

**MODELAGEM GEOESTATÍSTICA DA
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE DOENÇAS DO
FEIJOEIRO COMUM E DA SOJA E SUA
RELAÇÃO COM A FERTILIDADE DO SOLO E
NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS**

EUDES DE ARRUDA CARVALHO

2008

EUDES DE ARRUDA CARVALHO

**MODELAGEM GEOESTATÍSTICA DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE
DOENÇAS DO FEIJOEIRO COMUM E DA SOJA E SUA RELAÇÃO
COM A FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO MINERAL DE
PLANTAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2008

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

Carvalho, Eudes de Arruda.

Modelagem geoestatística da distribuição espacial de doenças do feijoeiro comum e da soja e sua relação com a fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas / Eudes de Arruda Carvalho. – Lavras : UFLA, 2008.

83 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2008.

Orientador: Edson Ampélio Pozza.

Bibliografia.

1. Geoestatística. 2. *Phaseolus vulgaris*. 3. *Glycine max*. 4. Nutrientes. 5. *Sclerotinia sclerotiorum*. 6. *Cercospora kikuchii*. 7. *Septoria glycines*. 8. *Heterodera glycines*. 9. Distribuição espacial. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 635.65293

EUDES DE ARRUDA CARVALHO

**MODELAGEM GEOESTATÍSTICA DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE
DOENÇAS DO FEIJOEIRO COMUM E DA SOJA E SUA RELAÇÃO
COM A FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO MINERAL DE
PLANTAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 29 de fevereiro de 2008

Prof. Dr. Fernando César Juliatti

UFU

Prof. Dr. Paulo Estevão de Souza

UFLA

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

*À minha família, que mesmo distante demonstra
intensa presença em minha vida, transmitindo coragem e
motivando-me sempre.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

A DEUS, pelo dom da vida.

À Universidade Federal de Lavras, por meio do Departamento de Fitopatologia (DFP), pela oportunidade de realização do curso de Mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos e pelo apoio financeiro ao projeto.

Ao Prof. Edson Ampélio Pozza, pela orientação, incentivo e amizade.

Aos professores Pedro Milanez de Rezende, Vicente Paulo Campos, Eduardo Alves e Janice Guedes de Carvalho, pelo apoio e ensinamentos ao longo do curso.

Aos professores Fernando César Juliatti e Paulo Estevão de Souza, pelas sugestões.

A todos os professores do Departamento de Fitopatologia, pelos conhecimentos transmitidos.

Aos pesquisadores da Embrapa Soja, Waldir Pereira Dias e Álvaro Manuel Rodrigues Almeida e pós-doutorandos da UFLA Marcelo de Carvalho Alves e Adélia Aziz Alexandre Pozza e Jadir Borges Pinheiro, pelas contribuições prestadas.

À Fundação de Apoio ao Ensino Pesquisa e Extensão (FAEPE) e à Empresa Laçador Sementes, pela concessão de áreas de cultivo para coleta de dados.

A todos os técnicos e funcionários do Departamento de Fitopatologia, pela amizade e companheirismo, e, em especial, a Tarlei e Eloísa Leite, pela imensurável contribuição na execução dos trabalhos.

Aos estudantes Alécio, Cleilson, Esdras Henrique, Glauco, João Carlos e Thiago Antônio, pelo auxílio nas coletas e análises de amostras.

Aos professores Rômulo Pedro, Jáber Peixoto Silva, Geraldo Márcio da Costa, Samuel Pereira de Carvalho, Luiz Antônio de Bastos Andrade, Mário Lúcio Vilela de Resende e Luiz Antônio Augusto Gomes, pelo exemplo a ser seguido e amizade.

Aos amigos da Clínica Fitossanitária: Bruno, Eliane, Rute, Val e Wladimir.

Aos Doutores Hermínio e Deila Magna pelas conversas, sugestões e estímulos.

Aos amigos Renata, Grazieli, Márcia, Carla, Fernanda, Lahyre, Rejane, Renata Kelly, Diego, Câmara, Daniel Diego, Julian Mauricio, Álvaro, Sandro, Eduardo, Alex, Janine, Sarah, Regiane, Fabiano, Amanda, Hebe, prof. Joel, Júlio, Luiz Henrique, Felipe, Pedro, Daniel Rufino, Igor, João de Cássia, Dejânia, Franklin, Flávio e Anderson Almeida, pelo convívio e amizade.

Aos colegas do Departamento de Agricultura, Mário ("Manguim") João, Alessandro, Júlio, Agnaldo e Sr. Correia, pela amizade e auxílio na condução de experimentos.

Aos amigos Paulo Sérgio, Whasley, Fabiano, Túlio, "Toninho", Oscar, pelas conversas e estímulos.

À minha namorada, amiga e companheira Verônica, pela atenção, paciência e amor dedicados.

A meus pais Sebastião e Dulce, avós Isabel e Nenzinha, irmãos Vinícius e Fabiana, à minha cunhada Léia e a todos os amigos de Grão Mogol, pelas orações, carinho e constantes incentivos.

A todos, que direta e indiretamente contribuíram para que esse sonho fosse concretizado, o meu MUITO OBRIGADO!!!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT	iii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	5
ARTIGO 1. Modelagem geoestatística da distribuição espacial do mofo-branco no feijoeiro comum.....	6
RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
INTRODUÇÃO.....	9
MATERIAL E MÉTODOS	12
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
1. Área não colhida.....	16
2. Área colhida	22
CONCLUSÕES	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
ARTIGO 2. Modelagem geoestatística das doenças de final de ciclo da soja (<i>Cercospora kikuchii</i> e <i>Septoria glycines</i>) e sua relação com a fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas	32
RESUMO.....	33
ABSTRACT	34
INTRODUÇÃO.....	35
MATERIAL E MÉTODOS	38
Área amostrada.....	38
Avaliação da severidade das doenças de final de ciclo da soja.....	38
Avaliação da fertilidade do solo.....	38
Avaliação da nutrição mineral de plantas.....	39
Análises geoestatísticas	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
Distribuição espacial das doenças de final de ciclo e dos nutrientes Ca, P e K no solo.	41
Relação entre a severidade das doenças de final de ciclo da soja e a fertilidade do solo.....	44
Relação entre a severidade das doenças de final de ciclo da soja e nutrição mineral de plantas.....	49
CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53

ARTIGO 3. Variabilidade espacial do nematóide do cisto da soja e sua relação com a fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas.....	57
RESUMO.....	58
ABSTRACT	59
INTRODUÇÃO	60
MATERIAL E MÉTODOS	64
Área amostrada.....	64
Quantificação de juvenis de segundo estágio e de cistos viáveis e não-viáveis.....	64
Avaliação da fertilidade do solo.....	65
Avaliação da nutrição mineral de plantas.....	66
Análises geoestatísticas	66
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
Distribuição espacial do nematóide do cisto da soja e dos nutrientes K, P e Mg no solo.....	68
Relação entre o nematóide do cisto da soja e a fertilidade do solo	71
Relação entre o nematóide do cisto da soja e a nutrição mineral de plantas.....	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
CONSIDERAÇÕES FINAIS	83

RESUMO

CARVALHO, Eudes de Arruda. **Modelagem geoestatística da distribuição espacial de doenças do feijoeiro comum e da soja e sua relação com a fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas**. 2008. 83 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

O conhecimento da dinâmica espacial de doenças de plantas, bem como dos fatores ambientais que podem influenciar a epidemia, é de grande importância para a definição de estratégias de manejo eficientes e sustentáveis. Sendo assim, objetivou-se o estudo do padrão de distribuição espacial do mofo-branco em duas áreas de cultivo de inverno do feijoeiro comum sob pivô central. O presente trabalho também teve como propósito a modelagem geoestatística das doenças de final de ciclo e do nematóide do cisto, verificando sua relação com a fertilidade do solo e a nutrição mineral das plantas em lavoura de soja. No primeiro experimento, verificou-se a dependência espacial do mofo-branco, por meio de metodologias de análise geoestatística. A severidade da doença apresentou distribuição do tipo agregado com forte dependência espacial. O número total de escleródios e o número de escleródios viáveis apresentaram moderada dependência espacial, na área não colhida e na área colhida. No segundo experimento, ajustou-se o semivariograma isotrópico esférico para o complexo de doenças de final de ciclo da soja com moderada dependência espacial e o padrão agregado. Observou-se nos mapas de krigagem a relação negativa da severidade das doenças de final de ciclo da soja com o potássio e o fósforo, e positiva com o cálcio no solo. Houve correlação significativa negativa da severidade com os teores foliares de fósforo, magnésio e enxofre. Já no terceiro trabalho, verificaram-se a dependência espacial, o padrão agregado do nematóide do cisto da soja e sua relação com o potássio, o fósforo e o magnésio do solo. Resultados ratificados pela correlação de Pearson, que revelou correlação significativa positiva entre essas variáveis, exceto entre o número de cistos viáveis e Mg no solo. Neste caso, a correspondência se deu com os teores foliares do nutriente. Os níveis de K e P nas folhas não foram influenciados pela infestação de nematóide.

