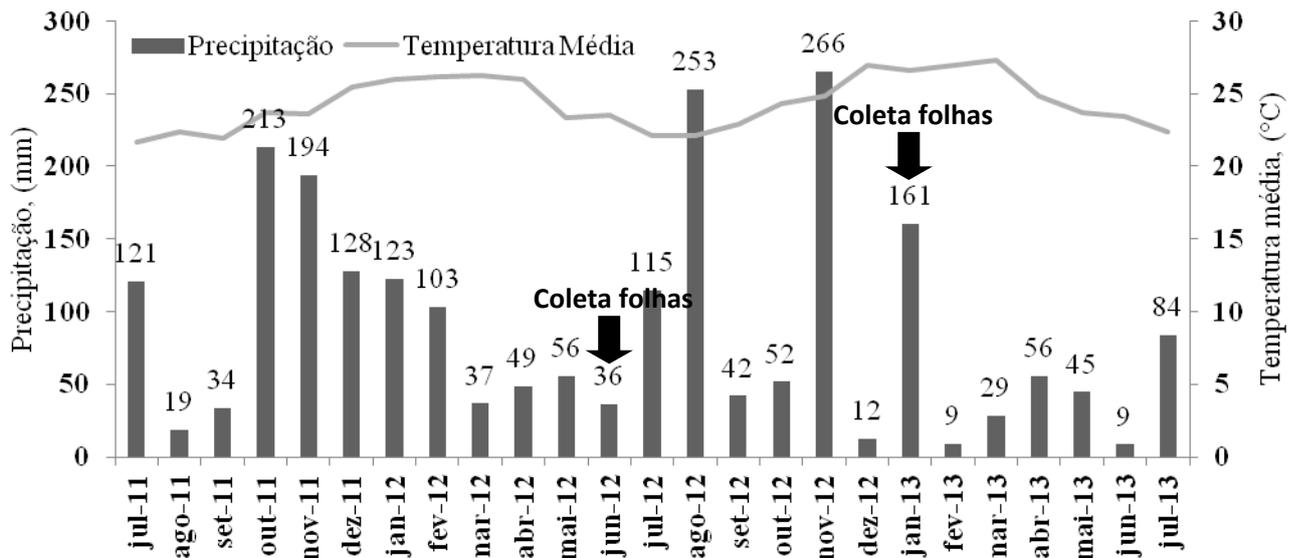


Figura 3 - Temperatura média e precipitação pluviométrica acumulada dos anos de 2011 a 2013 no Município de São Mateus - ES.

Em cada ponto amostral, considerado por uma planta, foram coletados 20 pares de folhas no terço médio superior da planta, compondo uma amostra. As amostras foram coletadas em junho de 2012 e janeiro de 2013. As análises de tecido foliar foram realizadas no FULLIN - Laboratório de Análise Agronômica, Ambiental e Preparo de Soluções Químicas – Linhares, ES. O N foi extraído por digestão sulfúrica com determinação titulométrica, para o P, K, Ca, Mg e S. Os elementos totais foram realizados com base na matéria seca, conforme metodologia preconizada pela ESALQ/USP.

Os resultados foram submetidos à análise inicial por meio da estatística descritiva e exploratória, considerando: média aritmética, variância amostral, desvio-padrão, coeficiente de variação, valores máximo e mínimo, coeficiente de assimetria e de curtose e o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade. A análise exploratória dos valores permitiu a verificação de candidatos a valores discrepantes (*outliers*) e sua influência sobre as medidas de posição e dispersão.

Utilizou-se o cálculo dos quartis da distribuição dos valores dos atributos estudados para identificação de dados discrepantes, com base na amplitude interquartílica (A_i), utilizando os critérios dos limites inferior (L_i) e superior (L_s), conforme realizado por Oliveira (2007) (Equações 1, 2 e 3).

$$A_i = Q_3 - Q_1 \quad \text{Equação 1}$$

$$L_s = Q_3 + (1,5 \cdot A_i) \quad \text{Equação 2}$$

$$L_i = Q_1 - (1,5 \cdot A_i) \quad \text{Equação 3}$$

em que: A_i = Amplitude interquartílica; L_s = Limite superior; L_i = Limite inferior; Q_3 = terceiro quartil ; e Q_1 = primeiro quartil.

Nas ocasiões de ocorrência de dados discrepantes, fez-se a avaliação para uma possível substituição ou descarte dos mesmos, para aplicar novamente os procedimentos descritos anteriormente sem as observações com valores extremos. A decisão de exclusão ou não desses valores do conjunto de dados, seguiu o rigor de confrontar e verificar a interferência dos candidatos a dados influentes sobre a resposta final do ajuste.

Realizou-se, também, a análise de correlação de Pearson, de forma a verificar a relação entre os macronutrientes foliares e a produtividade nos dois anos.

Os dados foram também submetidos à análise geoestatística, visando definir a variabilidade espacial dos teores de macronutrientes foliares, primeiramente através dos semivariogramas e em seguida pelo mapeamento dos teores de macronutrientes foliares no café conilon.

A classificação para interpretação de resultados das análises foliares (Tabela 1 e Tabela 2), segundo Gomes & Partelli (2013) para o estado do Espírito Santo, foi utilizada visando à confecção de mapas de variabilidade espacial baseados nas faixas estabelecidas por esses autores.

Tabela 1. Faixa de suficiência dos teores de macronutrientes para lavoura de *Coffea canephora* no pré-florada (inverno) para a região norte do estado do Espírito Santo. Adaptado de Gomes & Partelli (2013).

Nutriente	Nível Baixo	Nível Adequado		Nível Alto
		g kg ⁻¹		
N	< 23,1	23,1 - 28,7		> 28,7
P	< 1,0	1,0 - 1,4		> 1,4
K	< 9,9	9,9 – 14,9		> 14,9
Ca	< 15,2	15,2 – 26,5		> 26,5
Mg	< 2,6	2,6 - 4,7		> 4,7
S	< 1,0	1,0 - 1,7		> 1,7

Tabela 2. Faixa de suficiência dos teores de macronutrientes para lavoura de *Coffea canephora* em granação (verão) para a região norte do estado do Espírito Santo. Adaptado de Gomes & Partelli (2013).

Nutriente	Nível Baixo	Nível Adequado		Nível Alto
		g kg ⁻¹		
N	< 25,2	25,2 - 30,1		> 30,1
P	< 1,1	1,1 - 1,5		> 1,5
K	< 13,0	13,0 - 18,8		> 18,8
Ca	< 13,8	13,8 - 22,6		> 22,6
Mg	< 2,5	2,5 - 4,1		> 4,1
S	< 1,1	1,1 - 1,9		> 1,9

A análise da dependência espacial foi realizada com auxílio do software GS+ Versão 7® (Robertson, 1998), que realiza os cálculos das semivariâncias amostrais. O padrão de dependência espacial dos teores de macronutrientes foliares foi analisado pelo estudo do variograma. As avaliações de campo foram consideradas uma função aleatória $Z(x)$ onde (x) indica a posição espacial (Equação 4).

$$\gamma(h) = \frac{\sum_{i=1}^{n(h)} [(Z(x_i+h) - Z(x_i))^2]}{2N(h)} \quad \text{Equação 4}$$

Em que: (h) é a distância, $\gamma(h)$ é a semivariância estimada, $N(h)$ é o número de pares de dados observados $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$, onde essa função teórica ajusta-se aos valores experimentais para representar as relações espaciais entre os dados. No presente trabalho utilizaram-se os modelos esférico e exponencial como modelos teóricos que melhor se ajustaram aos variogramas experimentais.

Para validar o modelo teórico ajustado ao variograma experimental, foi utilizado o método da validação cruzada que consiste na avaliação do coeficiente de correlação entre os valores observados e estimados, onde o erro padrão de estimação avalia quantitativamente o ajuste do variograma e os erros decorrentes.

O índice de dependência espacial (IDE) foi calculado de acordo com Zimback (2001) que descreveu como dependência espacial fraca o índice menor que 25%, dependência espacial moderada de 25 a 75% e dependência espacial forte o índice maior que 75% (Equação 5).

$$\text{IDE} = \frac{C}{C_0 + C} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

Em que: C é a variância estrutural ou a diferença entre o C_0 e o patamar (C_0+C) é o valor de variância correspondente ao ponto em que o mesmo estabiliza.

A partir dos semivariogramas ajustados, foi utilizado o programa computacional Surfer (Golden Software, 1999) na interpolação por krigagem, gerando mapas de variabilidade espacial das variáveis na área estudada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise exploratória, identificou-se a presença de valores discrepantes “*outliers*” no conjunto de dados de teor de macronutrientes foliares e produtividade do café conilon, além de sua influência sobre as medidas de posição e dispersão, procedendo-se, à retirada dos mesmos após uma avaliação crítica dos valores nos pontos amostrais.

Os coeficientes de assimetria e curtose próximos de zero para os macronutrientes e produtividade e a proximidade dos valores de média e mediana, que são valores das medidas de tendência central, indicando distribuição simétrica (Tabela 3).

A produtividade em ambos os anos e os macronutrientes apresentaram distribuição normal, à exceção do enxofre em 2013. De acordo com o trabalho de Cressie (1991), nos estudos que utilizam técnicas da geoestatística a normalidade dos dados não é uma exigência, sendo necessário que no gráfico de distribuição normal, o atributo não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as análises. Mais importante que a normalidade dos dados é a ocorrência ou não do chamado efeito proporcional, em que a média e a variabilidade dos dados sejam constantes na área em estudo, ou seja, ocorre a estacionaridade necessária ao uso da geoestatística (Isaaks & Srivastava, 1989).

Tabela 3. Estatística descritiva dos teores dos macronutrientes e produtividade no ano de 2012 e 2013 em *Coffea canephora*.

Atributo		n	Estatística									
			Média	Mediana	DP	VA	Mínimo	Máximo	CV (%)	Ass.	Curt.	KS
N ¹	2012	97	26,6	29,9	2,6	7,1	20,1	31,7	10,1	-0,30	-0,46	ns
	2013	100	31,3	31,2	2,1	4,5	26,7	37,2	7,0	0,40	0,11	ns
P ¹	2012	92	1,5	1,5	0,2	0,05	1,0	2,1	14,1	0,38	-0,28	ns
	2013	100	1,4	1,4	0,1	0,02	1,0	1,8	10,8	0,06	-0,02	ns
K ¹	2012	100	17,9	17,5	2,7	7,3	11,9	24,4	15,2	0,14	-0,44	ns
	2013	98	15,2	15,0	1,8	3,2	11,3	21,9	11,9	0,43	0,88	ns
Ca ¹	2012	89	31,1	30,8	3,5	22,2	21,4	44,0	15,2	0,47	0,03	ns
	2013	98	21,0	21,2	2,8	8,2	12,6	27,7	13,7	-0,27	0,24	ns
Mg ¹	2012	100	4,5	4,4	0,6	0,4	2,7	6,2	14,5	0,06	0,31	ns
	2013	100	4,2	4,2	0,5	0,3	2,6	6,7	13,1	0,75	3,45	ns
S ¹	2012	99	1,5	1,5	0,2	0,0	1,0	1,9	14,1	-0,20	-0,30	ns
	2013	87	1,8	1,8	0,3	0,1	1,2	2,7	18,4	0,57	-0,35	*
Prod. ²	2012	80	126,7	119,0	46,8	2190	49,6	248,0	36,9	0,45	-0,06	ns
	2013	85	91,9	89,3	31,2	1604	19,8	238,0	36,8	1,09	2,52	ns

¹N, P, K, Ca, Mg e S em g kg⁻¹. ²Prod.: produtividade em sc ha⁻¹. n: número de amostras analisadas. DP: desvio - padrão; VA: variância; CV: coeficiente de variação; Ass.: coeficiente de assimetria; Curt.: coeficiente de curtose; KS: * distribuição não normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov, a 5% de probabilidade; ns: distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov, a 5% de probabilidade. n: número de pontos que constituíram a média.

Com exceção do N, P e K em 2013, todos os macronutrientes e a produtividade estudados apresentaram coeficiente de variação média de acordo com a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980) que relacionaram vários parâmetros físicos do solo em termos de baixa (CV < 12%), média (12 ≤ CV ≤ 52%) e alta (CV > 52%) variação (Tabela 3). Vieira et al. (2010) estudando a variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja encontraram resultados semelhantes.

Pelos valores médios dos teores de macronutrientes nas folhas, o estado nutricional das plantas pode ser classificado, segundo Gomes & Partelli (2013) em alto para os níveis de N e P em 2013, K e Ca em 2012, e Mg em 2013. Os níveis de N e Mg em 2012, P, K, Ca em 2013, e S nas duas épocas, estavam adequados para o cafeeiro conilon (Tabelas 1 e 2).

Comparando os valores de produtividades, o maior valor foi obtido em 2012, com média de 126,70 sacas beneficiadas por hectare, contra 91,94 sacas beneficiadas por hectare em 2013, uma redução de produtividade aproximada de 27% entre as safras. A redução da produtividade provavelmente está relacionada à redução da precipitação no período de granação do café (verão), que compreende o período de dezembro a março. No ano de 2012 a precipitação acumulada neste

período foi de 381 mm e em 2013 foi de 201 mm, 46% menor comparada ao ano anterior.

Com exceção do S nas duas épocas, P e Ca em 2013, todos elementos analisados e a produtividade, apresentaram estrutura de dependência espacial definida por semivariogramas ajustados aos modelos esférico, gaussiano e exponencial (Tabela 4 e Figura 4 e 5). Silva et al. (2009), estudando a variabilidade espacial da produtividade e teores de macronutrientes nas folhas de duas variedades de café arábica, observaram dependência espacial para todos os macronutrientes foliares estudados e para a produtividade. Oliveira et al. (2010), encontraram resultados semelhantes para os macronutrientes foliares ao estudar a variabilidade espacial do estado nutricional do *C. canephora* visando o manejo localizado.

Se o variograma for constante e igual ao patamar para qualquer valor de h , e não apresentar valor de alcance tem-se efeito pepita puro (E.P.P.). Neste caso, há ausência total de dependência espacial, ou se a dependência espacial existir ela será manifestada à distância menor do que o menor espaçamento entre amostras da

Os dados das concentrações foliares e produtividade que não se obteve ajuste de modelo, devido ao variograma que foi constante e igual ao patamar para qualquer valor de h e não apresentou valor de alcance, neste caso tem-se o efeito pepita puro, no qual as amostras não apresentam dependência espacial entre elas (Tabela 4). C é a variância estrutural ou a diferença entre o C_0 e o patamar (C_0+C), é o valor de variância correspondente ao ponto em que o mesmo estabiliza. Neste caso, a ausência total de dependência espacial, ou se a dependência espacial existir ela será manifestada à distância menor do que o menor espaçamento entre amostras da malha (Andriotti, 2003). Essa informação permite concluir que os dados estão completamente aleatórios, um ponto não tem correlação espacial com outro, os pontos são independentes e portanto a estatística clássica pode ser usada para estudar os mesmos.

Tabela 4. Parâmetros do modelo teórico ajustado ao variograma experimental, modelado por aproximação ponderada dos quadrados mínimos, para os teores dos macronutrientes foliares e produtividade em 2012 e 2013 e o resultado da validação cruzada da krigagem.

Parâmetros	Modelo	(C _o)	(C _o +C)	Alcance	IDE	R ²	SQR	r ²	
N	2012	Esf.	2,17	8,69	65,90	75	0,90	4,88	0,87
	2013	Esf.	1,19	4,28	11,00	72	0,83	0,99	0,68
P	2012	Esf.	0,01	0,05	42,60	81	0,93	1,31 10 ⁻⁴	0,93
	2013	E.P.P.	-	-	-	-	-	-	-
K	2012	Gaus.	3,91	7,30	46,80	46	0,85	2,33	0,93
	2013	Esf.	1,07	2,56	15,48	58	0,83	0,24	0,50
Ca	2012	Esf.	11,28	22,38	21,00	90	0,90	1,52	0,46
	2013	E.P.P.	-	-	-	-	-	-	-
Mg	2012	Exp.	0,22	0,45	35,70	52	0,85	6,33 10 ⁻³	0,77
	2013	Exp.	0,04	0,31	12,68	88	0,62	8,93 10 ⁻³	0,36
S	2012	E.P.P.	-	-	-	-	-	-	-
	2013	Esf.	0,06	0,13	87,80	53	0,91	5,08 10 ⁻⁴	1,06
Prod.	2012	E.P.P.	-	-	-	-	-	-	-
	2013	Exp.	566,00	1226	25,05	54	0,79	48114	0,60

Co: efeito pepita; C_o+C: patamar; IDE: índice de dependência espacial, em porcentagem; R²: coeficiente de determinação do modelo ajustado; SQR: soma de quadrados do resíduo; r²: coeficiente de determinação da validação cruzada; Esf.: modelo esférico; Exp.: modelo exponencial; Gaus.: modelo gaussiano; E.P.P. :efeito pepita puro; Prod.: produtividade. Alcance em metros.

Na análise espacial, o modelo de variograma que mais se ajustou aos dados foi o esférico, seguido pelo modelo exponencial e gaussiano. Os dados analisados revelam que no ano de 2012 os nutrientes apresentaram maior continuidade espacial do que no ano seguinte (Tabela 4 e Figura 4).