* Comitê de orientação: Edson Ampélio Pozza - UFLA (Orientador);
Paulo Estevão de Souza – UFLA;
Pedro Milanez de Rezende – UFLA.

ABSTRACT

CARVALHO, Eudes de Arruda. **Geostatistic modeling of spatial distribution of common bean and soybean diseases and it relationship among soil fertility and mineral nutrition plants.** 2008. 83 p. Dissertation (Master in Plant Pathology) - Federal University of Lavras, Lavras, MG.*

The knowledge of the spatial dynamics of plant diseases and environmental factors that can influence an epidemic is very important for the definition of control strategies for efficient and sustainable management. Therefore, the objective of the present work was to evaluate the pattern of spatial distribution of white mold in two areas of winter common bean crop irrigated by center pivot. Additionally, this study aimed to characterize the spatial variability of the late season leaf diseases complex and cyst nematode in soybean using the geostatistic analysis methodology to identify its relation to soil fertility and mineral nutrition of the plants. In the first experiment it was possible to verify spatial dependence. The severity of the disease showed a clustered pattern with a strong spatial dependence, the total number of sclerotia and the number of viable sclerotia showed a moderate spatial dependence, in the area not harvested in the area after a semi-mechanized harvest. In the second experiment, the isotropic spherical semivariogram model was adjusted to late season diseases complex, with moderate spatial dependence and clustered pattern. In ordinary kriging maps, a negative relation of disease severity in soy was observed, with potassium and phosphorus in the soil, and positive with calcium in the soil. There was a significant negative disease severity correlation with leaf levels of phosphorus, magnesium and sulfur. In the last experiment, a spatial dependence, clustered pattern of the soybean cyst nematode and its correlation with potassium, phosphorus and magnesium in the soil was verified. Results were confirmed by the Pearson correlation which revealed a significant correlation between variables, except between the number of viable cysts and Mg in the soil, in this case, the correspondence was with the foliar nutrient levels. The leaf K and P levels were not influenced by the nematode infestation.

*Guidance committee: Edson Ampélio Pozza - UFLA (Major Professor),
Paulo Estevão de Souza – UFLA,
Pedro Milanez de Rezende – UFLA.

INTRODUÇÃO GERAL

O padrão de distribuição de doenças de plantas no espaço sofre variações entre as culturas, e até mesmo dentro delas, dependendo da cultivar, do ambiente, da biologia do patógeno, além da interação entre esses fatores. Assim, o conhecimento do comportamento espacial de epidemias torna-se importante para definir estratégias de controle.

Dentre os inúmeros fatores do ambiente capazes de interagir com o patógeno no processo de determinação da doença, cita-se a importância da fertilidade do solo e da nutrição mineral das plantas na predisposição do hospedeiro à infecção. O desequilíbrio nutricional, ocasionado tanto por excesso ou por escassez de nutrientes, influencia o vigor e a reação de defesa das plantas. As barreiras de defesa constituem o fenótipo, o qual depende da perfeita interação do genótipo com o ambiente para expressar seu potencial máximo. Sendo assim, a nutrição da planta e a fertilidade do solo influenciam diretamente os mecanismos de defesa das plantas. Esses fatores do ambiente podem ser alterados com relativa facilidade e requerem atenção especial no controle integrado de doenças de plantas. Entretanto, para manejar adequadamente os atributos químicos do solo, como medida complementar ao controle de doenças, torna-se fundamental o pleno conhecimento da distribuição dessas características ao longo do local de semeadura.

Existem várias metodologias destinadas ao estudo da distribuição espacial dos nutrientes, capazes de estabelecer sua relação com a intensidade de doenças. Os métodos de amostragem e análise utilizados rotineiramente devem ser aperfeiçoados para o estudo da variabilidade espacial tanto da intensidade de doenças quanto da fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas. Sabe-se que em muitos casos, as variáveis apresentam dinâmica e variação não aleatória.

Faz-se necessário, portanto, o emprego de metodologias que levem em consideração a continuidade geográfica e a interdependência das variâncias, isto é, a influência das medidas de pontos vizinhos sobre o ponto amostrado. Assim, a geoestatística ou estatística espacial surgiu como alternativa às técnicas da estatística clássica no estudo de características que apresentam dependência espacial.

A geoestatística exerce satisfatoriamente o seu papel como tecnologia integrante do sistema de informações geográficas (SIG), dentro do amplo conceito de Agricultura de Precisão. A análise geoestatística, por meio do semivariograma e mapas de krigagem, permite detectar a existência de variabilidade e a caracterização da dinâmica espacial das variáveis estudadas constituindo importante ferramenta na análise e descrição detalhada da distribuição de doenças e dos atributos químicos do solo ao longo de uma área. As informações geradas possibilitarão, por fim, que se trabalhe com o conceito de manejo localizado, utilizando-se de máquinas e equipamentos para o uso racional e dirigido de insumos.

O Brasil é o líder mundial na produção de feijão e o segundo maior produtor de soja, com 3,4 e 58,4 milhões de toneladas, respectivamente, na safra 2006/07. Essas estão entre as principais culturas do país, com área plantada de 4,1 milhões de ha de feijão, sendo cerca de 20,2% da área corresponde ao cultivo da 3ª safra ou feijão de inverno, e 20,7 milhões de ha de soja (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2008). No entanto, os rendimentos dessas culturas são limitados por diversos fatores, dentre eles, destaca-se a ocorrência de doenças.

O mofo-branco do feijoeiro comum [*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary] é a doença mais importante em cultivos de inverno, ocasionando severas perdas à cultura (Menezes, 1987). Sua ocorrência é favorecida pelas temperaturas amenas e por alta umidade do solo advinda, normalmente, da água

de irrigação. A doença surge a partir de estruturas de resistência do fungo presentes no solo ou contaminantes de sementes ou ainda após infecção por ascósporos, liberados em lavouras vizinhas (Tu, 1988; Steadman, 1983). O controle envolve medidas de exclusão, erradicação e proteção. O estudo da dinâmica espacial da doença, da distribuição das estruturas de resistência no campo e do alcance da severidade, a partir do foco inicial de infecção, podem auxiliar no manejo eficaz e racional da doença.