Os alcances dos modelos selecionados para os nutrientes em 2012 foram maiores que os observados em 2013, sendo o S em 2013 com maior alcance (87,8 m) e o N em 2013 o nutriente com o menor alcance (11 m). Silva et. al (2009) estudando a variabilidade espacial de macronutrientes foliares em café arábica encontraram o maior alcance para o N (73 m) confrontando com o valor obtido para a lavoura de *Coffea canephora* em 2013, mas aproximando do valor obtido para o mesmo nutriente em 2012 (65,9 m).

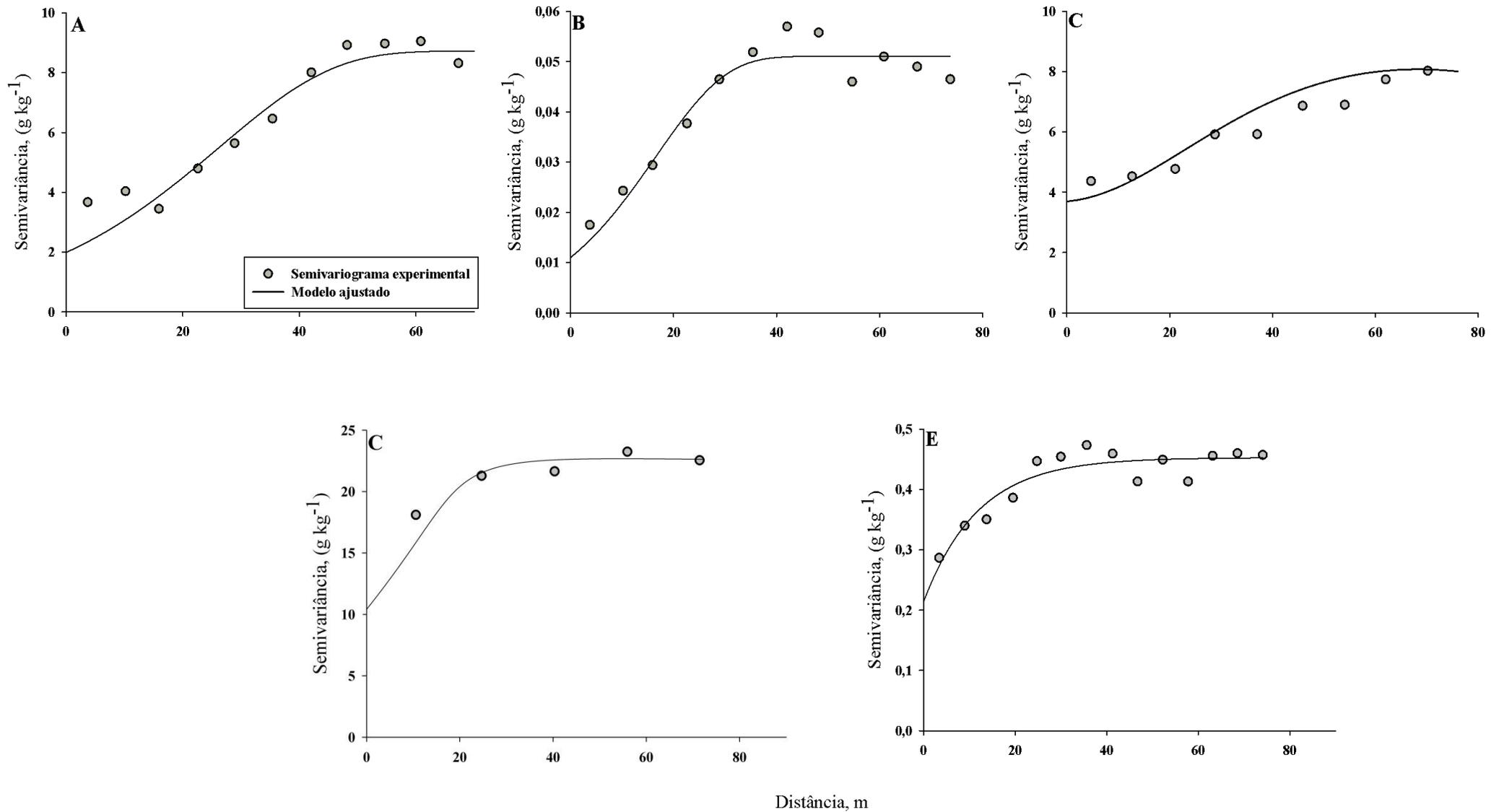


Figura 4. Semivariograma experimental ajustado para caracterizar a variabilidade espacial dos teores de macronutrientes foliares em 2012. A: Nitrogênio; B: Fósforo; C: Potássio; D: Cálcio; E: Magnésio.

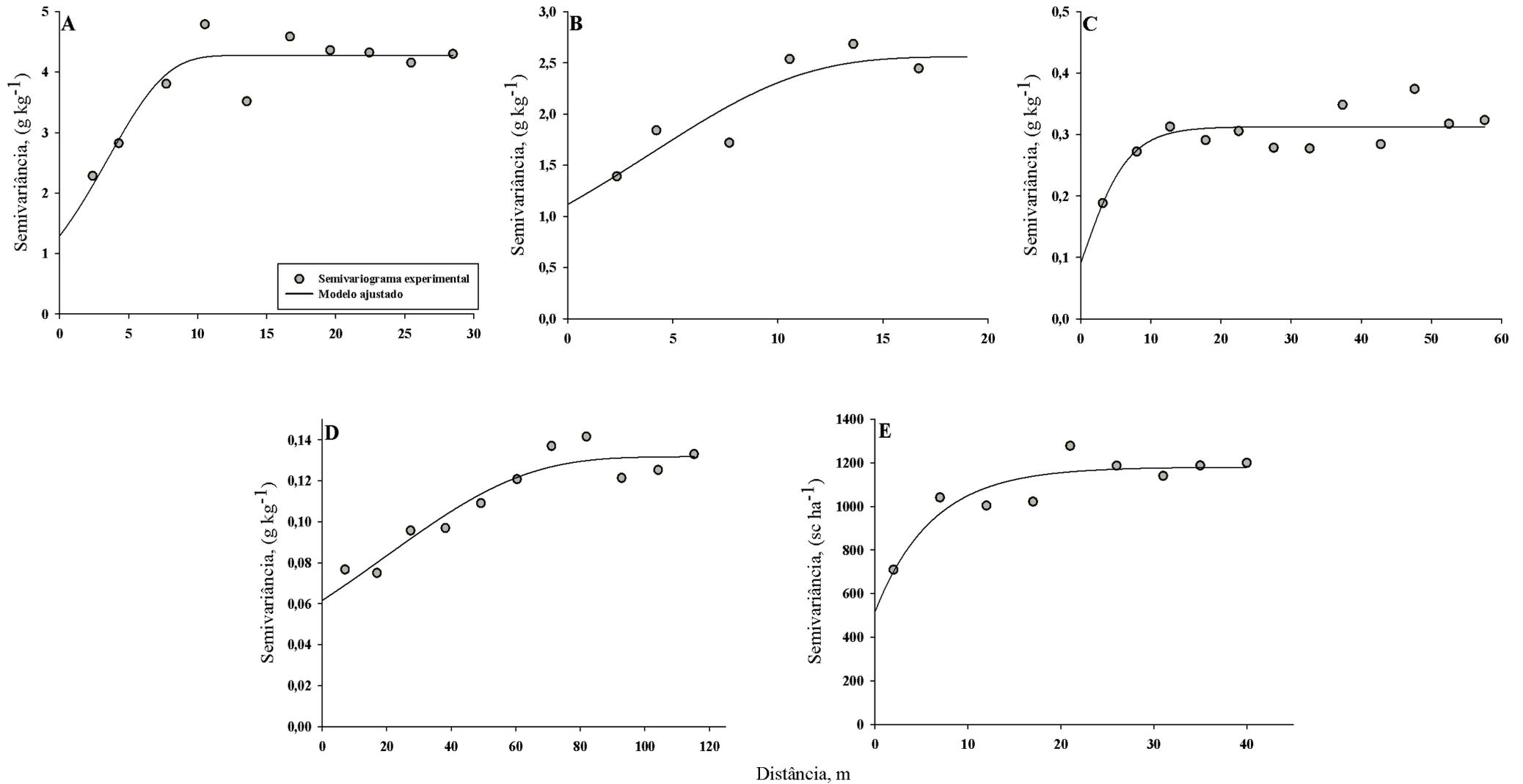


Figura 5. Semivariograma experimental ajustado para caracterizar a variabilidade espacial dos teores de macronutrientes foliares e produtividade em 2013. A: Nitrogênio; B: Potássio; C: Magnésio; D: Enxofre; E: Produtividade.

O alcance da dependência espacial é um parâmetro importante para a interpretação dos semivariogramas porque indica a distância máxima até onde os pontos amostrais estão correlacionados entre si, ou seja, quanto maior o alcance, maior a homogeneidade entre as amostras (Vieira et al., 2010). A produtividade em 2013 apresentou maior continuidade espacial (25,05 m) na área comparado ao ano anterior (19,30 m) (Tabela 4, Figura 5).

Esses resultados mostraram que a distância de 1 m (menor distância), utilizada na amostragem, foi suficiente para expressar a variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes no café conilon. De acordo com Mulla & McBratney (2000), unidades de amostragem podem ser definidas com extensões variando de 0,25 a 0,50 do valor do alcance, sendo que para esse estudo, 25% do alcance para o nutriente com menor alcance foi 2,75 m para o N no ano de 2013.

Os modelos de semivariogramas dos macronutrientes com índices de forte dependência espacial ($IDE > 75\%$), foram o P e Ca em 2012 e Mg em 2013. Os demais nutrientes apresentaram dependência espacial moderada ($25\% \leq IDE \leq 75\%$), conforme os critérios estabelecidos por Zimback (2001).

Analisando os dados de produtividade, em 2013 o índice foi classificado como moderado. Os dados de produtividade em 2013 se difere do trabalho de Silva et al. (2008), ao avaliar o cultivo de cafeeiro, encontraram forte dependência espacial para a produtividade em duas safras agrícolas. Silva et al. (2009), encontraram moderada dependência espacial ao estudar a variabilidade espacial em duas variedades de café arábica, resultados semelhantes ao obtido na produtividade de 2013.

Observa-se nos mapas temáticos dos macronutrientes foliares em 2012 mostram que os maiores valores de N foram encontrados na porção centro-oeste, sendo que a maior parte desta região possui plantas com concentrações superiores a 28 g kg^{-1} . Pode-se observar que o centro-leste do mapa apresenta concentrações abaixo dos níveis considerados adequados para o café conilon, conforme a classificação de Gomes & Partelli (2013) (Figura 6). As funções do nitrogênio na síntese de aminoácidos, enzimas, vitaminas, hormônios, ácidos nucléicos e nucleotídeos são bastante discutidas. O desenvolvimento da área foliar e a fotossíntese dependem do seu suprimento. Sua carência promove deficiência na síntese de clorofila, resultando em clorose das folhas e decréscimo na produtividade (Bragança et al., 2008).

O oposto foi observado no mapa de N foliar em 2013, grande número de plantas na área, nas regiões noroeste, sudoeste e sudeste apresentam desequilíbrio nutricional, com níveis de N acima de 31 g kg^{-1} , maiores que o limite superior conforme a classificação já apresentada por Gomes & Partelli (2013) (Figuras 6 e 7). Aos 72 meses de idade, Bragança et al. (2008) verificaram que o macronutriente mais acumulado pelo cafeeiro conilon foi o N, com percentual de 38 % do total de macronutrientes distribuídos entre os diversos órgãos analisados. O café conilon é uma espécie que apresenta um alto potencial produtivo, dessa forma, os genótipos apresentam alta exigência nutricional e acumulam grande quantidade de nutrientes em seus tecidos (Covre et al., 2013).

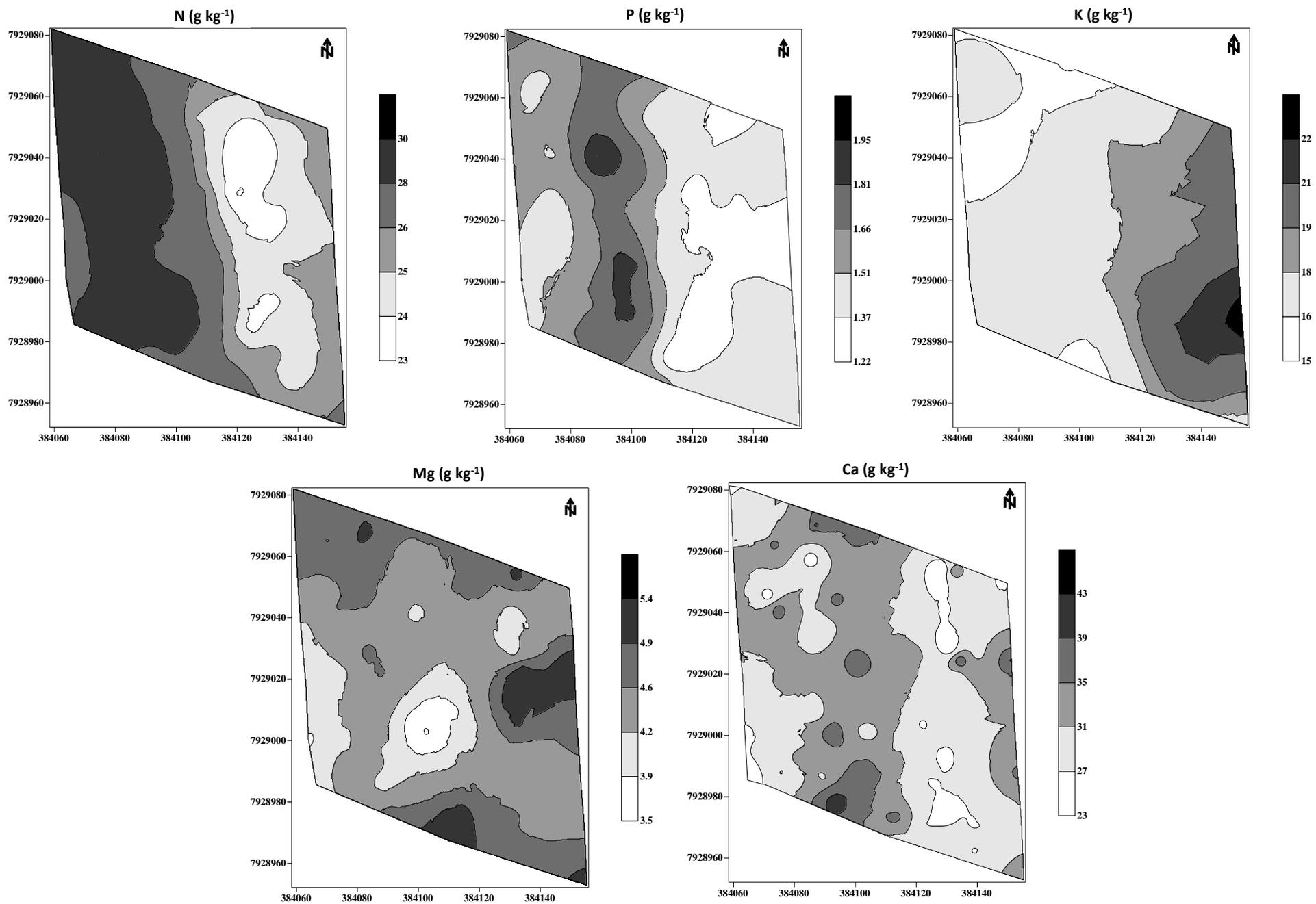


Figura 6. Mapas de isolinhas dos macronutrientes foliares em 2012.