Na cultura da soja são relatadas cerca de 40 doenças. As doenças de final de ciclo da soja, mancha parda (*Septoria glycines* Hemmi), e o crestamento foliar de Cercospora [*Cercospora kikuchi* (Matsu. & Tomoyasu) Gardner], estão disseminadas por todas as regiões produtoras do país, porém, são mais sérias nas regiões mais quentes e chuvosas do Cerrado, com agravamento dos sintomas sob deficiências nutricionais. Seus efeitos são mais visíveis após os estádios de completa formação e início da maturação, podendo causar perdas de mais de 20% em produtividade (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, 2006). O nematóide do cisto da soja (*Heterodera glycines* Ichinohe) é considerado um dos principais patógenos da cultura da soja, devido à longa persistência dos cistos no solo e a severidade de seu parasitismo, reduzindo a capacidade de absorção e translocação por parte das plantas atacadas. A distribuição desse nematóide, em áreas com soja, ocorre de forma desuniforme, manifestando-se em reboleiras. Os sintomas são relativos ao grau de infestação e à fertilidade do solo, sendo que, em solos de baixa fertilidade, os danos são mais intensos (Embrapa, 2006). Assim sendo, a investigação da dinâmica espacial de epidemias das doenças de final de ciclo e do padrão de distribuição do nematóide do cisto da soja e de sua relação com a fertilidade do solo e nutrição mineral das plantas podem fornecer informações relevantes ao controle dessas doenças.

Dessa forma, objetivou-se o estudo da distribuição espacial, por meio de análise geoestatística, do mofo-branco no feijoeiro comum e das doenças de final de ciclo e do nematóide do cisto da soja. Para a cultura da soja verificou-se a relação das doenças com a fertilidade do solo e a nutrição mineral das plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB.

Acompanhamento da safra brasileira: grãos: quinto levantamento, fevereiro 2008. Brasília: Conab, 2007. < Disponível em: http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo_safra.pdf > Acesso em: 15 fev. 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja - EMBRAPA. **Tecnologia de produção de soja região central do Brasil 2007.** Londrina: Embrapa Soja/Embrapa Cerrados/Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 225 p. (Sistema de Produção, 11)

MENEZES, J. R. Testes de sanidade de sementes de feijão. In: SOAVE, J.; WETZEL, M. M. V. S. (Ed.). **Patologia de sementes.** Campinas: Fundação Cargill, 1987. cap. 18, p. 395-405.

STEADMAN, J. R. White mold - a serious yield-limiting disease of bean. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 67, n. 4, p. 346-350, Apr. 1983.

TU, J. C. The role of white mold-infected white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed in the dissemination of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 121, n. 1, p. 40-50, 1988.

ARTIGO 1.

**Modelagem geoestatística da distribuição espacial do mofo-branco do
feijoeiro comum**

Geostatistic modeling of spatial distribution of white mold on common bean

(Preparado de acordo com as normas da revista “Ciência e Agrotecnologia”)

RESUMO

CARVALHO, Eudes de Arruda. **Modelagem geoestatística da distribuição espacial de doenças do feijoeiro comum e da soja e sua relação com a fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas:** artigo 1: Modelagem geoestatística da distribuição espacial do mofo-branco do feijoeiro comum. 2008. p. 6-31. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Objetivou-se com o presente trabalho o estudo da magnitude e variabilidade espacial do mofo-branco no Feijoeiro Comum utilizando-se de metodologias de análise geoestatística. Os dados foram coletados na Fazenda Palmital, município de Ijaci - MG, em lavoura de feijoeiro comum cv. Pérola, estágio fenológico R₈ - R₉, em cultivo de outono-inverno sob pivô central. Foram amostradas duas áreas distintas: na primeira área, antes da colheita, foram avaliados os padrões de distribuição espacial da severidade do mofo-branco e de suas estruturas de resistência; na segunda área, já colhida, avaliou-se a dispersão dos escleródios após a colheita semi-mecanizada. Foi demarcada malha de amostragem triangular de 25 x 25 x 25 m, totalizando-se 51 pontos amostrais georreferenciados, em cada área. Na área não colhida, avaliou-se a severidade do mofo-branco com base em escala de notas. Em ambas as áreas foram coletadas amostras de solo, na camada de 0 - 6 cm de profundidade, para avaliação do número total de escleródios e de escleródios viáveis. As análises geoestatísticas foram realizadas no programa GS+ v.7.0, pelo ajuste dos semivariogramas isotrópicos e interpolação dos dados por krigagem ordinária. Realizou-se correlação de Pearson entre a severidade das doenças e o número de escleródios viáveis e não viáveis. A utilização de metodologia de análise geoestatística possibilitou o estudo da magnitude e do grau de dependência espacial do mofo-branco do feijoeiro comum. Foi ajustado o modelo esférico para a severidade da doença, com alcance de 111,19 m. A severidade do mofo-branco apresentou padrão de distribuição do tipo agregado com forte dependência espacial. Para número total de escleródios e número de escleródios viáveis foram ajustados os modelos esféricos e exponencial na área não-colhida e na área colhida, respectivamente, com moderada dependência espacial em ambas.

Termos para indexação: *Phaseolus vulgaris*, *Sclerotinia sclerotiorum*, geoestatística.

ABSTRACT

CARVALHO, Eudes de Arruda. **Geostatistic modeling of spatial distribution of common bean and soybean diseases and it relationship among soil fertility and mineral nutrition plants:** artigo 1: Geostatistic modeling of spatial distribution of white mold on common bean. 2008. p. 6-31. Dissertation (Master in Plant Pathology) - Federal University of Lavras, Lavras, MG.

The objective of this work was to study the magnitude and spatial variability of white mold on the common bean using the geostatistic analysis methodology. The samples were collected on Palmital Farm, municipality of Ijaci - Minas Gerais state, Brazil, on bean crop cv. Pérola, phenological stage R₈, fall-winter crop under center pivot irrigation. We sampled two distinct areas, in the first, before the harvest, the spatial distribution pattern of white-mold disease severity and its resistance structures were evaluated; in the second area, already harvested, the dispersion of the sclerotia after the mechanized harvest was evaluated. A triangular sampler mesh of 25 x 25 x 25 m was demarcated, using a Geographical Positioning System, in the experimental field, composed of a total of 51 sampling points or georeferences. In the unharvested area, the white-mold severity evaluations were made using a rating scale. In both areas, soil samples were collected, from 0-6cm depth, aimed at evaluating the total number of sclerotia and viable sclerotia. Geostatistical analyses was performed with the GS+ v. 7.0 software. The Pearson correlation was done between disease severity and total number of sclerotia and viable sclerotia. The use of geostatistical methodology enabled the study of the magnitude and degree of spatial dependence of white mold on common bean. The spherical model was adjusted for disease severity with range of 111,19 m. The disease severity showed a clustered pattern with strong spatial dependence. The total number of sclerotia and viable sclerotia showed moderate spatial dependence, in the harvested and non-harvested area.

Index terms: *Phaseolus vulgaris*, *Sclerotinia sclerotiorum*, geostatistic.

INTRODUÇÃO

O mofo-branco ou podridão-de-esclerotinia, cujo agente etiológico é o fungo de solo *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, é uma das mais importantes doenças do feijoeiro comum, cultivado no outono-inverno sob irrigação (Menezes, 1987). A elevada umidade do solo, associada às temperaturas amenas, proporcionam a germinação carpogênica dos escleródios, formando os apotécios, nos quais são produzidos os ascósporos, responsáveis pela disseminação do patógeno. O crescimento de hifas a partir dos escleródios, germinação miceliogênica, apresenta potencial epidêmico reduzido em relação à produção de apotécios (Steadman, 1983).

O fungo cosmopolita e inespecífico apresenta vasta gama de hospedeiros (Purdy, 1979; Chaves, 1964). Ademais, pode sobreviver no solo por até oito anos na forma de estruturas de resistência (Tu, 1988). Assim, a principal medida de controle é a exclusão, para não ocorrer a entrada do patógeno na área. Após constatar os sintomas, um conjunto de técnicas devem ser empregadas para reduzir o inóculo inicial do patógeno. A resistência genética do hospedeiro, alternativa preferencialmente adotada em outros patossistemas, não está disponível entre as cultivares nacionais. O controle químico, em áreas com grande potencial de inóculo, não tem se mostrado economicamente viável (Tu, 1989). A utilização de antagonistas (Rollemberg et al. 2007; Zazzerini & Tosi, 1985) e de extratos vegetais (Alves et al., 2007), surge como opção de controle alternativo, ainda em fase de pesquisas. Dessa forma, a integração de práticas culturais, como o plantio direto, redução da irrigação e maior espaçamento entre plantas, com as estratégias de controle do fungo torna-se essencial ao manejo do mofo-branco do feijoeiro comum (Görgen et al., 2007; Napoleão et al., 2005;

Stone, & Sartorato, 1994; Steaman et al., 1973). Entretanto, o sucesso dessas práticas está relacionado à densidade e distribuição espacial do inóculo na área.