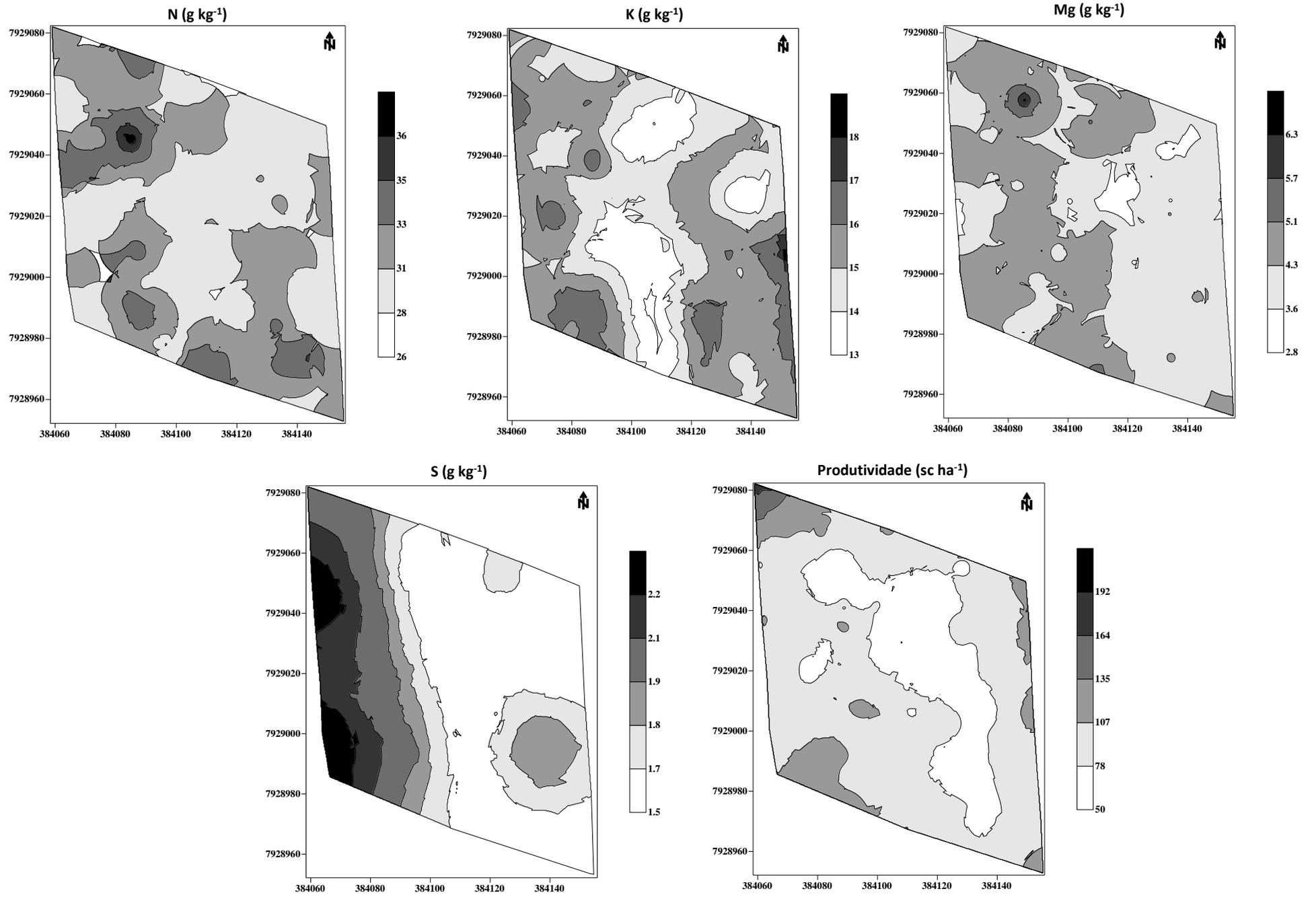


Figura 7. Mapas de isolinhas dos macronutrientes foliares e produtividade em 2013.

A distribuição do P em 2012 apresentou semelhanças com o N do mesmo ano, as plantas com maiores concentrações estavam localizadas na região centro-oeste do mapa, com valores superiores a $1,51 \text{ g kg}^{-1}$, considerados elevados para o nutriente. Na região centro-leste, as concentrações foliares, apesar de inferiores à região oposta, estavam dentro dos níveis adequados (Figura 6). Uma das hipóteses para explicar a variabilidade do P na área, pode ser explicada pelo fato do nutriente não ter sido aplicado pela fertirrigação, mas de forma manual, o que eleva as chances de maior heterogeneidade espacial, pelo fato de existir variações entre a mão de obra utilizada para fazer a aplicação do adubo e o critério de medição do mesmo por parte do aplicador.

Foi possível verificar nítida diferenciação na localização da disponibilidade de P no solo, que por sua vez pode ser mapeada adotando-se procedimentos geoestatísticos, reforçando a tese de que a utilização do valor médio não fornece uma visão exata da população a partir da qual se pretende fazer inferências (Vieira et al., 2010).

Além dessa hipótese, a quantidade de argila e areia influenciam diretamente na disponibilidade de P para planta, e o fato de ocorrer variações espaciais na quantidade de argila e areia, pode se considerar que existe também variações espaciais dos teores de P no solo. Silva et al. (2010) observaram valores negativos de correlação do P disponível e os teores de argila e que, portanto, há uma maior disponibilidade de P em locais onde os valores de argila são menores. Solos com elevado teor de argila exercem predominantemente função reducionista da disponibilidade de P devido a processos de adsorção e fixação, enquanto aqueles com menor concentração de argila promovem aumento da disponibilidade deste elemento (Novais & Smyth, 1999).

Observou-se para o K foliar em 2012, um comportamento inverso do N e P, a região que apresentou maior concentração foi a centro-leste, com teores superiores a 18 g kg^{-1} , considerados elevados para a cultura. A maior parte do mapa, principalmente a região centro-oeste apresentou níveis adequados para o café conilon (Figura 4). Na distribuição do K em 2013, verifica-se que a região centro-leste foi o local onde apresentou menor produtividade (Figura 5). Provavelmente o excesso de K está contribuindo para a queda de produtividade nesta região, o que é comprovado pela correlação de Pearson negativa (Tabela 4).

Tabela 4. Correlação de Pearson entre os macronutrientes foliares e a produtividade de dois anos em *Coffea canephora*.

Atributos	Produtividade	
	2012	2013
N	-0,07	-0,08
P	-0,12	-0,06
K	-0,33*	0,01
Ca	0,34*	0,10
Mg	0,47*	0,06
S	0,04	0,04

*Correlação significativa a 5% de probabilidade.

Os teores de K foram decisivos para a redução na produtividade no café conilon em 2012 (Tabela 4). A correlação fraca e negativa entre esse nutriente e a produtividade indica que, em plantas com menores teores de K, a produtividade foi menor do que no restante da lavoura.

Burak et al. (2012) ao estudar a variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cultivo de café conilon, verificou em seu trabalho que mesmo com a aplicação anual de K em toda a área estudada, via adubação, ele se redistribuiu mais facilmente na paisagem tanto pela maior mobilidade desse nutriente no solo como pela fraca relação com a areia grossa, gerando zonas homogêneas mais bem definidas, em comparação aos teores de Ca, Mg e P.

A concentração de Mg foliar em 2012, na maioria das plantas foi superior a $4,1 \text{ g kg}^{-1}$, teores elevados para a cultura. No entanto, pequenos focos a sudoeste do mapa apresentaram plantas com concentrações inferiores $3,9 \text{ g kg}^{-1}$. Apesar da pequena variação, as concentrações na maioria das plantas estão acima do adequado para a cultura (Figura 4). O fato do Ca e Mg terem sido fornecidos via calagem manual em uma única aplicação no período pós colheita, auxilia na explicação do fato desses nutrientes terem uma distribuição pouco definida na área.

No ano de 2013, semelhante ao ano anterior, os níveis de Mg apresentaram regiões heterogêneas quanto à distribuição do elemento. Em termos nutricionais, o ano de 2013 apresentou semelhanças ao ano anterior, pois, a porção leste compreendendo quase a outra metade da área apresentou um desequilíbrio, com níveis de Mg acima dos adequados para o café conilon. A porção central em sentido oeste, compreendendo quase toda metade da área estava com o equilíbrio adequado do nutriente (Figura 5).

Os níveis de Ca em 2012 apresentaram regiões menos definidas com maiores variações em pequenos focos com maiores concentrações do nutriente (Figura 4). De maneira geral, a maioria das plantas estava com teores acima de 22,6 g kg⁻¹, considerados elevados. De acordo com resultados do trabalho realizado por Bragança et al. (2008), o Ca foi o segundo nutriente mais acumulado pelo cafeeiro conilon, com percentual de 31 % do total de macronutrientes distribuídos entre os diversos órgãos, o teor de Ca alcançou 214,10 g planta⁻¹, aos 72 meses de idade após o transplântio, o que equivale a uma imobilização de 475,73 kg ha⁻¹ de Ca.

A correlação fraca e positiva foi observada entre os teores de Ca e Mg com a produtividade em 2012. Esse dado indica que em plantas com maiores teores desses nutrientes a produtividade foi maior (Tabela 4).

O S em 2013 apresentou sua distribuição bem definida em zonas de maiores e menores concentrações. As plantas localizadas mais próximas às margens oeste do mapa, de norte a sul, apresentaram níveis do nutriente acima do adequado, mas a grande maioria das plantas da área estava com os níveis dentro da faixa adequada para a cultura entre 1,1 g kg⁻¹ e 1,9 g kg⁻¹ (Figura 5).

Os estudos indicam existir uma estrutura de dependência espacial para alguns nutrientes, variando de acordo com a localidade do mapa, mesmo sendo fornecida de forma homogênea na área o fertilizante fonte de N, P e K. Vieira, et al. (2010) ao estudar a variabilidade espacial de nutrientes foliares em soja, sugeriram que um indicativo de que outros fatores estão interagindo, condicionando absorção de nutrientes de maneira diferenciada dentro da área experimental, e de que a utilização da média aritmética não representaria adequadamente o estado nutricional da planta, pois pode existir uma variabilidade do nutriente dependendo da localidade.

No ano de 2013 os valores de produtividade na maior parte da área variaram entre 50 e 107 sc ha⁻¹ (Figura 4 e 5). Molin et al., (2002) ao mapear a produtividade de café arábica, verificaram elevada variação na produtividade, com valores mínimos de 1,32 Mg ha⁻¹ e máximos de 5 Mg ha⁻¹. Silva & Lima (2012) ao estudar a espacialização da produtividade em café arábica, verificaram que a maior proporção da área em estudo apresentou valores entre 6 e 8 Mg ha⁻¹, o que representa em torno de 100 a 130 sc ha⁻¹.

CONCLUSÕES

Os macronutrientes foliares: P e Ca em 2012 e Mg em 2013 apresentaram forte dependência espacial.

O N e K em ambos os anos, Mg em 2012 e a produtividade em 2013 apresentaram estrutura dependência espacial moderada, o que permitiu evidenciar a variabilidade nutricional entre as plantas.

O modelo esférico foi o que melhor ajustou às variáveis estudadas.

A produtividade foi limitada pela variabilidade espacial dos teores dos nutrientes na área, principalmente pelos elementos: K, Ca e Mg.

REFERÊNCIAS

- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos da estatística e geoestatística**. São Leopoldo: Unisinos, 2003. 165p.
- BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; SANTOS, W. R.; ABREU, M. F. Diagnose nutricional do cafeeiro pelo DRIS variando-se a constante de sensibilidade dos nutrientes de acordo com a intensidade e frequência de resposta na produção. **Bragantia**, v.63, n.2, p.253-263, 2004.
- BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, H. E.P.; LEITE, H. G.; SANTOS, L. P.; SEDIYAMA, C. S.; ALVAREZ, V. LANI, J. A. Accumulation of Macronutrients for the Conilon Coffee Tree. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, n. 1, p.103-120, 2008.
- BURAK, D. L.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cafeeiro Conilon: relação com textura, matéria orgânica e relevo. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p.538-547, 2012.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Perspectivas para a agropecuária, volume 1 - safra 2013/2014**. Brasília: Conab, 2013. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_09_13_14_55_32_perspectivas_da_agropecuaria_2013.pdf. Acesso em: 22 outubro 2013.
- COVRE, A. M.; PARTELLI, F. L.; MAURI, A. L.; DIAS, M. A. Crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de café conilon. **Revista Agro@ambiente**, v. 7, n. 2, p.193-202, 2013.
- CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991. 900p.
- FIGUEIREDO, S. B.de; ALVES, M. C.de; SILVA, F. M. da; POZZA, E. A.; OLIVEIRA, M. S. de. Variabilidade espacial e temporal da concentração de manganês no solo de lavoura Cafeeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011.p.9238-9245.
- GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for windows: Realize 7,0, contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers user's guide**. New York: Golden Software Inc., 1999. 619p.
- GEOBASES - **Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo**. GEOBASES/IBGE. 2008. Disponível em: <http://www.geobases.com.br/portal>. Acesso em 19 de novembro de 2013.
- GOMES, W. R.; PARTELLI, F. L. Faixas adequadas para cafeeiro conilon no Norte do Espírito Santo, conforme fases fenológicas. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., 2013, Vitória da Conquista. **Resumos...** Vitória da Conquista: Embrapa, 2013.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics: introduction to applied geostatistics**. Oxford: University Press, 1989. 561p.

MOLIN, J. P.; RIBEIRO FILHO, A. C.; TORRES, F. P.; SHIRAISSI, L. E.; SARTORI, S.; SARRIÉS, G. A. Mapeamento da produtividade de café e sua correlação com componentes de fertilidade do solo em duas áreas pilotos. In: BALASTREIRE, L. A. **Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1999-2001**. Piracicaba: Potafós, 2002. Cap. 10, p. 58-65.

MULLA, D. J.; MCBRATNEY, A. B. Soil spatial variability. In: SUMNER, M. E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. Cap. 9, p.321- 352.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, R. B. **Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas de café conilon para fins de agricultura de precisão**. 2007. 129 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2007.

OLIVEIRA, R. B.; LIMA, J. S. S. de; SILVA, S. A.de; ANTUNIASSI, U. R.; SILVA, A. F. da. Variabilidade espacial do estado nutricional do cafeeiro *canephora* visando o manejo localizado. **Coffee Science**, v. 5, n. 3, p.190-196, 2010.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo - 5ª aproximação**. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

ROBERTSON, G. P. **Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.

ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Geoprocessamento. In: SILVA, F. M. **Mecanização e agricultura de precisão**. Poços de Caldas: UFV, 1998. Cap.1, p.1-30.

SILVA, F. M. da; SOUZA, Z. M. de; FIGUEIREDO, C. A. P. de; VIEIRA, L. H. de S.; OLIVEIRA, E. de. Variabilidade espacial de atributos químicos e da produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência agrotécnica**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 231-241, 2008.

SILVA, S. A. de; LIMA, J. S. S. de. Avaliação da variabilidade do estado nutricional e produtividade de café por meio da análise de componentes principais e geoestatística. **Revista Ceres**, v. 59, n. 2, p.271-277, 2012.

SILVA, S. A. de; LIMA, J. S. S.de; SOUZA, G. S.de; OLIVEIRA, R. B.de; SILVA, A. F. da. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 1, p. 1-8, 2010.

SILVA, S. A. de; LIMA, J. S. S. de; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial da produtividade e teores de macronutrientes nas folhas de duas variedades de café arábica. **Engenharia na Agricultura**, v. 17, n. 5, p.337-345, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

VIEIRA, S. R.; GUEDES FILHO, O.; CHIBA, M. K.; MELLIS, E. V.; DECHEN, S. C. F.; MARIA, I. C. de. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um latossolo vermelho. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p.1503-1514, 2010.

WARRICK, A. W. & NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. Cap. 13, p.319-344.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia) - Faculdade de Ciências Agronômicas - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, SP, 2001.

CAPÍTULO 2

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS MICRONUTRIENTES FOLIARES E PRODUTIVIDADE EM *Coffea canephora*

RESUMO: A análise química do tecido vegetal fornece a informação direta do estado nutricional da planta e é um dos melhores métodos de se avaliar a qualidade da aplicação e a disponibilidade dos nutrientes no solo, pois a planta é utilizada como extrator dos elementos presentes no solo. A estatística clássica considera que as variáveis não são correlacionadas e estão distribuídas de forma uniforme. Portanto, a estatística clássica não permite verificar a independência entre as amostras. A técnica geoestatística considera a localização espacial da medida e permite estudar a relação espacial entre as diferentes amostras. Diante do exposto, o presente trabalho foi conduzido com o objetivo de analisar a variabilidade espacial dos micronutrientes foliares em plantas de *Coffea canephora*, utilizando a geoestatística. Foi instalada uma malha irregular com 100 pontos em uma lavoura de alta produtividade, localizada em São Mateus, Espírito Santo, durante as safras 2012 e 2013. Os resultados foram submetidos à análise inicial por meio da estatística descritiva, os dados foram também submetidos à análise geoestatística, visando definir a variabilidade espacial dos teores de micronutrientes foliares e da produtividade. O modelo exponencial e esférico foi o que melhor se ajustou às variáveis estudadas, com coeficientes de determinação superiores a 75%. A produtividade foi limitada pela variabilidade dos teores dos nutrientes na área, principalmente pelos elementos: Fe e Cu no ano de 2013.

Palavras chave: nutrição de plantas, geoestatística, café conilon, equilíbrio nutricional.

SPATIAL DISTRIBUTION OF LEAF MICRONUTRIENTS AND YIELD IN *Coffea canephora*

ABSTRACT: The chemical analysis of plant tissue provides direct information on the plant nutritional status and is the best method to evaluate the soil nutrients application and availability as the plant is used as extracting the elements present in the soil. The classic statistics considers that the variables are uncorrelated and are distributed evenly. Therefore, classic statistics doesn't allow checking the independence between samples. The geostatistic technique considers the spatial location of the measure and allows us to study the spatial relationship between different samples. This study was conducted to analyze the spatial variability of leaves micronutrients in plants of *Coffea canephora* using geostatistics. An irregular mesh with 100 points was installed in a high-productivity crop in São Mateus, Espírito Santo, during the 2012 and 2013 harvest. The results were submitted to an initial analysis by means of descriptive statistics and the data were also subjected to analysis geostatistics aiming to define the spatial variability of leaves micronutrient levels and yield. The exponential and spherical model was the best fit to the studied variables, with determination coefficients greater than 75 %. The nutrient content limited the yield in the experimental area mainly the elements: Fe and Cu 2013.

Keywords: plant nutrition, geostatistic, conilon coffee, nutritional equilibrium.

INTRODUÇÃO

A análise química do tecido vegetal fornece a informação direta do estado nutricional da planta e é um dos melhores métodos de se avaliar a qualidade da aplicação e a disponibilidade dos nutrientes no solo, pois a planta é utilizada como extrator dos elementos presentes no solo.

O solo é um sistema heterogêneo e existe grande variabilidade dos atributos dos solos, sejam eles físicos químicos e biológicos, mesmo em uma região que aparentemente seja uniforme quanto a estas características. Para melhor precisão nas recomendações de calagem e adubação é necessário o conhecimento dessa variabilidade. Devido à importância de se buscar o equilíbrio nutricional da planta, metodologias têm sido desenvolvidas para melhor compreensão dos fatores que afetam a dinâmica dos nutrientes tanto na planta quanto no ambiente que ela é cultivada.