Os focos da doença surgem a partir do inóculo inicial, que segundo Napoleão et al. (2001), são principalmente as sementes contaminadas, além dos escleródios produzidos pelo fungo. Conforme Tu (1989), infecções secundárias ocorrem pelo contato natural de partes sadias da planta com partes doentes. Contudo, os ascóporos ejetados em grande quantidade pelos apotécios, quando maduros, podem infectar outras plantas no raio de 50 a 100 m da fonte produtora (Steadman, 1983).

Os mecanismos de disseminação e perpetuação, característicos do fungo *S. sclerotiorum*, levam ao padrão de distribuição agregado e irregular em lavouras do feijoeiro comum. Devido à transmissão da doença entre plantas vizinhas e à dispersão de ascóporos pelo vento, a ocorrência do mofo-branco em uma mesma área pode apresentar continuidade espacial, isto é, os diferentes níveis de intensidade da doença podem estar correlacionados entre si em função da distância que os separam. O conhecimento da dependência espacial de plantas infectadas e de dispersão de estruturas de resistência no solo, portanto, assume grande importância na definição de amostragens e das técnicas de manejo a serem adotadas.

Os métodos estatísticos clássicos normalmente utilizados não descrevem apropriadamente dados com continuidade espacial ou a dependência espacial entre eles. De acordo com Clark (1979), a metodologia para análise desse tipo de dados é a Estatística Espacial ou Geoestatística, desenvolvida por Matheron (1971), baseada na teoria das variáveis regionalizadas. A geoestatística possibilita a caracterização da estrutura da dependência espacial das variáveis em estudo, por meio do ajuste do semivariograma. Posteriormente, é permitida a predição não-tendenciosa, com variância mínima de valores em locais não amostrados, e o mapeamento da variável pelo processo de krigagem. Essa

metodologia foi utilizada com sucesso no estudo de doenças de plantas. Nelson et al. (1999) relatam a aplicação de técnicas da geoestatística e do sistema de informações geográficas no estudo do padrão espacial de isolados de *Aspergillus flavus*, produtores de toxinas com base no padrão de isolados não toxicogênicos. Farias (1999) constatou que o uso da geoestatística permitiu quantificar e mapear a distribuição do nematóide *Rotylenchulus reniformis* na cultura do algodoeiro. Alves et al. (2006) também utilizaram metodologia de análise geoestatística no estudo da dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a *Colletotrichum*, transmitidas por sementes. Os autores verificaram a possibilidade de quantificar o grau de dependência espacial, mapear a variabilidade espacial das epidemias e o monitoramento do progresso ao longo do tempo e do espaço, como principais vantagens em relação a outros métodos comumente utilizados.

Objetivou-se com o presente trabalho o estudo da magnitude e da variabilidade espacial da intensidade do mofo-branco no feijoeiro comum, utilizando-se de metodologia de análise geoestatística.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram coletados na Fazenda Palmital/Faepe, município de Ijaci (MG), em lavoura de feijoeiro comum cv. Pérola, estágio fenológico R₈ - R₉, em cultivo de outono-inverno sob pivô central.

Amostraram-se duas áreas distintas: na primeira área, antes da colheita, foram avaliados os padrões de distribuição espacial da severidade do mofo-branco [*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary] e de suas estruturas de resistência; na segunda área, avaliou-se a distribuição dos escleródios no solo. Em cada área, foi demarcada malha triangular de 25 x 25 x 25 m, totalizando-se 51 pontos ou intersecções georreferenciadas com aparelho GPS 12 Garmin® (Figura 1).

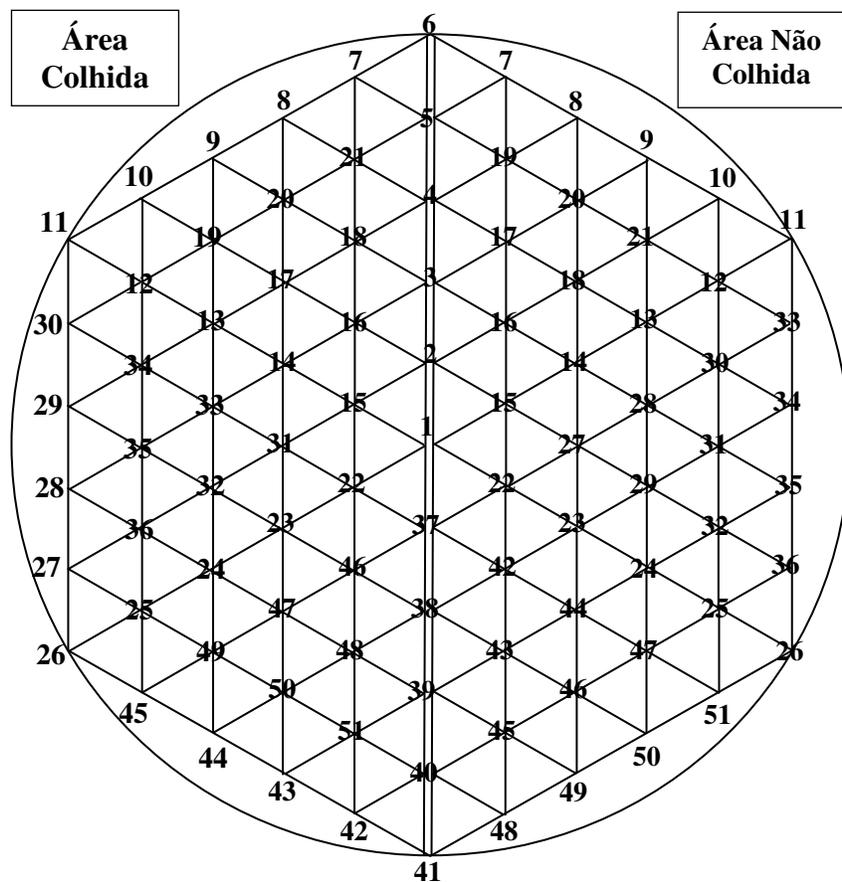


Figura 1. Malha de amostragem triangular de 25 x 25 x 25 m adotada na avaliação da distribuição espacial do mofo-branco na cultura do feijoeiro comum. UFLA, Lavras - MG, 2008.

Em ambas as áreas foram coletadas amostras de solo, em cada ponto, na camada de 0 - 6 cm de profundidade, para avaliar o número de escleródios. O solo coletado foi submetido à secagem ao ar, em seguida, foi retirada uma alíquota de 1 Kg de cada amostra, procedendo-se a separação dos escleródios em peneiras de 5 e 18 mesh. A viabilidade das estruturas de resistência foi avaliada de acordo com técnica descrita por Peres (1996) para obter isolados do fungo em

cultura pura. Os escleródios encontrados foram desinfestados superficialmente em álcool 70%, por 30 segundos e em hipoclorito de sódio 1% por 5 minutos, lavados três vezes em água destilada esterilizada e transferidos para placas de Petri contendo meio de cultura BDA (Batata-Dextrose-Agar), permanecendo incubados à temperatura de 20° C, no escuro, durante 15 dias. Foram considerados viáveis aqueles escleródios que apresentaram desenvolvimento de hifas, ao final do período de incubação.

A severidade do mofo-branco foi avaliada em seis plantas no entorno de cada intersecção da malha. Adotou-se a escala de notas, citada por Napoleão et al. (2005), onde: nota 1 - planta aparentemente sadia; nota 2 - 1% a 5% da planta atacada; nota 3 - 6% a 20% da planta atacada; nota 4 - 21% a 50% da planta atacada; nota 5 - mais de 50% da planta atacada e nota 6 - planta morta. Foi calculada a severidade média com as notas obtidas para análises geoestatísticas.

As análises geoestatísticas, separadamente para cada área, foram realizadas no programa GS+ v.7.0, pela determinação dos semivariogramas isotrópicos, com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, de acordo com metodologia de Burrough & McDonnell (1998). O ajuste dos modelos de semivariogramas foi escolhido em função do quadrado médio do erro, do erro padrão de predição e da autovalidação ('Jack Knife'). O grau de dependência espacial das variáveis foi analisado com base na classificação de Cambardella et al. (1994), em que são considerados de forte dependência espacial os semivariogramas que têm efeito pepita 25% do patamar, moderada quando entre 25 e 75% e fraca quando > 75%. Após o ajuste dos semivariogramas, foi realizada a interpolação dos dados por krigagem ordinária. Posteriormente, plotaram-se os mapas tridimensionais da distribuição espacial da intensidade do mofo-branco, do número total de escleródios e do número de escleródios viáveis em relação ao comprimento e à largura da área. Realizou-se

correlação de Pearson entre a severidade das doenças e o número de escleródios viáveis e não viáveis, utilizando-se programa estatístico SAEG - Sistema de Análises Estatísticas e Genética (Universidade Federal de Viçosa - UFV, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Área não colhida

A severidade do mofo-branco do feijoeiro comum apresentou padrão de distribuição espacial do tipo agregado com forte dependência espacial, de acordo com classificação de Cambardella et al. (1994) (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros e coeficientes dos semivariogramas isotrópicos da severidade do mofo-branco em feijoeiro comum, do número total de escleródios e número de escleródios viáveis da área colhida. UFLA, Lavras - MG, 2008.

Variáveis	Parâmetros			Coeficientes		
	Modelo	Co	(Co+C)	(Ao)	R ² (%)	Co/Co+C
Severidade	Esférico	0,375	2,37	111,19	70,6	0,16
Escl. Totais	Esférico	7,431	21,82	101,42	71,7	0,34
Escl. Viáveis	Esférico	5,670	14,84	97,34	76,1	0,38

Co - Efeito Pepita; Co + C - Patamar; Ao - Alcance; R² - coeficiente de determinação; Co/Co + C - razão indicativa do grau de dependência espacial; Severidade - segundo escala de notas de 1 a 6 (Napoleão et al., 2005); Escl. Totais - Número total de escleródios em amostra de 1 kg de solo; Viáveis Escl. - Número de escleródios viáveis em amostra de 1 kg de solo.

Ajustou-se o semivariograma esférico com alcance de 111,19 m, implicando na ocorrência irregular da doença, a partir de uma fonte de inóculo primário e progredindo para as demais áreas da lavoura, provavelmente, por infecções planta a planta, gerando a reboleira típica do modelo esférico. As severidades observadas em um raio superior ao alcance do modelo

semivariográfico ajustado são aleatórias, o que equivale a dizer, que não estão correlacionadas entre si. Logo, a geoestatística deve ser empregada no estudo da distribuição do mofo-branco em detrimento de metodologias da estatística clássica, já que suas variações no espaço não são ao acaso, mas manifestam certa continuidade espacial. Boland & Hall (1988), por meio de análises de distribuição binomial negativa, também relataram a ocorrência da podridão do caule em soja, causada por *S. sclerotiorum*, com padrão de distribuição espacial do tipo agregado ou em reboleiras.

A maior severidade - notas entre 4,34 a 4,86 - da doença foi observada nas partes mais baixas do terreno. Llody Junior (1975) também observou que essas áreas, onde o solo é mais saturado de água, são favoráveis à germinação carpogênica dos escleródios, formando as reboleiras.

Observou-se a distribuição agregada com moderada dependência espacial para o número de escleródios totais e de escleródios viáveis, com alcances de 101,42 e 97,43 m, respectivamente. Ajustou-se o modelo esférico para ambas as características. Dessa forma, as estruturas de resistência do fungo apresentaram-se concentradas e relacionadas entre si, no raio referente à distância do alcance do semivariograma ajustado (Figura 1).

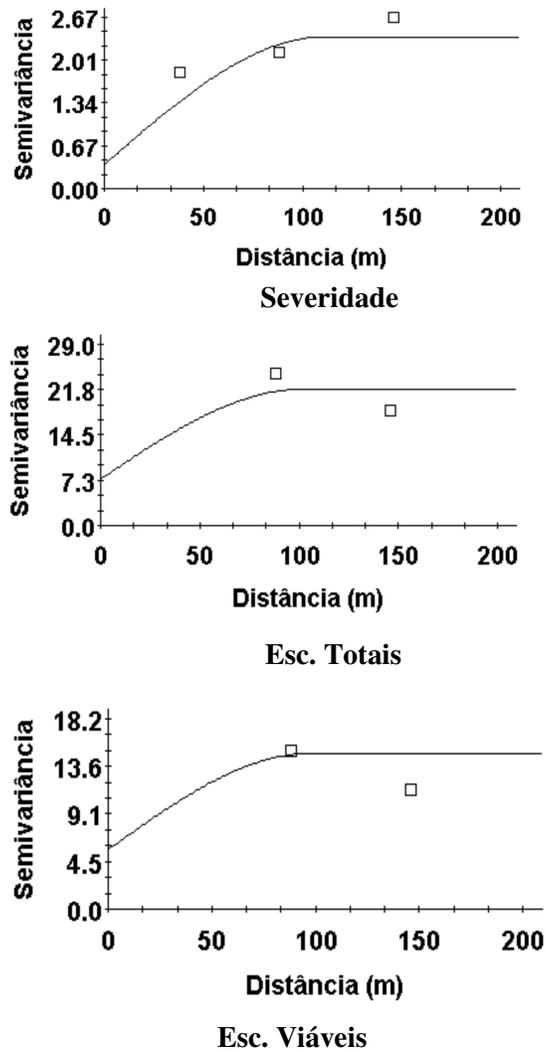


Figura 1. Semivariogramas isotrópicos experimentais ajustados para: Severidade do mofo branco; Esc. Totais - número total de escleródios por kg de solo; Esc. Viáveis - número de escleródios viáveis por kg de solo na área não colhida. UFLA, Lavras - MG, 2008.

A dispersão natural dos escleródios a menores distâncias, em relação ao alcance encontrado para a severidade da doença, deve-se à queda e contaminação do solo próximo à planta onde foram produzidos, permanecendo no solo até que encontrem condições favoráveis à germinação. Não obstante, o maior alcance da severidade pode ser atribuído à disseminação da doença por meio dos ascósporos, produzidos nos apotécios de escleródios depositados no solo em cultivos anteriores. Conforme Steadman (1983), o condicionamento das estruturas de resistência do fungo no solo leva à sua germinação carpogênica quando do florescimento do feijão no ano seguinte, sendo que, os ascósporos liberados podem infectar outras plantas distantes de 50 a 100 m da fonte produtora. Abwi & Grogan (1975) afirmaram que esses esporos podem ser transportados pelo vento a quilômetros. No entanto, o risco de que esses inóculos infectem plantas diminui com o aumento da distância da origem (Tu, 1989). Contudo, os autores não mencionam a existência de dependência espacial das variáveis.

De acordo com os mapas de krigagem ordinária, confeccionados após o ajuste dos semivariogramas, observou-se a relação visual entre áreas com maior severidade do mofo-branco e áreas com maior número total de escleródios e de escleródios viáveis, 13,6 e 10,3 escleródios por Kg de solo respectivamente (Figura 2).