A estatística clássica considera que as variáveis não são correlacionadas e estão distribuídas de forma uniforme. Portanto, a estatística clássica não permite verificar a independência entre as amostras. A técnica geoestatística considera a localização espacial da medida e permite estudar a relação espacial entre as diferentes amostras. Com a ocorrência da dependência espacial entre as mesmas é possível estimar valores do atributo mesmo para locais não amostrados.

De acordo com Batista et. al (2010), recentemente, a técnica geoestatística vem auxiliando no melhor entendimento da variabilidade espacial de diversos setores de interesse na agricultura, permitindo a interpretação de dados baseados no comportamento da variabilidade natural, considerando a dependência espacial no espaço a ser estudado.

Molin (2000) relata que o entendimento da variabilidade espacial dos sistemas de produção cria a opção de manejo para redução dos efeitos da variabilidade da produtividade das culturas. Li et. al (2012) complementa, ao descrever que o conhecimento da variabilidade dos atributos químicos do solo é de grande relevância para determinar o tipo de manejo a ser adotado no solo e o esquema de amostragem.

Segundo Leão et. al (2010), na literatura se encontram vários trabalhos que caracterizam a variabilidade espacial de atributos químicos e físicos do solo, em número reduzido sobre a distribuição espacial de pragas e doenças em. Porém, trabalhos sobre a distribuição espacial dos teores de nutrientes foliares, são limitados.

Diante do exposto, o presente trabalho foi conduzido com o objetivo de analisar a distribuição espacial dos micronutrientes foliares de plantas de *Coffea canephora* em dois anos agrícolas, utilizando a geoestatística, bem como sua correlação com a produtividade da lavoura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado o período de janeiro/2012 a agosto/2013, no distrito de Nestor Gomes Rodovia ES 381, Km 28 no município de São Mateus, Norte do Estado do Espírito Santo (Figura 1). As coordenadas geográficas estão situadas latitude $18^{\circ} 43' S$, longitude $40^{\circ} 30' W$ com altitude média de 82 metros.

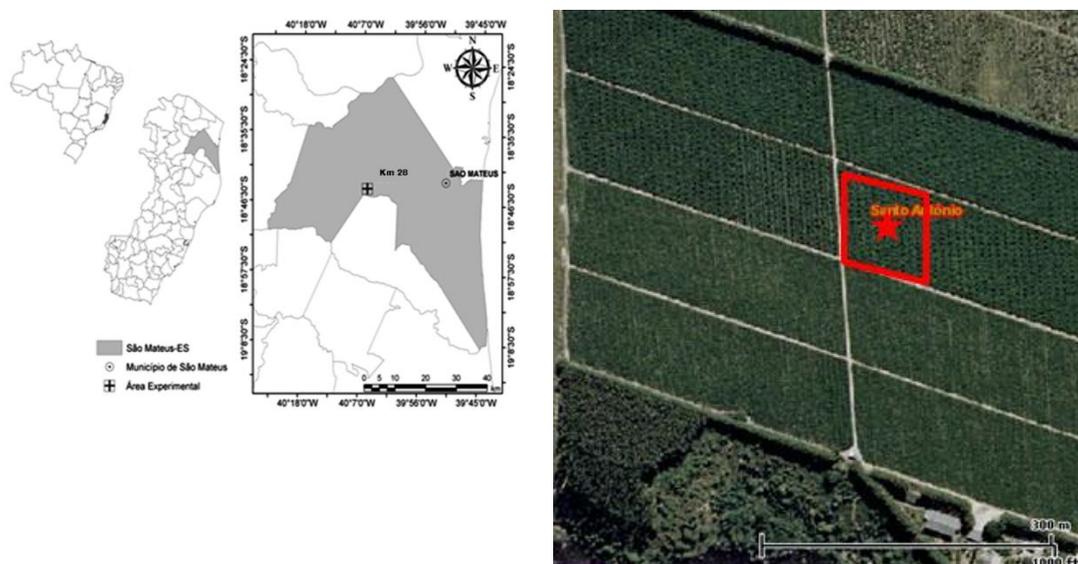


Figura 1 - Localização e vista por satélite da área experimental. Fonte: Geobases, (2008).

A área experimental possui 1,0 hectare com o cultivo de café conilon (*Coffea canephora*). O genótipo utilizado foi o Bamburral. A lavoura foi instalada em março de 2010, com espaçamento $3,0 \times 1,0$ m (3.333 plantas ha^{-1}), sob o sistema de irrigação por microaspersão. O clima da região é quente e úmido (tipo Aw de Köppen), com estação seca no outono-inverno e estação chuvosa na primavera-verão.

Na implantação da lavoura foi realizada a correção do solo e a adubação de solo baseadas na análise de solo, conforme as Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes no Estado do Espírito Santo (Prezotti et al., 2007), com

aplicação de 170 kg ha^{-1} de P_2O_5 e de 1 tonelada ha^{-1} de calcário incorporado no sulco de plantio.

A adubação de produção seguiu as mesmas normas citadas, os nutrientes foram aplicados via sistema de fertirrigação com aplicação mensal do fertilizante e fornecimento anual de 480 kg ha^{-1} de N, 75 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 480 kg ha^{-1} de K_2O .

Em maio de 2012, foi instalada uma malha irregular de 10.000 m^2 com 100 pontos, com distância mínima de 1 m (Figura 2). Para georreferenciamento dos pontos, foi utilizado um par de receptores GPS TechGeo®, modelo GTR G2 geodésico. Os dados, após serem processados pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do IBGE, apresentaram precisão de $10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$. Os dados meteorológicos foram obtidos da estação 83550 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Figura 3).

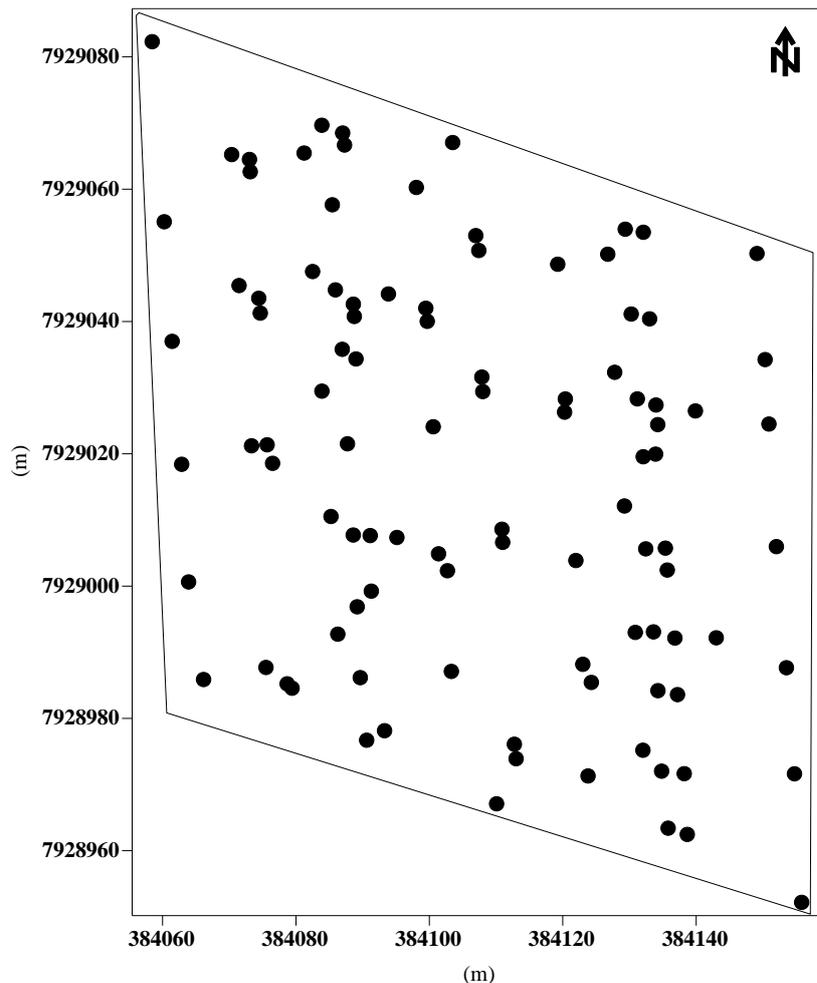


Figura 2 - Malha amostral com 100 pontos, elaborada para amostragem dos frutos de café. Cada ponto representando uma planta de *Coffea canephora*.

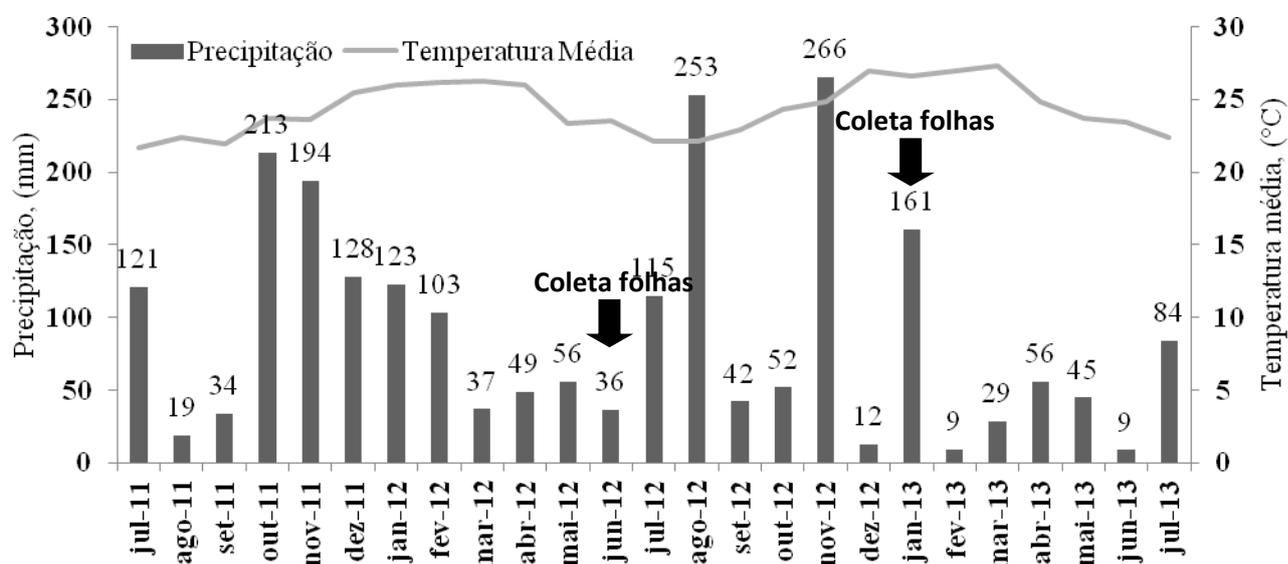


Figura 3 - Temperatura média e precipitação pluviométrica acumulada dos anos de 2011 a 2013 no Município de São Mateus - ES.

Em cada ponto amostral, considerado por uma planta, foram coletados 20 pares de folhas no terço médio superior da planta, compondo uma amostra. As amostras foram coletadas em junho de 2012 e janeiro de 2013. As análises de tecido foliar foram realizadas no FULLIN - Laboratório de Análise Agronômica, Ambiental e Preparo de Soluções Químicas – Linhares, ES. O Fe, Zn, Cu e Mn foram extraídos por digestão nitro-perclórica e para o B: incineração, via seca com determinação colorimétrica. Os elementos totais foram realizados com base na matéria seca, conforme metodologia preconizada pela ESALQ/USP.

Os resultados foram submetidos à análise inicial por meio da estatística descritiva e exploratória, considerando: média aritmética, variância amostral, desvio-padrão, coeficiente de variação, valores máximo e mínimo, coeficiente de assimetria e de curtose e o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade. A análise exploratória dos valores permitiu a verificação de candidatos a valores discrepantes (*outliers*) e sua influência sobre as medidas de posição e dispersão.

Utilizou-se o cálculo dos quartis da distribuição dos valores dos atributos estudados para identificação de dados discrepantes, com base na amplitude

interquartílica (A_i), utilizando os critérios dos limites inferior (L_i) e superior (L_s), conforme realizado por Oliveira (2007) (Equações 1,2 e 3).

$$A_i = Q_3 - Q_1 \quad \text{Equação 1}$$

$$L_s = Q_3 + (1,5 \cdot A_i) \quad \text{Equação 2}$$

$$L_i = Q_1 - (1,5 \cdot A_i) \quad \text{Equação 3}$$

em que: A_i = Amplitude interquartílica; L_s = Limite superior; L_i = Limite inferior; Q_3 = terceiro quartil ; e Q_1 = primeiro quartil.

Nas ocasiões de ocorrência de dados discrepantes, fez-se a avaliação para uma possível substituição ou descarte dos mesmos, para aplicar novamente os procedimentos descritos anteriormente sem as observações com valores extremos. A decisão de exclusão ou não desses valores do conjunto de dados, seguiu o rigor de confrontar e verificar a interferência dos candidatos a dados influentes sobre a resposta final do ajuste.

Realizou-se, também, a análise de correlação de Pearson, de forma a verificar a relação entre os micronutrientes foliares e a produtividade nos dois anos.

Os dados foram também submetidos à análise geoestatística, visando definir a variabilidade espacial dos teores de micronutrientes foliares, primeiramente através dos semivariogramas e em seguida pelo mapeamento dos teores de micronutrientes foliares no café conilon.

A classificação para interpretação de resultados das análises foliares (Tabela 1 e 2), segundo Gomes & Partelli (2013) para o estado do Espírito Santo, foi utilizada visando à confecção de mapas de variabilidade espacial baseados nas faixas estabelecidas por esses autores.

Tabela 1. Faixa de suficiência dos teores de micronutrientes para lavoura de *Coffea canephora* em pré-florada (inverno) para a região norte do estado do Espírito Santo. Adaptado de Gomes & Partelli (2013).

Nutriente	Nível Baixo	Nível Adequado	Nível Alto
	mg kg ⁻¹		
Fe	< 67,0	67,0 - 195,0	> 195
Zn	< 4,9	4,9 - 8,1	> 8,1
Cu	< 4,7	4,7 - 14,5	> 14,5
Mn	< 62,4	62,4 - 226,0	> 226,0
B	< 50,7	50,7 - 99,2	> 99,2

Tabela 2. Faixa de suficiência dos teores de micronutrientes para lavoura de *Coffea canephora* em granação (verão) para a região norte do estado do Espírito Santo. Adaptado de Gomes & Partelli (2013).

Nutriente	Nível Baixo	Nível Adequado	Nível Alto
	mg kg ⁻¹		
Fe	< 67,3	67,3 - 145,0	> 145
Zn	< 5,4	5,4 - 17,3	> 17,3
Cu	< 6,4	6,4 - 19,8	> 19,8
Mn	< 50,4	50,4 - 188,0	> 188,0
B	< 57,6	57,6 - 102,0	> 102,0

A análise da dependência espacial foi realizada com auxílio do software GS+ Versão 7® (Robertson, 1998), que realiza os cálculos das semivariâncias amostrais. O padrão de dependência espacial dos teores de micronutrientes foliares foi analisado pelo estudo do variograma. As avaliações de campo foram consideradas uma função aleatória $Z(x)$ onde (x) indica a posição espacial (Equação 4).

$$\gamma(h) = \frac{\sum_{i=1}^{n(h)} [(Z(x_i+h) - Z(x_i))]^2}{2N(h)} \quad \text{Equação 4}$$

Em que: (h) é a distância, $\gamma(h)$ é a semivariância estimada, $N(h)$ é o número de pares de dados observados $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$, onde essa função teórica ajusta-se aos valores experimentais para representar as relações espaciais entre os dados. Neste trabalho utilizaram-se os modelos esférico e exponencial como modelos teóricos que melhores se ajustaram os variogramas experimentais.

Para validar o modelo teórico ajustado ao variograma experimental, foi utilizado o método da validação cruzada que consiste na avaliação do coeficiente de correlação entre os valores observados e estimados, onde o erro padrão de estimação avalia quantitativamente o ajuste do variograma e os erros decorrentes.

O índice de dependência espacial foi calculado de acordo com Zimback (2001) que descreveu como dependência espacial fraca o índice menor que 25%, dependência espacial moderada, de 25 a 75%, e dependência espacial forte, o índice maior que 75%. (Equação 5).

$$\text{IDE} = \frac{C}{C_0 + C} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

Em que: C é a variância estrutural ou a diferença entre o C_0 e o patamar (C_0+C) é o valor de variância correspondente ao ponto em que o mesmo estabiliza.

A partir dos semivariogramas ajustados, foi utilizado o programa computacional Surfer (Golden Software, 1999) na interpolação por krigagem, gerando mapas de variabilidade espacial das variáveis na área estudada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após uma avaliação detalhada dos valores em cada ponto amostral foi possível verificar a presença de valores discrepantes (*outliers*) nos dados de teor de micronutrientes foliares e também de produtividade, levando ao efeito de influência sobre as medidas de dispersão e posição, assim procedeu-se à retirada dos mesmos para melhor interpretação de apresentação dos dados.

A produtividade em ambos os anos e os micronutrientes apresentaram distribuição normal, à exceção do Zn em ambos os anos e Cu em 2012. De acordo com o trabalho de Cressie (1991), trabalhos que se aplicam a metodologia geoestatística a normalidade não é obrigatória, mas os é necessário que no gráfico de distribuição normal não ocorra caudas alongadas, pois este fato poderia reduzir a confiabilidade das análises

Tabela 3. Estatística descritiva dos teores de micronutrientes e produtividade no ano de 2012 e 2013 em *Coffea canephora*.

Atributo		Estatística										
		n	Média	Mediana	DP	VA	Mínimo	Máximo	CV (%)	Ass.	Curt.	KS
Fe ¹	2012	98	143,2	137,5	23,5	552,2	96,0	210,0	16,4	0,71	0,36	ns
	2013	99	137,5	133,5	20,1	406,5	91,0	197,0	14,6	0,83	0,79	ns
Zn ¹	2012	99	23,9	17,5	12,0	144,8	10,0	48,0	50,4	0,92	-0,87	*
	2013	100	13,8	13,5	2,3	5,5	9,0	23,0	17,0	1,19	2,65	*
Cu ¹	2012	97	13,1	12,0	3,6	13,3	7,0	23,0	27,9	0,89	0,15	*
	2013	92	18,4	18,0	3,3	10,9	12,0	32,0	17,9	0,84	1,93	ns
Mn ¹	2012	99	216,9	207,0	61,0	3724	93,0	438,0	28,1	0,67	0,94	ns
	2013	100	208,6	206,0	67,7	4585	70,0	386,0	32,4	0,55	0,31	ns
B ¹	2012	75	84,7	86,0	12,5	157,4	56,0	116,0	14,8	-0,14	0,05	ns
	2013	84	64,6	60,0	19,3	374,9	30,0	119,0	30,0	0,65	-0,10	ns
Prod. ²	2012	80	126,7	119,0	46,8	2190	49,6	247,9	36,9	0,45	-0,06	ns
	2013	85	91,9	89,2	31,2	1604	19,8	238,0	36,8	1,09	2,52	ns

¹Fe, Zn, Cu, Mn e B mg kg⁻¹. ²Prod.: produtividade em sc ha⁻¹. n: número de amostras analisadas DP: desvio - padrão; VA: variância; CV: coeficiente de variação; Ass.: coeficiente de assimetria; Curt.: coeficiente de curtose; KS: * distribuição não normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov, a 5% de probabilidade; ns: distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov, a 5% de probabilidade.

Todos os micronutrientes e a produtividade estudados apresentaram coeficiente de variação médio de acordo com a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980) que relacionou vários parâmetros físicos do solo em termos de baixa ($CV < 12\%$), média ($12 \leq CV \leq 52\%$) e alta ($CV > 52\%$) variação. Vieira et. al (2010) estudando a variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja, encontraram resultados semelhantes (Tabela 3).

Pelos valores médios dos teores de micronutrientes nas folhas, o estado nutricional das plantas pode ser classificado, segundo Gomes & Partelli (2013) em adequado para o Fe, Cu e B, elevado para o Zn em 2012 e Mn em 2013 no café conilon (Tabela 1 e 2).

Com exceção do Zn em 2013 e B, todos os elementos analisados verificou-se uma estrutura de dependência espacial definida por semivariogramas ajustados aos modelos esférico, gaussiano e exponencial (Tabela 4, Figura 4 e 5). Resultados semelhantes foram encontrados por Santos et al. (2013) para o Zn e Mn e por Gontijo et al., (2012) para Mn ao estudar a variabilidade espacial dos nutrientes do solo em Latossolo sob cultivo de pimenta-do-reino.

Os dados das concentrações foliares que não se obteve ajuste de modelo, foi devido ao efeito pepita puro, no qual as amostras não apresentam dependência espacial entre elas (Tabela 4).

Essa informação permite concluir que os dados estão completamente aleatórios, um ponto não tem correlação espacial com outro, os pontos são independentes e, portanto a estatística clássica pode ser usada sem restrições para estudar os mesmos.

Tabela 4. Parâmetros do modelo teórico ajustado ao variograma experimental, modelado por aproximação ponderada dos quadrados mínimos, para os teores dos micronutrientes foliares e produtividade em 2012 e 2013, e o resultado da validação cruzada da krigagem.

Parâmetros	Modelo	(C _o)	(C _o +C)	Alcance	IDE	R ²	SQR	r ²
Fe	2012 Gaus.	276,80	581,02	53,22	52	0,83	21363	0,98
	2013 Exp.	165,90	341,10	43,50	51	0,84	2998	0,97
Zn	2012 Gaus.	45,60	178,10	53,30	74	0,97	776,00	1,08
	2013 E.P.P.	-	-	-	-	-	-	-
Cu	2012 Exp.	6,91	13,83	67,80	50	0,75	10,20	0,60
	2013 Exp.	4,75	9,51	26,70	50	0,75	3,82	0,74
Mn	2012 Esf.	215	3731	17,60	98	0,92	77530	0,63

	2013	Esf.	2362	4725	24,80	50	0,94	159435	0,51
B	2012	E.P.P.	-	-	-	-	-	-	-
	2013	E.P.P.	-	-	-	-	-	-	-
Prod.	2012	E. P. P.	-	-	-	-	-	-	-
	2013	Exp.	566,00	1226,00	25,05	54	0,79	48114	0,60

Co: efeito pepita; C₀+C: patamar; IDE: índice de dependência espacial, em porcentagem; R²: coeficiente de determinação do modelo ajustado; SQR: soma de quadrados do resíduo; r²: coeficiente de determinação da validação cruzada; Esf.: modelo esférico ; Exp. : modelo exponencial; Gaus.: modelo gaussiano; E.P.P. :efeito pepita puro; Prod.: produtividade. Alcance em metros.

Na análise espacial, os modelos de variogramas que mais se ajustaram aos dados foram o exponencial e esférico. Os dados analisados revelam que os nutrientes Fe, Zn e Cu no ano de 2012 apresentaram maior continuidade espacial do que no ano posterior, com alcances de 53,2; 53,3 e 67,8 m , respectivamente. O contrário foi observado para o Mn em 2013 e a produtividade em 2013, pois apresentaram maior continuidade espacial comparado ao ano anterior, com alcances de 24,8 e 25,1 m , respectivamente (Tabela 4 e Figuras 4 e 5).

Todos os modelos de semivariogramas dos micronutrientes apresentaram índices de dependência espacial moderada ($25\% \leq IDE \leq 75\%$), exceto o Mn em 2012 com dependência espacial forte ($IDE > 75\%$) conforme os critérios estabelecidos por Zimback (2001) (Tabela 4), resultados semelhantes foram encontrados por Santos et al. (2013) para Cu, Fe, Zn e Mn ,por Machado et al., (2007) para o Cu, por Zanão Júnior et al. (2007) para o Fe e por Santos et al. (2011) para Cu, Fe e Zn.

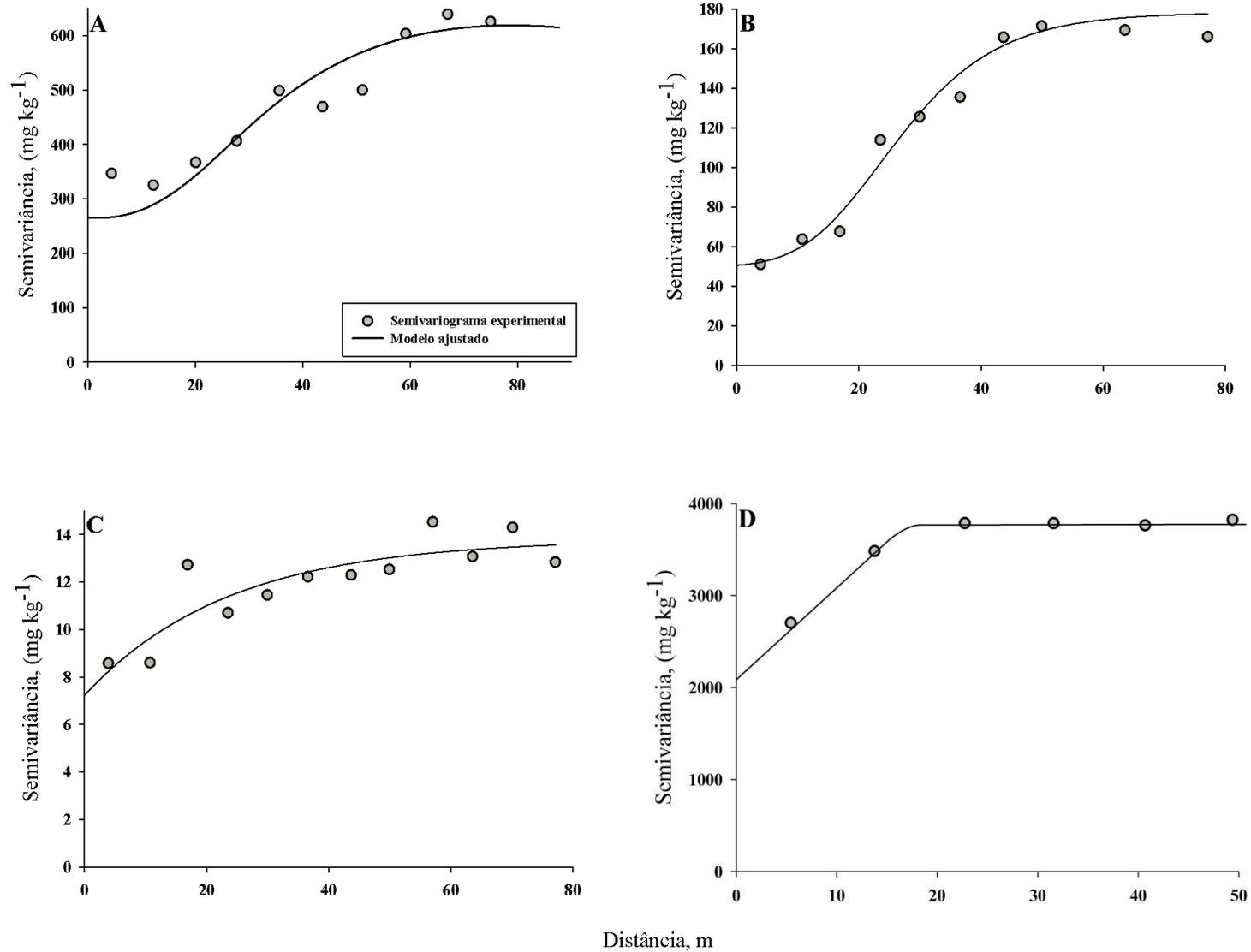


Figura 4. Semivariograma experimental ajustado para caracterizar a variabilidade espacial dos teores de micronutrientes foliares e produtividade em 2012. A: Ferro; B: Zinco; C: Cobre; D: Manganês em 2012.

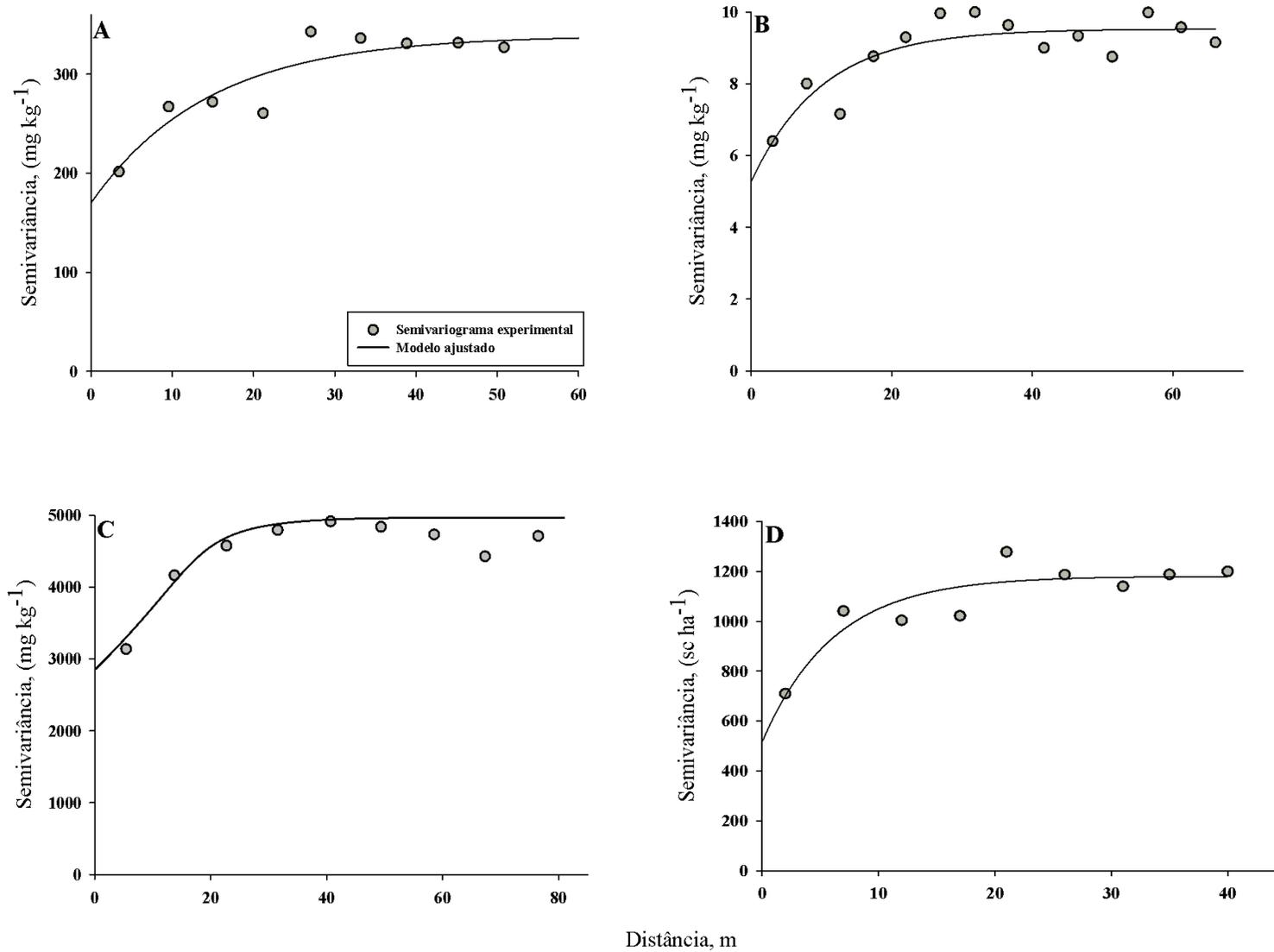


Figura 5. Semivariograma experimental ajustado para caracterizar a variabilidade espacial dos teores de micronutrientes foliares e produtividade em 2013. A: Ferro; B: Cobre; C: Manganês; D: Produtividade em 2013.

Os mapas temáticos dos micronutrientes foliares mostraram semelhanças em ambos os anos para o Fe, os teores encontrados nas margens noroeste e sudoeste do mapa, essas regiões possuíam plantas que estavam em desequilíbrio nutricional, com teores acima de 145 mg kg^{-1} , nas demais regiões da lavoura, a grande maioria das plantas estava com equilíbrio nutricional adequado para o café conilon segundo Gomes & Partelli (2013) (Figuras 6 e 7). Bragança et al., (2007) ao estudar o acúmulo de micronutrientes pelo cafeeiro conilon com 72 meses de idade, verificaram que o Fe foi o micronutriente mais acumulado pelo cafeeiro conilon, com percentual de 74 % do total de micronutrientes distribuídos entre os vários órgãos analisados.

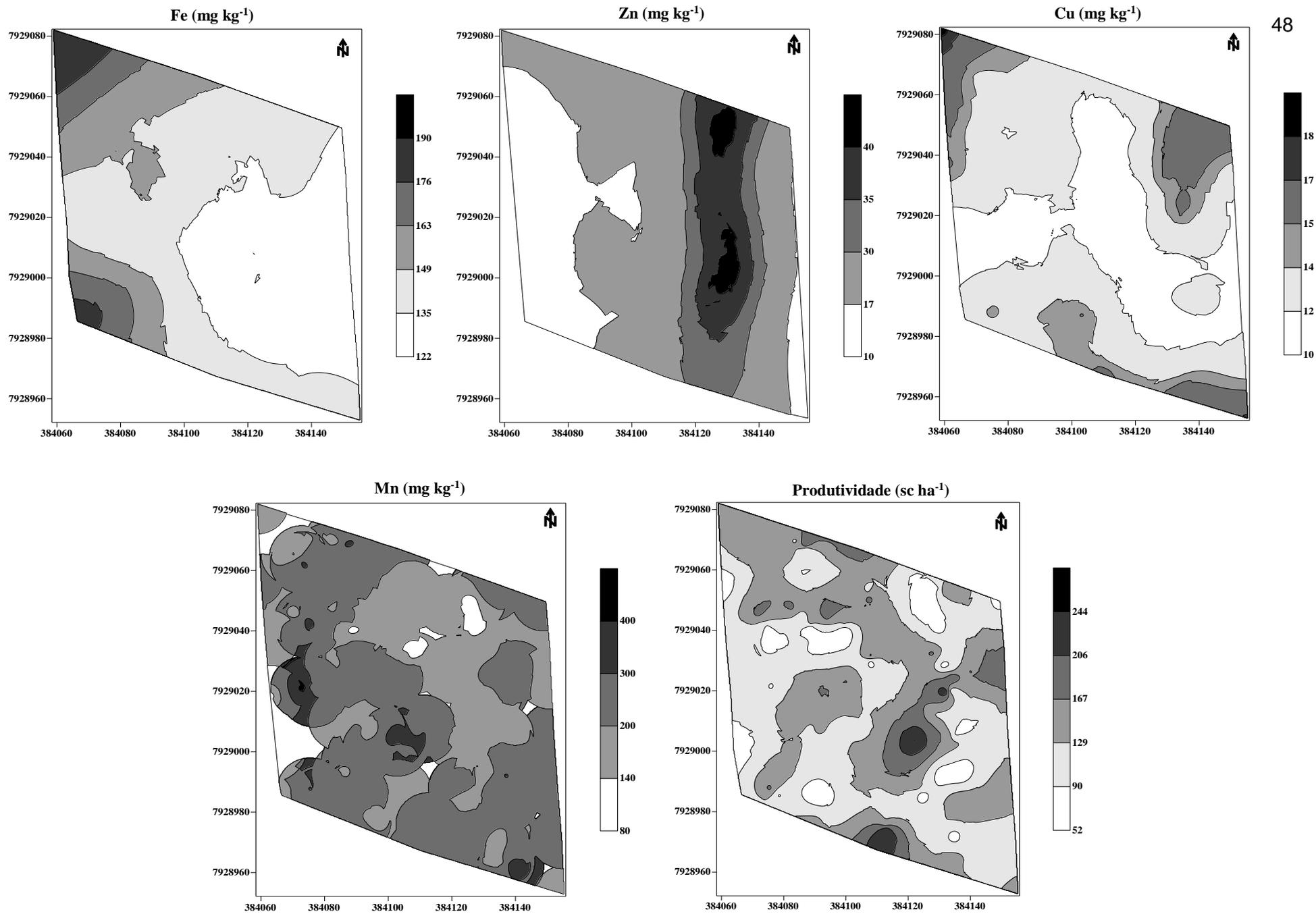


Figura 6. Mapas de isolinhas dos micronutrientes foliares e produtividade em 2012.