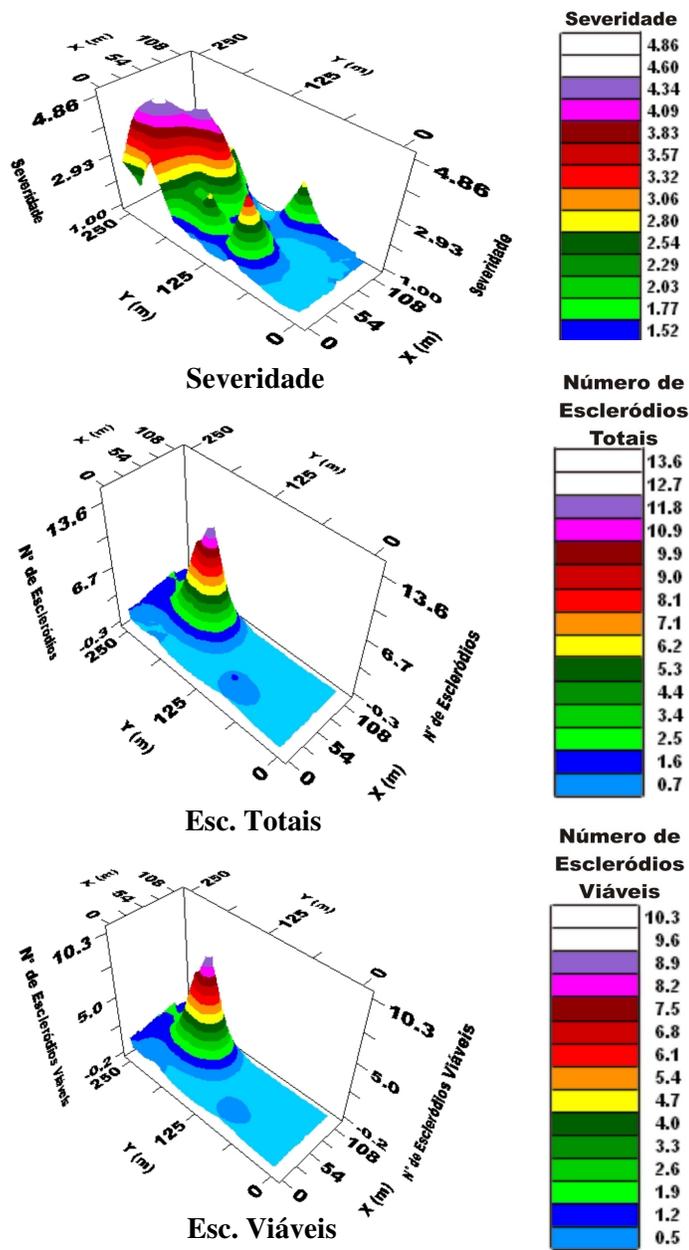


Figura 2. Mapas de krigagem ordinária para a severidade do mofo branco; Esc. Totais - número total de escleródios por Kg de solo; Esc. Viáveis - número de escleródios viáveis por kg de solo na área não colhida. UFLA, Lavras - MG, 2008.

Tal fato pode ocorrer em consequência da maior intensidade da doença na safra avaliada pela queda das estruturas ao solo nas áreas de maior severidade da doença. Ou ainda devido à possível epidemia em cultivos anteriores, de forma que os escleródios produzidos nessas áreas possam ter contribuído com forte pressão de inóculo inicial e, conseqüentemente, apresentaram maiores danos pelo patógeno. Schwartz & Steadman (1978) atribuíram a variabilidade encontrada na população de escleródios no solo ao grau de reposição anual, que por sua vez, foi determinado pela severidade da doença durante a estação de cultivo anterior. Vanderplank (1968) ressalta a relevância do inóculo inicial para as doenças monocíclicas. É importante salientar também que os escleródios, além de ser a principal forma de disseminação do fungo, atuam diretamente como fonte de inóculo primário (Wadham, 1925; Brown & Butler, 1936; Whetzel, 1945; Moore et al., 1949; Purdy 1954; citados por Chaves, 1964).

Severidades de 2,8 a 3,6 foram observadas mesmo em áreas com população entre 0,5 e 1,2 escleródios viáveis por kg de solo. A maior área sob maior severidade do mofo-branco em relação às áreas de picos populacionais de escleródios deve-se, provavelmente, às infecções secundárias por ascósporos, liberados na safra corrente e disseminados pela ação do vento. Steadman (1983) e Abwi & Grogan (1975) relataram a importância dos ascósporos como fonte de inóculo do fungo em lavouras de feijoeiro.

A correspondência visual entre os mapas de krigagem foi confirmada pela análise de correlação de Pearson entre as variáveis. Verificou-se correlação significativa ($P < 0,05$) positiva da severidade do mofo branco e o número total de escleródios e número de escleródios viáveis (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficientes de correlação de Pearson entre a severidade do mofo-branco do feijoeiro e número total de escleródios e número de escleródios viáveis. UFLA, Lavras, MG, 2008.

Número de Escleródios/kg de Solo	Severidade
Total	0,4471*
Viáveis	0,4475*

* significativa pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Pelas amostragens realizadas entre os estádios R₈-R₉ do feijoeiro no presente estudo, constatou-se que a severidade do mofo-branco foi maior em áreas com maior número de estruturas de resistência no solo. Entretanto, Schwartz & Steadman (1978) não observaram correlação entre o número de estruturas de resistência recuperadas do solo e a severidade da doença, embora os autores admitam a possibilidade de perdas de escleródios pelo escorrimento superficial de água da irrigação, degradação por microrganismos e incrementos no número de escleródios devido à epidemia da safra corrente.

A correlação observada corrobora a hipótese de a doença ter progredido a partir do inóculo primário, garantido por escleródios presentes no solo da área. Por outro lado, os baixos coeficientes de correlação são devidos à elevada severidade da doença em áreas com baixas populações ou isentas de escleródios no momento da amostragem. Tal fato reafirma a provável ocorrência de infecções secundárias no campo amostrado, devido à disseminação por vento.

2. Área colhida

Os escleródios recuperados na área colhida apresentaram distribuição espacial do tipo agregada com moderado grau de dependência espacial, de acordo com Cambardella et al. (1994). Ajustou-se o modelo exponencial para o

número total de escleródios e para o número de escleródios viáveis no solo (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros e coeficientes dos semivariogramas isotrópicos da severidade do mofo-branco em feijoeiro comum, do número total de escleródios e número de escleródios viáveis na área colhida. UFLA, Lavras - MG, 2008.

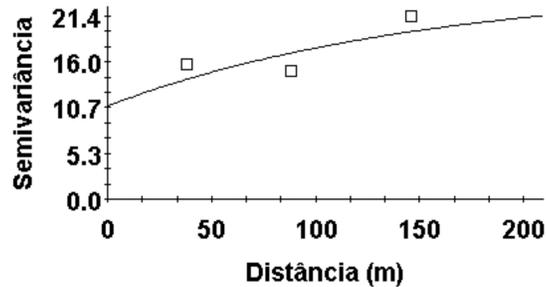
Variáveis	Parâmetros			Coeficientes		
	Modelo	Co	(Co+C)	(Ao)	R ² (%)	Co/Co+C
Escl. Totais	Exponencial	10,89	25,10	154,73	57,9	0,43
Escl. Viáveis	Exponencial	3,36	8,50	151,43	54,5	0,39

Co - Efeito Pepita; Co + C - Patamar; Ao - Alcance; R² - coeficiente de determinação; Co/Co + C - razão indicativa do grau de dependência espacial; Escl. Totais - Número total de escleródios em amostra de 1 kg de solo; Viáveis Escl. - Número de escleródios viáveis em amostra de 1 kg de solo.