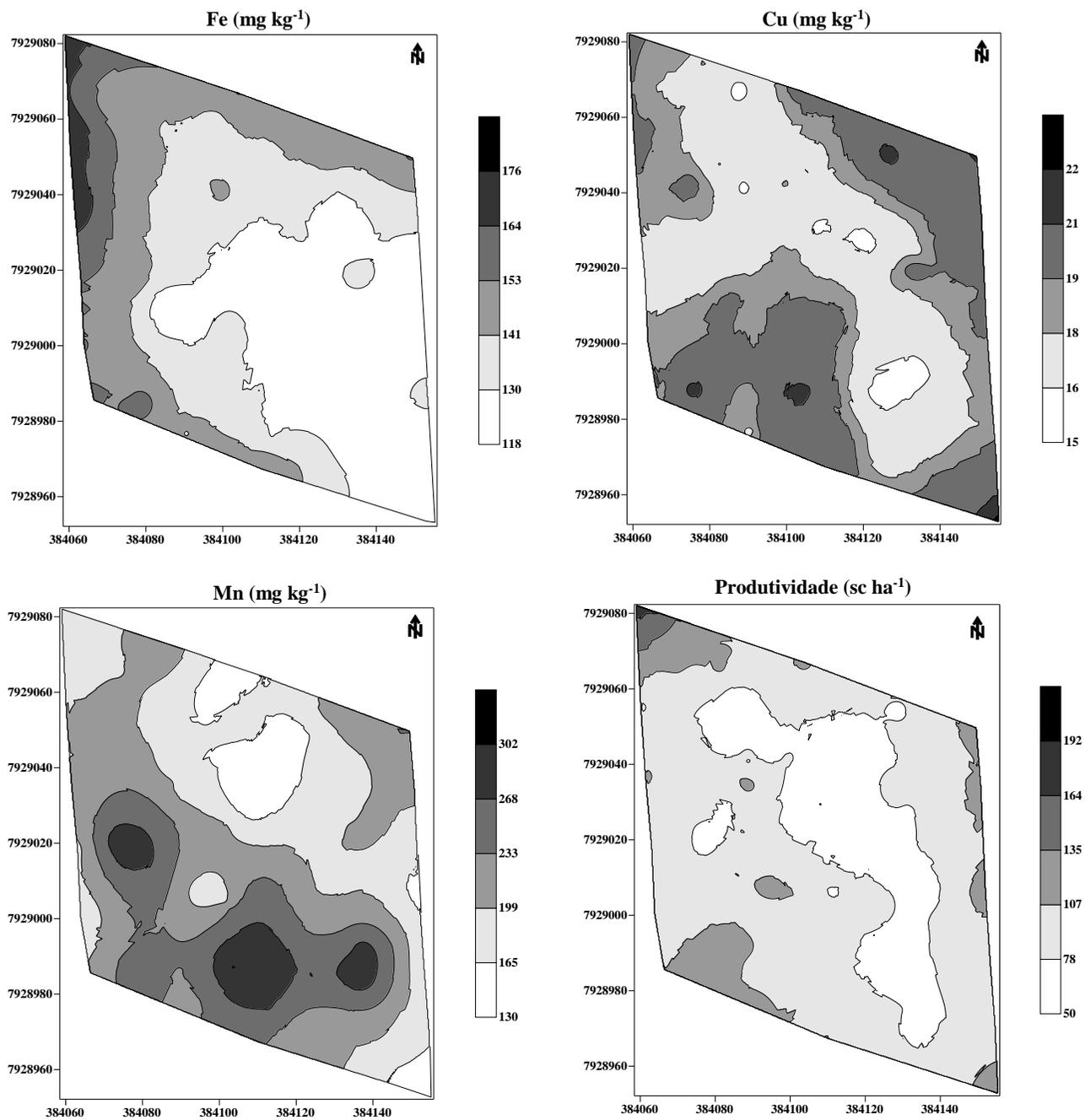


Figura 7. Mapas de isolinhas dos micronutrientes foliares e produtividade em 2013.

O Zn apresentou um padrão bem definido no mapa, sendo possível observar “faixas” de concentrações. Os teores abaixo de 17 mg kg^{-1} foram observados nas plantas da porção oeste do mapa, de norte a sul, no entanto, os valores observados nas plantas dessa região estavam dentro dos níveis adequados. Os teores acima de 17 mg kg^{-1} no restante de toda a área, chegando a concentrações de 48 mg kg^{-1} , considerados elevados para o conilon (Figuras 6 e 7). O Zn foi o quarto micronutriente mais acumulado pelo cafeeiro conilon, com percentual de 4% do total de micronutrientes distribuídos entre os diversos órgãos analisados (Bragança et al., 2007).

Na distribuição do Cu em 2012, as plantas com maiores concentrações estavam localizadas nas margens noroeste, nordeste e sudeste do mapa, com concentrações superiores a 14 mg kg^{-1} . A variação existiu, mas os teores de todo mapa estavam dentro dos níveis adequados para o nutriente. Em 2013, o mesmo nutriente apresentou semelhanças comparadas ao ano anterior, com as menores concentrações nas plantas localizadas na porção central da área, aumentando gradualmente para as bordas, mas com a maioria da lavoura atendendo a faixa de equilíbrio ideal entre $6,4$ e $19,8 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figuras 6 e 7).

Os níveis de Mn em 2012 apresentaram o menor alcance, ou seja, menor continuidade espacial, dessa forma o mapa apresentou regiões menos definidas com maiores variações em pequenos focos nas plantas da porção oeste do mapa. De maneira geral as plantas, com maiores teores do nutriente, acima de 188 mg kg^{-1} , acima do valor do nível superior de acordo com Gomes & Partelli (2013) compreende quase a maioria das plantas da área. No mapa do ano seguinte, com exceção das plantas localizadas na porção centro-norte, as demais também estavam com as concentrações acima do limite superior da faixa estabelecida como referência para o café conilon em época de granação. No mesmo estudo citado anteriormente de Bragança et al. (2007) o Mn foi o segundo micronutriente mais acumulado pelo cafeeiro conilon, com um percentual de 16 % do total de micronutrientes distribuídos entre os diversos órgãos analisados.

É importante ressaltar que a demanda de micronutrientes varia de acordo com o estágio fenológico da cultura. Bragança et al. (2007) relataram apresentou que o acúmulo de Fe, Zn, B e Mn após o 36º mês de cultivo do café conilon decresce e para o Cu, a partir do 24º mês. Resultados semelhantes foram obtidos neste trabalho, ao observar as médias dos micronutrientes que diminuíram em 2013

comparado a 2012, exceto para o Zn (Figuras 4 e 5). Entretanto, estes resultados podem variar em função do ano e da época do ano.

Os valores da correlação de Pearson indicam a correlação fraca e positiva entre os teores de Fe e Cu com a produtividade em 2013. Esse dado demonstra que em plantas com maiores teores desses nutrientes a produtividade foi maior. A informação fornecida na correlação é reforçada ao comparar os mapas destes dois nutrientes com a produtividade. As regiões onde apresentaram os maiores teores, localizadas nas porções marginais, apresentaram maior produtividade, e a região central da área que apresentou menor produtividade, corresponde a área onde os teores de Fe e Cu foram menores (Tabela 5).

Tabela 5. Correlação de Pearson entre os micronutrientes foliares e a produtividade de dois anos em *Coffea canephora*.

Atributos	Produtividade	
	2012	2013
Fe	-0,14	0,22*
Zn	-0,01	0,09
Cu	0,06	0,34*
Mn	0,06	-0,09
B	-0,16	0,18

*Correlação significativa a 5% de probabilidade.

A variabilidade da composição física do solo deve ser considerada da mesma maneira que a química, sendo impossível dessas características coexistirem na mesma área de forma homogênea.

O café conilon possui características particulares quanto ao manejo cultural. Após a safra é realizada a retirada dos ramos com menos de 50% de folhas. Após a segunda ou terceira colheita, verifica-se que os ramos produtivos reduzem o seu vigor, não havendo crescimento compensatório para manutenção de altas produtividades (Bragança et al., 2007). Este fato também deve ser considerado, pois ao se comparar a estrutura de folhas, ramos e tronco entre uma planta de café na safra de 2012 e a mesma na safra de 2013, verificou-se visualmente, que a planta em 2012 possuía maiores quantidades de ramos e folhas e conseqüentemente maior produção foi obtida (127 sacas beneficiadas) comparada a safra 2013 (92 sacas beneficiadas).

Covre et al., (2013) ao estudar o crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de café conilon, descrevem que as plantas possuem características inerentes ao genótipo que as diferenciam nas quantidades de nutrientes absorvidos e acumulados nos seus diferentes órgãos. Além da espécie e do genótipo, as quantidades de nutrientes acumulados variam com o local e época do ano, idade, órgãos e tecidos de uma mesma planta. A partição de nutrientes dentro de uma planta perene, como o cafeeiro, depende da distribuição de matéria seca e dos teores de nutrientes nos diferentes órgãos e tecidos.

CONCLUSÕES

Os teores de micronutrientes foliares e a produtividade em ambos os anos apresentaram estrutura dependência espacial forte e moderada, o que permitiu evidenciar a variabilidade nutricional entre as plantas.

O modelo exponencial e esférico foi o que melhor se ajustou às variáveis estudadas.

A produtividade foi limitada pela variabilidade dos teores dos nutrientes na área, principalmente pelos elementos: Fe e Cu no ano de 2013.

REFERÊNCIAS

- BATAGLIA, O. C.; QUAGGIO, J. A.; SANTOS, W. R.; ABREU, M. F. Diagnose nutricional do cafeeiro pelo DRIS variando-se a constante de sensibilidade dos nutrientes de acordo com a intensidade e frequência de resposta na produção. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p.253-263, 2004.
- BATISTA, I. F.; ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de nutrientes e produção de alface cultivada em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 401-413, 2010.
- BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, H. E. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, L. P.; SEDIYAMA, C. S.; ALVAREZ V.; LANI, J. A. Acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn pelo cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, v. 54, n. 314, p.398-404, 2007.
- COVRE, A. M.; PARTELLI, F. L.; MAURI, A. L.; DIAS, M. A. Crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de café conilon. **Revista Agro@**, v. 7, n. 2, p.193-202, 2013.
- CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991. 900p.
- GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for windows: Realize 7,0, contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers user's guide**. New York: Golden Software Inc., 1999. 619p.
- GEOBASES - **Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo**. GEOBASES/IBGE. 2008. Disponível em: <http://www.geobases.com.br/portal>. Acesso em 19 de novembro de 2013.
- GOMES, W. R.; PARTELLI, F. L. Faixas adequadas para cafeeiro conilon no Norte do Espírito Santo, conforme fases fenológicas. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., 2013, Vitória da Conquista. **Resumos...** Vitória da Conquista: Embrapa, 2013.
- GONTIJO, I.; NICOLE, L. R.; PARTELLI, F. L.; BONOMO, R.; SANTOS, E. O. J. Variabilidade e correlação espacial de micronutrientes e matéria orgânica do solo com a produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.4, p.1093-1102, 2012.
- LEÃO, M. G. A.; JÚNIOR, J. M.; SOUZA, Z.; SIQUEIRA, D. S.; PEREIRA G. T. O relevo na interpretação da variabilidade espacial dos teores de nutrientes em folha de citros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n.11, p.1152–1159, 2010.
- LI, Y. et al. Spatial variability of soil quality and asparagus spear yield in an area of plastic-greenhouse cultivation on Chongming Island, China. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 7, n. 15, p. 2262-2272, 2012.
- MACHADO, L. O.; LANA, Â. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p.591-599, 2007.

MOLIN, J. P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: BOREM, A., ed. **Agricultura de precisão**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2000. p.237–257.

OLIVEIRA, R. B. **Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas de café conilon para fins de agricultura de precisão**. 2007. 129 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2007.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo - 5ª aproximação**. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

ROBERTSON, G. P. **Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.

SANTOS, E. O. J. de.; GONTIJO, I.; NICOLE, L. R.; SILVA, M. B.da. Variabilidade espacial de micronutrientes catiônicos em uma lavoura de café conilon no Norte do Estado do Espírito Santo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p.2092-2101, 2013.

SANTOS, E. O. J.; GONTIJO, I.; NICOLE, L. R. Distribuição espacial dos nutrientes em um Latossolo cultivado com pimenta-do-reino. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, n.13, p. 410-419, 2011.

WARRICK, A. W. & NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. Cap.13, p.319-344.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, v.37, n.4, p. 1000-1007, 2007.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e ftopedologia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, SP, 2001.

CAPÍTULO 3

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ATAQUE DE *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867) EM *Coffea canephora*

RESUMO: O estudo da dinâmica espacial de insetos é uma prática muito difundida em várias culturas, entretanto, em relação à distribuição espacial da broca-do-café, *Hypothenemus hampei* em *Coffea canephora*, existem poucos relatos. Este estudo teve como objetivo determinar a variabilidade espacial da incidência de *H. hampei* em *C. canephora*. Foi instalada uma malha irregular com 100 pontos em uma lavoura de alta produtividade, localizada em São Mateus, ES, durante as safras 2011/2012 e 2012/2013. Avaliou-se após a coleta de amostras de frutos em cada ponto o número de frutos broqueados pela praga por meio da verificação da perfuração característica da praga. Os dados foram submetidos à análise geoestatística. Foi possível verificar a variabilidade de densidade no ataque da praga em nos dois anos safra. Os ajustes dos modelos de semivariogramas esférico e exponencial indicaram existir dependência espacial para o ataque do inseto. O alcance do ataque da praga em 2012 foi de 25,7 m e no ano seguinte de 15 m. O que possibilitou observar mudança do padrão de distribuição dos focos da praga e que a tendência de migração do ataque da praga de uma safra para outra no sentido de agrega-las.

Palavras chave: broca do café, geoestatística, café conilon, semivariograma.

**SPATIAL DISTRIBUTION OF ATTACK OF *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867)
IN *Coffea canephora***

ABSTRACT: The study of the spatial dynamics of insects is a widespread practice in many cultures but in relation to the coffee berry borer spatial distribution (*Hypothenemus hampei*) in *Coffea canephora* there are few reports. This study aimed to determine the *H. hampei* spatial variability. An irregular mesh with 100 points was installed in a high-productivity crop located in São Mateus, Espírito Santo during 2012 and 2013 harvest. After collection of fruit samples it was evaluated checking the characteristic perforation by the insect. The data were submitted to analysis geostatistics. It was possible to verify the variability of density in the attack of the plague in the two crop years. The adjustments of the spherical and exponential models semivariograms indicated spatial dependence exists for insect attack. The scope of the attack of the plague in 2012 was 25,7 m the next year of 15 m. That made it possible to observe changes in the pattern of distribution of outbreaks of the plague and the trend of migration from pest attack a crop to another in order to aggregate them.

Keywords: coffee berry borer, geostatistic, conilon coffee, semivariogram.

INTRODUÇÃO

Considerando as novas tecnologias com potencial de serem utilizadas no manejo de pragas, a agricultura de precisão, através do georreferenciamento das populações, é uma ferramenta que pode ser usada tanto no monitoramento quanto no controle de insetos. As tecnologias têm um grande potencial de uso na agricultura e permite adequar o manejo às variações espaciais e temporais das culturas e aos fatores que afetam a sua produtividade. A prática da agricultura de precisão pode trazer diversos benefícios econômicos e ambientais como a aplicação localizada de produtos fitossanitários, podendo reduzir mais de 60% das quantidades utilizadas, minimizando os custos de produção e o impacto ambiental (Zambolim & Zambolim, 2008).

A criação e o manejo adequado de programas de amostragem de insetos é feita de forma segura ao se considerar como parte do desenvolvimento destes o conhecimento da distribuição espacial dos insetos (Dal Prá et al., 2011). O padrão de distribuição espacial dos insetos em agroecossistemas pode ser classificado em agregado, aleatório ou uniforme (Krebs, 1989; Elliott, 1983). No padrão agregado os indivíduos se relacionam mutuamente uns com os outros, já nos padrões uniformes ou aleatórios, os indivíduos se relacionam de forma independente. Os insetos, porém, quando se deparam com habitats com escassez de alimento e abrigo, dificuldade de encontro com parceiros sexuais e condições microclimáticas desfavoráveis, migram ou se dispersam para manchas de recursos mais favoráveis (Moilanen & Hanski, 1998; Kleijna & Angevelde, 2006).

A partir do monitoramento, os agricultores podem ter maior controle da distribuição e variação de insetos - praga na sua área agrícola, auxiliando no processo da tomada de decisão e adoção de estratégias de manejo mais eficazes. Assim, o levantamento georreferenciado através de programas geoestatísticos que geram mapas de distribuição espacial e ocorrência de insetos em uma determinada área, contribui para o melhor entendimento das variações das populações no

espaço-tempo, dispersão, deslocamento, migração, crescimentos e declínios populacionais (Aguero, 2010).

A geoestatística se fundamenta no princípio de que a diferença no valor de uma dada variável, em dois pontos, é dependente da distância entre esses, associada às técnicas usadas para analisar e inferir valores de uma variável distribuída no espaço e/ou no tempo (García, 2006). Para a modelagem da dependência espacial em estudos entomológicos com geoestatística é utilizada a função de semivariância, onde os semivariogramas constituem em modelos adequados para medir o padrão de distribuição espacial de insetos (Brenner et al.,1998; Barrigossi et al.,2001; Bacca et al.,2006; Fernandes et al.,2008).

De acordo com Fernandes (2009), o conhecimento do comportamento espacial do inseto pode fornecer uma melhor decisão no controle, ao se decidir aplica-lo somente nas regiões onde a mesma ocorre em maiores densidades. Blackshaw e Vernon (2006) complementam ao afirmarem que as estratégias de manejo de redução do uso de inseticidas são possíveis a partir do conhecimento da dinâmica no tempo e espaço dos insetos nos agroecossistemas.

O estudo da variabilidade espacial de pragas é de grande importância para adoção de medidas de manejo, entretanto, poucos são os trabalhos realizados neste sentido para *Hypothenemus hampei*. Deste modo, objetivou-se no presente estudo caracterizar a variabilidade espacial do ataque de *H. hampei* em lavouras de café conilon, bem como gerar mapas da distribuição espacial do ataque da praga em dois anos consecutivos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado o período de janeiro/2012 a agosto/2013, no distrito de Nestor Gomes Rodovia ES 381, Km 28 no município de São Mateus, Norte do Estado do Espírito Santo (Figura 1.). As coordenadas geográficas estão situadas latitude 18° 43' S, longitude 40° 30' W com altitude média de 82 metros.



Figura 1 - Localização e vista por satélite da área experimental. Fonte: Geobases, (2008).

A área experimental possui 1,0 hectare com o cultivo de café conilon (*Coffea canephora*). O genótipo utilizado foi o Bamburral. A lavoura foi instalada em março de 2010, com espaçamento 3,0 x 1,0 m (3.333 plantas ha⁻¹), sob o sistema de irrigação por microaspersão. O clima da região é quente e úmido (tipo Aw de Köppen), com estação seca no outono-inverno e estação chuvosa na primavera-verão.

A lavoura foi instalada em março de 2010, com espaçamento de 3,0 x 1,0 m (3.333 plantas ha⁻¹), sob o sistema de irrigação por microaspersão. O clima da região é quente e úmido (tipo Aw de Köppen), com estação seca no outono-inverno e estação chuvosa na primavera-verão. Os dados meteorológicos foram obtidos da estação 83550 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Figura 2).

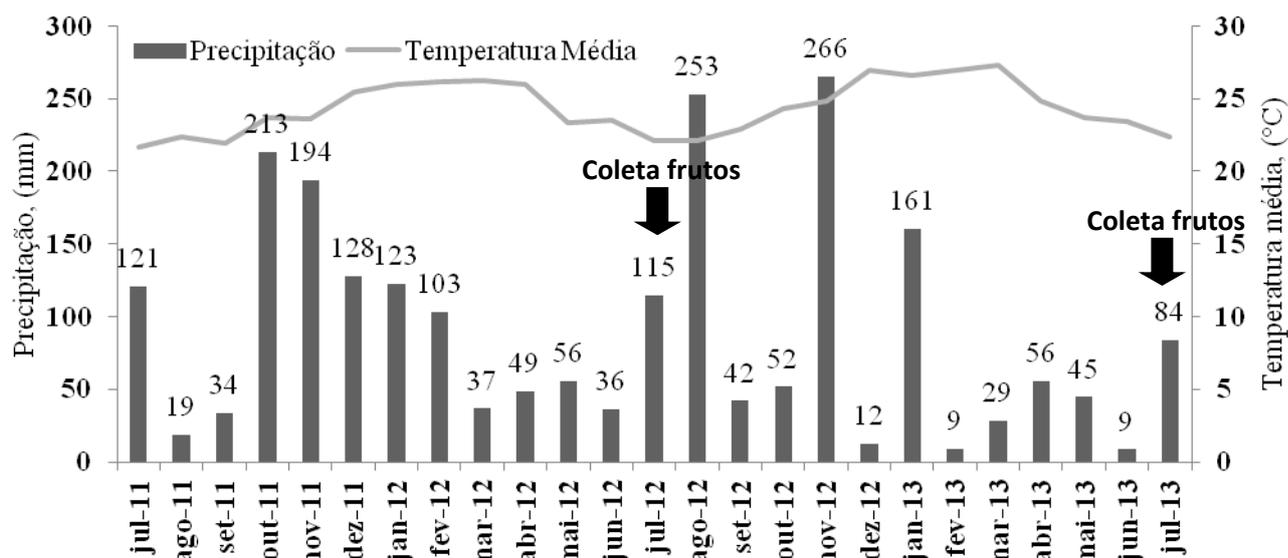


Figura 2 - Temperatura média e precipitação pluviométrica acumulada dos anos de 2011 a 2013 no Município de São Mateus - ES.

Em maio de 2012, foi instalada uma malha irregular de 10.000 m² com 100 pontos, sendo que cada ponto correspondeu uma planta, com distância mínima de 1 m (Figura 3). Para georreferenciamento dos pontos, foi utilizado um par de receptores GPS TechGeo®, modelo GTR G2 geodésico. Os dados, após serem processados pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do IBGE, apresentaram precisão de 10 mm + 1 ppm.

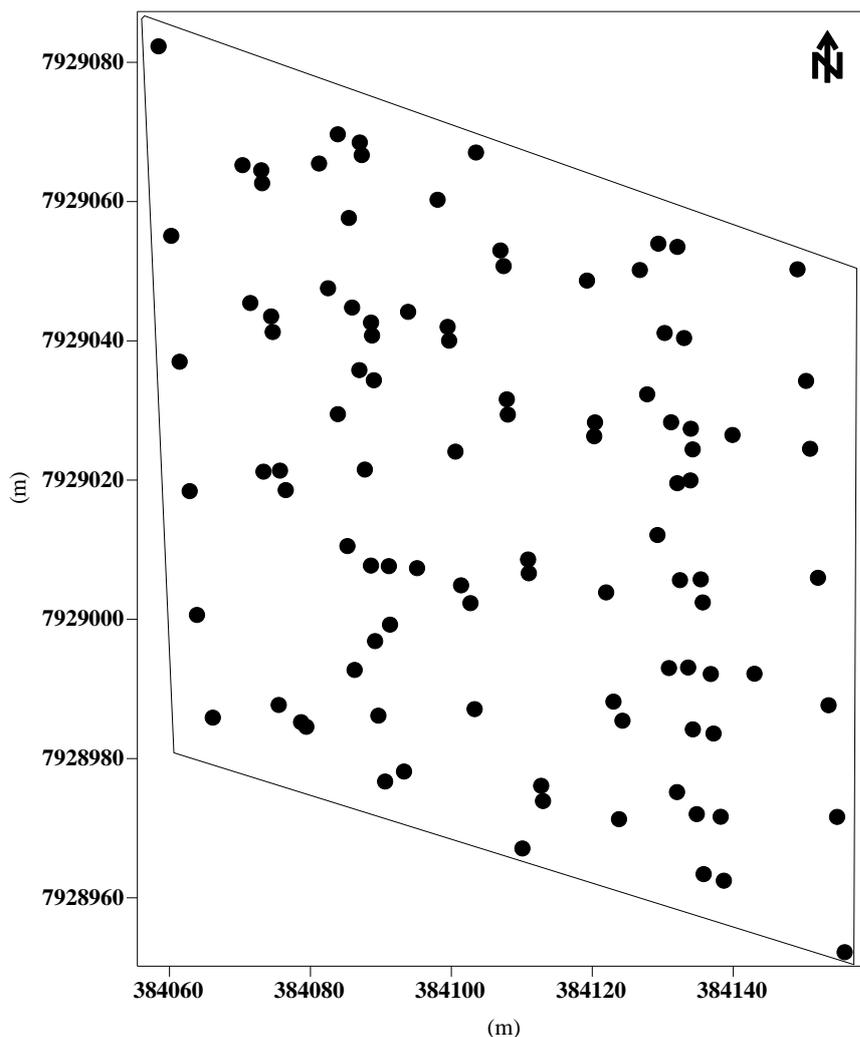


Figura 3 - Malha amostral com 100 pontos, elaborada para amostragem dos frutos de café. Cada ponto representando uma planta de *Coffea canephora*.

Os frutos do terço médio de cada planta foram coletados para formar uma amostra com volume de 300 ml de frutos, as coletas foram em ambos os anos em julho (Figura 2). Os frutos de cada amostra foram avaliados e classificados como: frutos broqueados e frutos não broqueados. A partir dessa avaliação foi possível estimar a porcentagem de frutos broqueados em cada planta (ponto). Foi considerado o nível de dano econômico para praga em 4% para a cultura do café conilon, de acordo com a classificação da Embrapa (2005). O produtor não realizou nenhum tipo de controle químico na área para a praga em estudo.

Os resultados foram submetidos à análise inicial por meio da estatística descritiva e exploratória, considerando: média aritmética, variância amostral, desvio-padrão, coeficiente de variação, valores máximo e mínimo, coeficiente de assimetria e de curtose e o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov a 5% de

probabilidade. A análise exploratória dos valores permitiu a verificação de candidatos a valores discrepantes (*outliers*) e sua influência sobre as medidas de posição e dispersão.

Utilizou-se o cálculo dos quartis da distribuição dos valores dos atributos estudados para identificação de dados discrepantes, com base na amplitude interquartílica (A_i), utilizando os critérios dos limites inferior (L_i) e superior (L_s), conforme realizado por Oliveira (2007) (Equações 1,2 e 3).

$$A_i = Q_3 - Q_1 \quad \text{Equação 1}$$

$$L_s = Q_3 + (1,5 \cdot A_i) \quad \text{Equação 2}$$

$$L_i = Q_1 - (1,5 \cdot A_i) \quad \text{Equação 3}$$

em que: A_i = Amplitude interquartílica; L_s = Limite superior; L_i = Limite inferior; Q_3 = terceiro quartil ; e Q_1 = primeiro quartil.

Nas ocasiões de ocorrência de dados discrepantes, fez-se a avaliação para uma possível substituição ou descarte dos mesmos, para aplicar novamente os procedimentos descritos anteriormente sem as observações com valores extremos. A decisão de exclusão ou não desses valores do conjunto de dados, seguiu o rigor de confrontar e verificar a interferência dos candidatos a dados influentes sobre a resposta final do ajuste.

Os dados foram também submetidos à análise geoestatística, objetivando definir a variabilidade espacial do ataque da broca nos anos de 2012 e 2013, primeiramente através dos semivariogramas e, em seguida, pelo mapeamento dos níveis de ataque da praga aos frutos de café conilon. A análise da dependência espacial foi realizada com auxílio do software GS+ Versão 7® (Robertson, 1998), que realiza os cálculos das semivariâncias amostrais. O padrão de dependência espacial do ataque da broca foi analisado pelo estudo do variograma. As avaliações de campo foram consideradas uma função aleatória $Z(x)$ onde (x) indica a posição espacial (Equação 4).

$$\gamma(h) = \frac{\sum_{i=1}^{n(h)} [(Z(x_i+h) - Z(x_i))]^2}{2N(h)} \quad \text{Equação 4}$$

Em que: $\gamma(h)$ é a semivariância estimada; $N(h)$ é o número de pares de dados observados; $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$, onde essa função teórica ajusta-se aos valores experimentais para representar as relações espaciais entre os dados.

Para validar o modelo teórico ajustado ao variograma experimental, foi utilizado o método da validação cruzada que consiste na avaliação do coeficiente de correlação entre os valores observados e estimados, onde o erro padrão de estimação avalia quantitativamente o ajuste do variograma e os erros decorrentes.

O índice de dependência espacial foi calculado de acordo com Zimback (2001) que descreveu como dependência espacial fraca, o índice menor que 25%; dependência espacial moderada de 25 a 75%, e, dependência espacial forte o índice maior que 75% (Equação 5).

$$IDE = \frac{C}{C_0 + C} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

Em que: C é a variância estrutural ou a diferença entre o C_0 e o patamar ($C_0 + C$) é o valor de variância correspondente ao ponto em que o mesmo estabiliza.

A partir dos semivariogramas ajustados, utilizou-se o programa computacional *Surfer* (Golden Software, 1999) na interpolação por krigagem, gerando mapas de variabilidade espacial da variável na área estudada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A porcentagem de frutos broqueados por *H. hampei* variou de 0 a 34,72% em 2012 e de 0 a 26,85% em 2013. Houve grande dispersão dos dados, fato que pode ser observado pelo coeficiente de variação (CV) e valores de máximos e mínimos (Tabela 1).

Tabela 1. Estatística descritiva dos dados do ataque de *H. hampei* nos anos de 2012 e 2013 em *Coffea canephora*, obtido a partir de 100 amostras.

Estatística Descritiva	Ataque Broca	
	2012	2013
	% frutos broqueados	
Média	4,17	2,73
Mediana	1,85	0,93
DP	6,45	4,44
VA	41,53	19,75
Mínimo	0,00	0,00
Máximo	34,72	26,85
CV (%)	154,67	163,66
Ass.	3,11	3,01

Curt.	10,76	11,16
KS	0,26	0,27
VC - KS (5%)	0,14	0,14

DP: desvio padrão; VA: variância amostral; CV: coeficiente de variação; Ass.: coeficiente de assimetria; Curt.: coeficiente de curtose; KS: valores de probabilidade da estatística Kolmogorov-Smirnov ; VC - KS: valores críticos do teste de Kolmogorov-Smirnov a 5%.

No primeiro ano, a média de frutos broqueados (4,71%) atingiu o nível de danos econômico de 4%. No segundo ano, esse índice (2,73%) ficou abaixo do recomendado para o controle químico da praga (Tabela 1).

A simetria foi maior que zero e a curtose da mesma forma, para ambos os anos. Estes dados indicam que as curvas de distribuição de frequência tendem a ser assimétricas e apresentam o grau de afilamento superior ao da curva de distribuição normal. Os dados obtidos pela porcentagem de frutos broqueados se concentraram acima das médias. De acordo com o estudo de Cressie (1991), nos estudos que utilizam técnicas da geoestatística, a normalidade dos dados não é uma exigência, sendo necessário que no gráfico de distribuição normal, o atributo não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as análises. Mais importante que a normalidade dos dados é a ocorrência ou não do chamado efeito proporcional, em que a média e a variabilidade dos dados sejam constantes na área em estudo, ou seja, ocorre a estacionaridade necessária ao uso da geoestatística (Isaaks & Srivastava, 1989).

Na análise espacial do ataque de *H. hampei* na lavoura ajustou-se o modelo esférico para ambos os anos (Tabela 2 e Figura 4).

Tabela 2. Parâmetros do modelo teórico ajustado ao variograma experimental, modelado por aproximação ponderada dos quadrados mínimos, para broca-do-café, e o resultado da validação cruzada da krigagem.

Parâmetros	Ataque Broca 2012	Ataque Broca 2013
Modelo	Esférico	Exponencial
Efeito Pepita (C_0)	19,05	3,21
Patamar (C_0+C)	45,36	21,14
Alcance (m)	25,7	15
IDE (%)	58	85
R²	0,88	0,85
SQR	63,1	22,6
r²	0,37	-0,01

IDE: índice de dependência espacial; R^2 : coeficiente de determinação do modelo ajustado; SQR: soma de quadrados do resíduo; r^2 : coeficiente de determinação da validação cruzada.