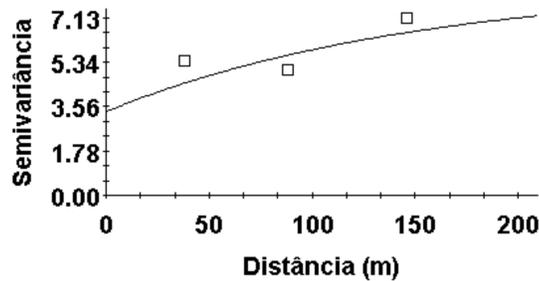
Com o ajuste do modelo exponencial para as variáveis número total de escleródios e escleródios viáveis, com alcance de 154,73 m e 151,43 m, respectivamente, observou-se que, provavelmente, a operação da colheita semi-mecanizada não interferiu no padrão agregado das estruturas de resistência de *S. sclerotiorum* (Figura 3). Schwartz & Steadman (1978) verificaram que os escleródios não apresentaram distribuição uniforme na superfície do solo após a colheita, mas permaneceram concentrados em pequenas áreas.

Vieira (1988) faz ressalvas em relação à palhada depositada no solo após a colheita, uma vez que ela pode carregar escleródios. Dessa forma, poderia se esperar a anisotropia dos semivariogramas com a operação da colheita semi-mecanizada, pois com o deslocamento do trator, a máquina recolhe as plantas

enleiradas e, em seguida, realiza a trilhagem e a separação dos grãos da palha, espalhando-a pela área. Adversamente, os modelos definidos se mostraram idênticos para qualquer direção, isto é, são isotrópicos, embora com alcances superiores àqueles da área não colhida para as mesmas características avaliadas. Este fato pode ser atribuído à maior continuidade espacial dos escleródios promovida pela colhedora-trilhadora. Entretanto, é relativamente pequeno o conhecimento da distribuição espacial de escleródios de *S. sclerotiorum* no solo (Bae & Knudsen, 2007).



Esc. Totais



Esc. Viáveis

Figura 3. Semivariogramas isotrópicos experimentais e mapas de krigagem ordinária para: a - número total de escleródios; b - número de escleródios viáveis na área colhida. UFLA, Lavras - MG, 2008.

Os mapas de krigagem gerados após o ajuste do semivariograma possibilitaram a observação de áreas com elevada densidade populacional de escleródios. Verificaram-se áreas com densidade de até 7,79 de escleródios por kg de solo ou 4,42 escleródios viáveis (Figura 4). Segundo Schwartz & Steadman (1978), populações de 0,2 escleródios por kg de solo, consideradas baixas, produziram inóculo suficiente para resultar em epidemia moderadamente severa.

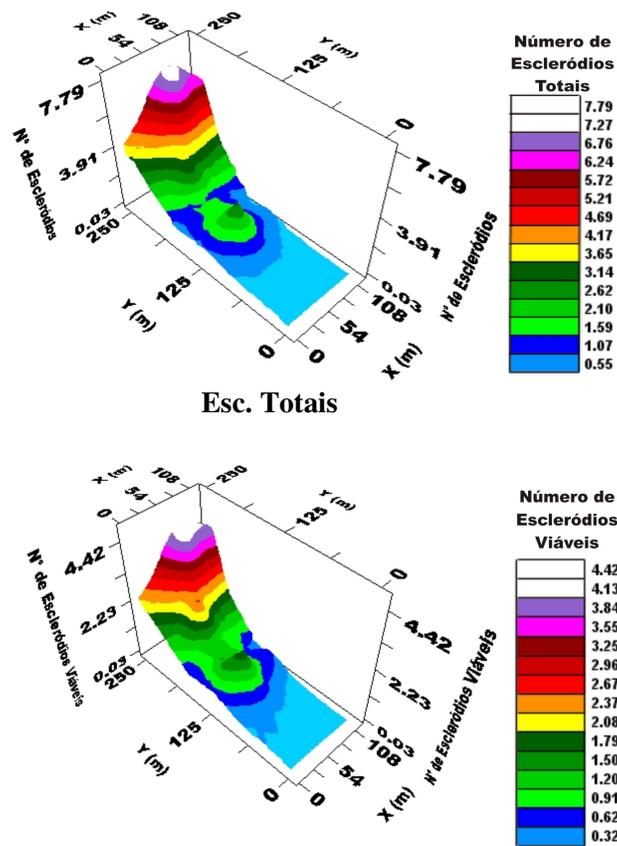


Figura 4. Semivariogramas isotrópicos experimentais e mapas de krigagem ordinária para: a - número total de escleródios; b - número de escleródios viáveis na área colhida. UFLA, Lavras - MG, 2008.

Logo, para as condições da área estudada, amostragens realizadas para avaliar a densidade populacional do mofo-branco devem ser realizadas a distâncias superiores a 154,73 m, se empregadas técnicas da estatística clássica. Salienta-se que amostras coletadas em menores espaçamentos apresentam dependência espacial e as suas análises competem à geoestatística. Analogicamente, interpretações de variáveis concernentes à distribuição espacial de epidemia de mofo-branco em feijoeiro comum sob pivô central e definição de técnicas de controle, integradas ou isoladas, devem considerar o padrão de distribuição da doença na área. A adoção de adequado manejo, com vistas à distribuição espacial do fungo, poderá determinar a eficiência do método empregado e sua viabilidade econômica. Segundo Knudsen et al. (1991), a colonização de escleródios por *Trichoderma* spp. depende da densidade e do arranjo espacial dessas estruturas no solo. Em última análise, o conhecimento do padrão de distribuição dos escleródios e da severidade da doença no campo permitirão a alocação de culturas para rotação e sucessão, segundo a variabilidade dessas características, bem como a opção entre aplicações de fungicidas em área total por fungigação ou, de acordo com os princípios da agricultura de precisão, em dosagens pré-definidas em pulverizações direcionadas com menor custo econômico e ambiental.

CONCLUSÕES

A utilização de metodologia de análise geoestatística possibilitou o estudo da magnitude e do grau de dependência espacial do mofo-branco do feijoeiro comum [*Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary].

A severidade do mofo-branco apresentou padrão de distribuição do tipo agregado com forte dependência espacial e alcance de 111,19 m pelo modelo esférico ajustado.

O mofo-branco do feijoeiro apresentou picos de severidade mesmo em áreas da lavoura com baixas populações de escleródios no solo.

Ajustaram-se os semivariogramas isotrópicos de modelo esférico para o número total de escleródios e o número de escleródios viáveis na área não colhida com alcances de 101,42 m e 97,34 m, respectivamente. Ambos com moderada dependência espacial.

O número total de escleródios e o número de escleródios viáveis apresentaram moderada dependência espacial na área colhida. Ajustou-se o modelo exponencial com alcances de 154,73 m e 151,43 m, respectivamente para o número total de escleródios e o número de escleródios viáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABWI, G. S.; GROGAN, R. G. Source of primary inoculum na effects of temperature and moisture in infection of beans by *Whetzelinia sclerotiorum*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 65, n. 3, p. 300 - 309, Mar. 1975.

ALVES, M. C.; POZZA, E. A.; MACHADO, J. C.; ARAÚJO, D. V.; TALAMINI, V.; OLIVEIRA, M .S. Geoestatística como metodologia para estudar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a *Colletotrichum* spp. transmitidos por sementes. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 557-563, nov./dez. 2006.

ALVES, T. C.; JULIATTI, F. C.; GARCIA, R. A. Inibição do crescimento micelial de *Sclerotinia sclerotiorum* com torta de *Azadirachta indica*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 32, suplemento, p. 313, ago. 2007.

BAE, Y. S.; KNUDSEN, G. R. Effect of sclerotial distribution pattern of *Sclerotinia sclerotiorum* on biocontrol efficacy of *Trichoderma harzianum*. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam v.35, n. 1, p. 21-24, Jan. 2007.

BOLAND, G. J.; HALL, R. Relationships between the spatial pattern and number of apothecia of *Sclerotinia sclerotiorum* and stem rot of soybean. **Plant Pathology**, Oxford, v. 37, n. 3, p. 329-336, Sept. 1988.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems: spatial information systems and geostatistics**. 2. ed. Oxford: Oxford University, 1998. 333 p.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Fieldscale variability of soil properties in Central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n. 5, p. 1501-1511, Sept./Oct. 1994.

CHAVES, G. M. Estudos sobre *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) Bary. **Experimentiae**, Viçosa, v. 4, n. 2, p. 69-133, nov. 1964.