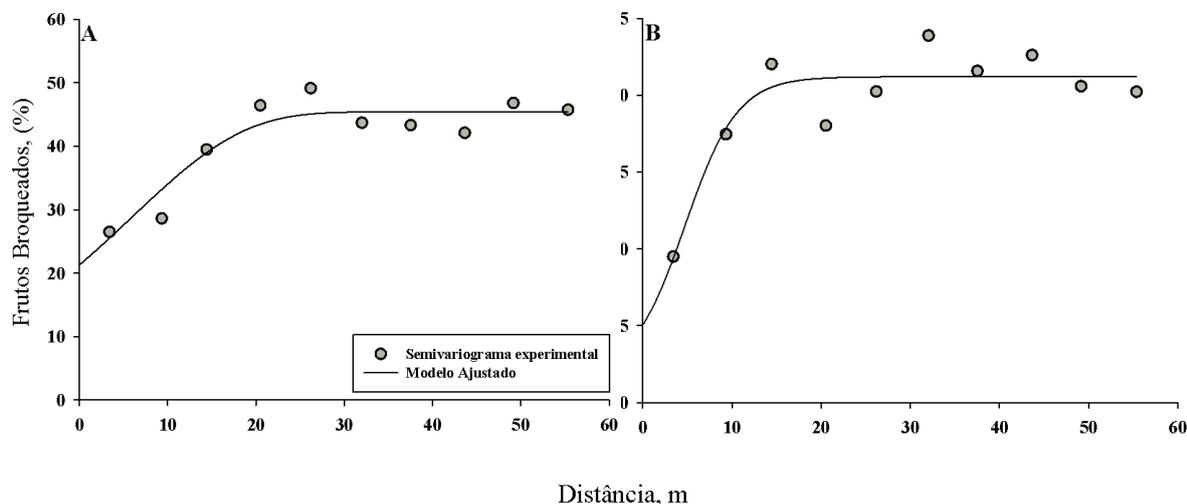


Figura 4 - Semivariograma experimental ajustado para caracterizar a variabilidade espacial do ataque da broca-do-café em uma lavoura de *Coffea canephora*. A: 2012 e B: 2013.

O ataque da broca em 2012 apresentou maior continuidade espacial (25,70 m) na área (Tabela 2 e Figura 4A), comparado ao ano posterior (15,00 m) (Tabela 2 e Figura 4B). Este fato se deveu, provavelmente porque na família Scolytidae como *H. hampei* que atacam frutos, ocorre uma tendência de agregações contínuas, com formação de focos de infestação (Damon, 2000).

De maneira geral, o raio de ataque da praga reduziu em 11 m, cerca de 40%, do ano 2012 para o ano de 2013. Essa redução se deveu provavelmente, pela influência de fatores ambientais, fenologia das plantas de café, características dos frutos e manejo da cultura. De acordo com Sponagel (1994), o ciclo anual da infestação de *H. hampei* é muito relacionada com a da cultura do café e mais ainda onde o produção de café produção é marcadamente sazonal e não contínuo na natureza.

As plantas de café possuem frutos em determinadas épocas do ano e distribuem-se de forma irregular e imprevisível no espaço, sob a forma de manchas temporárias de recursos (Camargo & Camargo, 2001). Fernandes (2009) descreve que para a *H. hampei* manter a sobrevivência de sua população até o fim da safra, a praga poderia utilizar duas estratégias: diapausa e/ou migração.

Ao observar a quantidade de chuva acumulada no período de entressafra, que compreende a estação primavera/verão (setembro até março), verifica-se que na safra 2011/2012, a precipitação foi de 832 mm e na safra 2012/2013 no mesmo período, a quantidade de chuva foi cerca de 30% menor (571 mm) e com distribuição mais desuniforme entre os meses (Figura 2).

No período de dezembro de 2011 a fevereiro de 2012 (época da granação do cafeeiro), a quantidade de chuva foi superior ao observado de dezembro de 2012 a fevereiro de 2013, o que pode ter retardado a maturação dos frutos e conseqüentemente, o início de reprodução da broca, visto que, a fêmea só inicia a ovoposição em frutos granados.

O trânsito da broca, período em que as fêmeas saem dos frutos que permaneceram na cultura após a colheita para infestar aqueles da nova safra, ocorre na região do norte do Espírito Santo, geralmente no mês de outubro. No ano de 2011, o índice pluviométrico contatado nesse mês (213 mm) foi superior (4 vezes) ao observado em 2012 (52 mm).a

Esta condição de ambiente pode ter significativa influência na "quebra" de ciclo da praga, pois de acordo com Baker & Barrera (1993), na estação seca, a fêmea de *H. hampei* permanece semi-inativa em frutos velhos esperando para as primeiras chuvas que estimulam as fêmeas a saírem e procurar novos frutos em para iniciar o próximo ciclo. Assim, no ano de 2012, o "gatilho" foi retardado, ocorrendo em novembro, conseqüentemente, além de atrasar a saída da broca dos frutos velhos, a menor quantidade de chuva em outubro, pode ter reduzido a sua população nos frutos deixados sem colher.

O modelo de semivariograma do ataque da broca em 2012 apresentou índice de moderada dependência espacial ($25\% \leq IDE \leq 75\%$) e forte ($IDE > 75\%$) dependência espacial para 2013, conforme os critérios estabelecidos por Zimback (2001), comprovando a tendência de agregação da praga. Moore et al. (1990) considerou o comportamento de agregação de besouros ser uma resposta as defesas do hospedeiro mediadas por feromônios.

Os dados foram interpolados utilizando a técnica da krigagem, desse modo foi possível confeccionar o mapa do ataque da praga na cultura para melhor compreensão do seu comportamento, quanto a sua distribuição espacial na área (Figura 5).

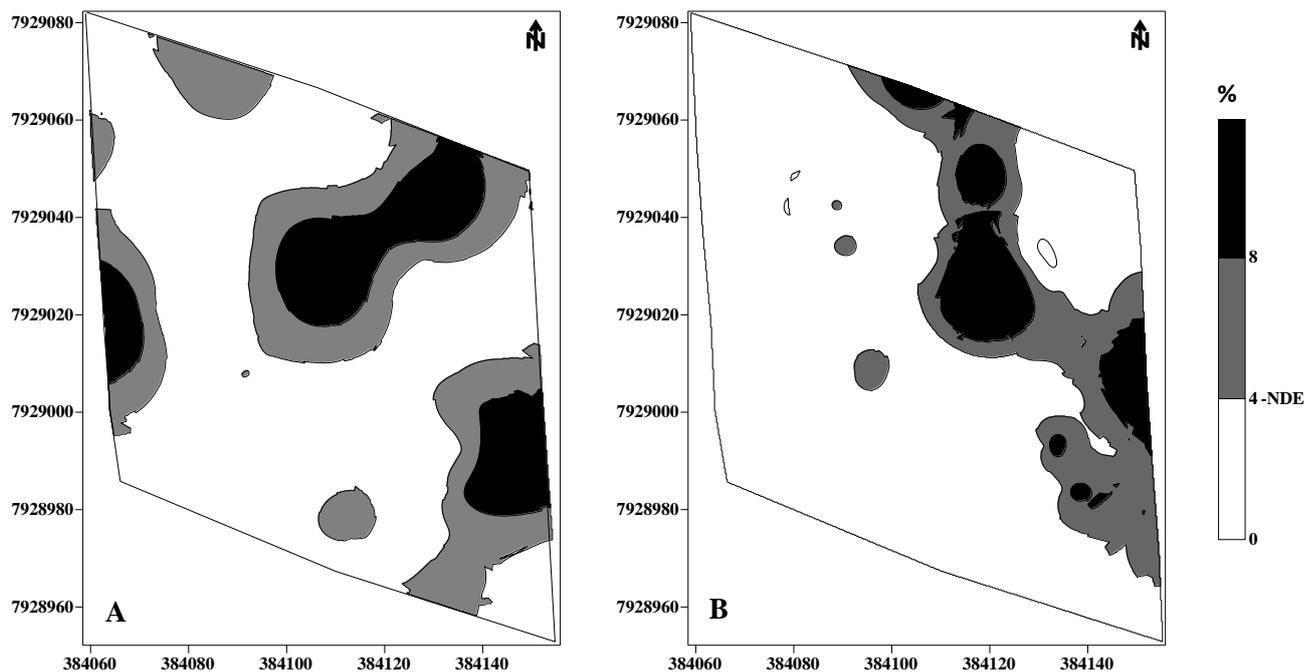


Figura 5 - Mapa da distribuição espacial do ataque da broca-do-café. 2012: A e 2013: B. NDE: nível de dano econômico. Frutos broqueados em %.

Pode-se observar na Figura 3A para o ano de 2012, que as regiões de maior intensidade de ataque, com valores superiores ao nível de dano econômico, partem das bordas até o centro da lavoura, mas com focos bem definidos e distintos. O comportamento observado no ano seguinte foi de um ataque menos intenso, em que os focos com maiores níveis de dano se agregaram.

Assim, o padrão de distribuição espacial dos insetos resulta da sua interação com o ambiente. Neste contexto, a distribuição espacial dos insetos é influenciada pela qualidade dos habitats (Kleijna & Angevelde, 2006), as variáveis ambientais que podem influenciar de maneira significativa na interação inseto-planta. Os insetos, porém, quando se deparam com habitats com escassez de alimento e abrigo, dificuldade de encontro com parceiros sexuais e condições microclimáticas desfavoráveis, migram ou se dispersam para manchas de recursos mais favoráveis (Moilanen & Hanski, 1998; Kleijna & Angevelde, 2006).

De forma geral, a área de ataque da broca foi menor no ano de 2013 comparado com o ano anterior, no entanto as regiões em que as plantas apresentaram infestações acima do nível de dano econômico foram semelhantes, dados que corroboram com a biologia da praga que sobrevive e completa seu ciclo

nos frutos remanescentes da colheita que ficam no solo ou na planta. A infestação ocorre pela primeira vez em frutos ligados às plantas, mas a reprodução continua posteriormente, nos frutos que caem no solo e nos frutos secos, desde que a umidade não caia abaixo de 12,5% (*C. canephora*) ou 13,5% (*C. arabica*) (Waterhouse & Norris, 1989).

O comportamento reprodutivo das fêmeas adultas de *H. hampei* provavelmente seja o maior motivo de seu comportamento de agregação. Nesse contexto, a incapacidade de vôo dos machos, que possuem as asas atrofiadas e a baixa razão sexual (10 fêmeas: 1 macho) podem resultar em maior efetividade de reprodução sob distribuição agregada (Benavides, 2005). Assim, os machos presentes em reduzido número e com incapacidade de vôo (Barrera et al., 1995), podem acasalar com as irmãs no interior dos frutos.

De maneira geral, pode-se verificar que a decisão de controlar a praga deveria ser aplicada, de forma localizada nas regiões em que os valores atingiram o nível de dano econômico.

CONCLUSÕES

O uso da ferramenta geoestatística permitiu caracterizar a distribuição do ataque da broca do café conilon como agregado.

A decisão de realizar o controle da praga deve ser tomada para as regiões onde se atingiu o nível de dano econômico.

O estudo do ataque da broca do café em dois anos consecutivos possibilitou observar mudança do padrão de distribuição dos focos da praga e que a tendência de migração do ataque da praga de uma safra para outra no sentido de agrega-las.

A precipitação influenciou de forma significativa na infestação da praga de uma safra para a outra.

REFERÊNCIAS

- AGUERO, M. A. F. **Distribuição espacial e temporal de percevejos pentatomídeos em sucessões culturais sob pivô central e áreas adjacentes.** 2010. 85f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.
- BACCA, T.; LIMA, E. R.; PICANÇO, M. C.; GUEDES, R. N. C.; VIANA, J. H. N. Optimum spacing of pheromone traps for monitoring the Coffee leaf miner *Leucoptera coffeella*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 119, n. 1, p.39-45, 2006.
- BAKER, P. S.; BARREIRA, J. F. A field study of a population of coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera ; Scolytidae) in Chiapas, Mexico. **Tropical Agriculture**, v. 70, p.351-355, 1993.
- BARRERA, J. F.; GÓMEZ, J.; ALAUZET, C. Can the coffee berry borer (*Hypothenemus hampei*) reproduce by parthenogenesis. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 77, n.3, p.351-354, 1995.
- BARRIGOSI, J. A. F.; YOUNG, L. J.; CRAWFORD, C. A. G.; HEIN, G.L.; HIGLEY, L. G. Spatial and probability distribution of Mexican bean beetle (Coleoptera: Coccinellidae) egg mass populations in dry bean. **Environmental Entomology**, v. 30, n. 2, p.244-253, 2001.
- BENAVIDES, P.; VEGA, F. E.; ROMERO-SEVERSON, J.; BUSTILLO, A. E.; STUART, J.J. Biodiversity and biogeography of an important inbred pest of coffee, coffee berryborer (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae). **Annals of the Entomological Society of America**, v. 98, n. 3, p.359-366, 2005.
- BLACKSHAW, R. P.; VERNON, R. S. Spatio temporal stability of two beetle populations in non-farmed habitats in an agricultural landscape. **Journal of Applied Ecology**, v. 43, n. 4, p.680-689, 2006.
- BRENNER, R. J.; FOCKS, D. A.; ARBOGAST, R. T.; WEAVER, D. K.; SHUMAN, D. Practical use of spatial analysis in precision targeting for integrated pest management. **American Entomologist**, v. 44, n. 2, p.79-101, 1998.
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v. 60, n. 1, p.65-68, 2001.
- CRESSIE, N. **Statistics for spatial data.** New York: John Wiley, 1991. 900p.
- DAL PRÁ, E.; GUEDES, J. V. C.; CHERMAN, M. A.; JUNG, A. H.; SILVA, S. J. P.da; RIBAS, G. G. Uso da geoestatística para caracterização da distribuição espacial de larvas de *Diloboderus abderus*. **Ciência Rural**, v. 41, n. 10, p.1689-1694, 2011.
- DAMON, A. A review of the biology and control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae). **Bulletin Entomological Research**, v. 90, n. 6, p.453-465, 2000.

ELLIOTT, J. M. **Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates**. London: Freshwater Biological Association, 1983. 157p.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo do Café Robusta em Rondônia**. Sistemas de Produção, v.5. Rondônia: Embrapa, 2005. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Cafe/CultivodoCafeRobustaRO/pragas.htm>. Acesso em: 25 nov. 2013.

FERNANDES, F. L. **Distribuição espacial e programa de tomada de decisão de controle usando armadilha para *Hypothenemus hampei***. Tese (Doutorado em Entomologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

FERNANDES, F. L.; PICANÇO, M. C.; FERNANDES, M. E. S.; CHEDIK, M.; TOMÉ, H. V. V.; GONTIJO, P. C. Impacto de inseticidas e acaricidas sobre organismos não alvos. In: ZAMBOLIM, L.; PICANÇO, M.C.; SILVA, A.A.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, F. A., JESUS JÚNIOR, W. C. (Eds.). **Produtos fitossanitários (fungicidas, inseticidas, acaricidas e herbicidas)**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2008. p. 575-606.

GARCÍA, F. J. M. Analysis of the spatio-temporal distribution of *Helicoverpa armigera* Hb. in a tomato field using a stochastic approach. **Biosystems Engineering**, v. 93, n. 3, p.253-259, 2006.

GEOBASES - **Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo**. GEOBASES/IBGE. 2008. Disponível em: <http://www.geobases.com.br/portal>. Acesso em 19 de novembro de 2013.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for windows: Realize 7,0, contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers user's guide**. New York: Golden Software Inc., 1999. 619p.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics: introduction to applied geostatistics**. Oxford: University Press, 1989. 561p.

KLEIJNA, D.; LANGEVELDE, F.V. Interacting effects of landscape context and habitat quality on flower visiting insects in agricultural landscapes. **Basic and Applied Ecology**, v. 7, n. 3, p.201-214, 2006.

KREBS, C. J. **Ecological methodology**. New York: Harper and Hall, 1989. 654p.

MOILANEN, A.; HANSKI, I. Metapopulation dynamics: Effects of habitat quality and landscape structure. **Ecology**, v.79, n.7, p. 2503-2515, 1998.

MOORE, D.; ABRAHAM, Y. J. & MILLS, N. J. Effects of competition in the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Col. Scolytidae). **Journal of Applied Entomology**. v. 109, p. 64-70, 1990.

OLIVEIRA, R. B. **Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas de café conilon para fins de agricultura de precisão**. 2007. 129 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2007.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo - 5ª aproximação**. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

ROBERTSON, G. P. **Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152p.

SPONAGEL, K. W. La broca del café *Hypothenemus hampei* en plantaciones de café robusta en la Amazonía Ecuatoriana. 191p. **Giessen, Germany, Wissenschaftlicher, Fachverlag**.1994.

ZAMBOLIN, L.; ZAMBOLIN, E. M. Agricultura de precisão. In: ZAMBOLIN, L.; CONCEIÇÃO, M. Z.; SANTIAGO, T. **O que os engenheiros agrônomos devem saber para orientar o uso de produtos fitossanitários**. Viçosa: UFV, 2008. Cap.7. p.259-359.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, SP, 2001.

CONCLUSÕES GERAIS

Verificou-se que os teores de macro e micronutrientes foliares e a produtividade em ambos os anos apresentaram estrutura dependência espacial forte e moderada, o que permitiu evidenciar a variabilidade nutricional entre as plantas.

Na análise linear a produtividade foi limitada pelos teores dos nutrientes na área, principalmente pelos elementos: K, Ca, Mg, Fe e Cu.

Ao estudar o ataque da broca do café em dois anos consecutivos possibilitou observar mudança do padrão de distribuição dos focos da praga e a tendência de migração do ataque da praga de uma safra para outra no sentido de agregar os focos de infestação, somando-se a informação que as condições de clima influenciaram de forma significativa a infestação da praga de uma safra para outra.