CLARK, I. **Practical geostatistics**. London: Applied Science, 1979. 129 p.

FARIAS, P. R. S. **Distribuição espacial do nematóide reniforme com o uso da geostatística, em um solo com rotação de culturas.** 1999. 109 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

GÖRGEN, C. A. et al. Produtividade de soja e densidade de apotécios de *Sclerotinia sclerotiorum* utilizando *Trichoderma harzianum* e palhada de *Brachiaria ruziziensis*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 32, suplemento, p. 151, ago. 2007.

KNUDSEN, G. R. et al. Potential for biocontrol of *Sclerotinia sclerotiorum* through colonization of sclerotia by *Trichoderma harzianum*. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 75, n. 5, p. 466-470, May. 1991.

LLOYD JUNIOR, E. H. White mold of pinto beans: effects on yield and fungicidal control. **Farm Research**, Fargo, v. 32, n. 2, p. 09-14, 1975.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications.** Paris: Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleu, 1971. 211 p. (Fascicule 5).

MENEZES, J. R. Testes de sanidade de sementes de feijão. In: SOAVE, J.; WETZEL, M. M. V. S. (Ed.). **Patologia de sementes.** Campinas: Fundação Cargill, 1987. cap. 18, p. 395-405.

NAPOLEÃO, R. et al. Intensidade do mofo-branco do feijoeiro em plantio convencional e direto sob diferentes lâminas d'água. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 4, p. 374-379, jul./ago. 2005.

NAPOLEÃO, R.; NASSER, B. C. L.; FREITAS M. A. **Importância da análise sanitária de sementes para o manejo da esclerotínia no Cerrado.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. p. 01-02. (Recomendação Técnica 49).

NELSON, M. R. et al. Applications of geographic information systems and geostatistics in plant disease epidemiology and management. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 83, n. 4, p. 308-319, Apr. 1999.

PERES, A. P. **Detecção de *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary em sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e soja (*Glycine max* (L.) Merrill): desenvolvimento de metodologias.** 1996. 51 p. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade) - Universidade Federal de Lavras. Lavras.

PURDY, L. H. *Sclerotinia sclerotiorum*: history, diseases and symptomatology, host range, geographic distribution, and impact. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 69, n. 8, p. 875-880, Aug. 1979.

ROLLEMBERG, C. L.; MAYER, F. N. W.; MAY DE MIO, L. L. Seleção de fungos antagonistas visando o controle de *Sclerotinia sclerotiorum* in vitro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 32, suplemento, p. 308, ago. 2007.

SCHWARTZ, H. F. & STEADMAN, J. R. Factors affecting sclerotium population of, and apothecium production by, *Sclerotinia sclerotiorum*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 68, n. 3, p. 383-388, Mar. 1978.

STEADMAN, J. R. White mold – a serious yield-limiting disease of bean. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 67, n. 4, p. 346-350, Apr. 1983.

STEADMAN, J. R.; COYNE, D. P.; COOK, G. E. Reduction of severity of white mold disease on great northern beans by wider row spacing and determinate plant growth habit. **Plant Disease Reporter**, Saint Paul, v. 57, n. 12, p. 1070-1071, Dec. 1973.

STONE, L. F.; SARTORATO, A. **O cultivo do feijão**: recomendações técnicas. Brasília: EMBRAPA/CNPAP, 1994. 83 p. (Documentos, 48)

TU, J. C. Management of white mold of white beans in Ontario. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 73, n. 4, p. 281-285, Apr. 1989.

TU, J. C. The role of white mold-infected white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed in the dissemination of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 121, n. 1, p. 40-50, Jan. 1988.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. **Manual de utilização do programa SAEG: Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas.** Viçosa: UFV/CPD, 1997. 59 p.

VANDERPLANK, J. E. **Disease resistance in plants.** New York: Academic 1968. 206 p.

VIEIRA, C. **Doenças e pragas do feijoeiro.** Viçosa: UFV, 1988. 231 p.

ZAZZERINI, A.; TOSI, L. Antagonistic activity of fungi isolated sclerotia of *Sclerotinia sclerotiorum*. **Plant Pathology**, Oxford, v. 34, n. 3, p. 415-421, Sept. 1985.

ARTIGO 2.

Modelagem geoestatística do complexo de doenças foliares de final de ciclo da soja (*Cercospora kikuchii* e *Septoria glycines*) e sua relação com a fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas.

(Preparado de acordo com as normas da revista “Summa Phytopathologica”)

RESUMO

CARVALHO, Eudes de Arruda. **Modelagem geoestatística da distribuição espacial de doenças do feijoeiro comum e da soja e sua relação com a fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas:** artigo 2: Modelagem geoestatística do complexo de doenças foliares de final de ciclo da soja (*Cercospora kikuchii* e *Septoria glycines*) e sua relação com a fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas. 2008. p. 32-56. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Objetivou-se, com o presente trabalho, a caracterização da variabilidade espacial do complexo de doenças de final de ciclo da soja (DFC), associadas aos fungos *Cercospora kikuchii* e *Septoria glycines*, utilizando-se metodologia de análise geoestatística para verificar sua relação com a fertilidade do solo e nutrição mineral das plantas em sistema de plantio direto, na cultivar Monsoy 8001. O experimento foi realizado no município de Varjão de Minas, MG. Demarcou-se no campo malha regular de 20 x 20 m, totalizando-se 30 pontos amostrais georreferenciados com aparelho de GPS. Foram realizadas avaliações de severidade das doenças de final de ciclo em 10 plantas com escala diagramática. Coletaram-se amostras de solo na camada de 0 - 20 cm, para análise de fertilidade e amostras de folhas para análise do estado nutricional das plantas. Com base na análise do semivariograma isotrópico esférico, verificou-se a moderada dependência espacial da severidade das doenças, com alcance de 70 m. Posteriormente, por meio de mapas de krigagem ordinária foi possível constatar o padrão agregado e a relação negativa da severidade da doença com o potássio e o fósforo e relação positiva com o cálcio no solo. Houve correlação significativa negativa com os teores foliares de fósforo, de magnésio e de enxofre.

Palavras-chave adicionais: mancha parda, crestamento foliar de cercospora, nutrientes.

ABSTRACT

CARVALHO, Eudes de Arruda. **Geostatistic modeling of spatial distribution of common bean and soybean diseases and its relationship among soil fertility and mineral nutrition plants:** artigo 2: Geostatistic modeling of the late season leaf disease complex of soybean (*Cercospora kikuchii* e *Septoria glycines*) and its relationship among soil fertility and mineral nutrition plants. 2008. p. 32-56. Dissertation (Master in Plant Pathology) - Federal University of Lavras, Lavras, MG.

The objective in this research work was to characterize the spatial variability of the late season leaf disease complex in soybean, associated to the fungus *Cercospora kikuchii* and *Septoria glycines*, using the geostatistic analysis methodology to identify its relation to soil fertility and mineral nutrition of the plants in a direct cultivation system, using the Monsoy 8001 cultivar. The experiment was conducted in the city of Varjão de Minas, Minas Gerais state, Brazil. A regular 20 x 20m field mesh was demarcated, using a Geographical Positioning System, in the experimental field, composed of a total of 30 sampling points or georeferences. Evaluations of the severity of the late season foliar diseases were conducted in 10 plants using a diagrammatic scale. Soil samples were collected in the 0 - 20cm layer for fertility analysis. Leaf samples were also collected for nutrition analysis. Based on the isotropic spherical semivariogram a moderate spatial dependence of the disease severity, with a range of 70m was verified. Afterwards, by means of ordinary kriging, it was possible to verify a clustered pattern and a negative relation of the disease severity to potassium and phosphorus levels and a positive relation to the calcium level in the soil. A significant negative correlation to leaf phosphorus, magnesium and sulfur contents was verified.

Additional keywords: brown spot, cercospora blight, nutrients.

INTRODUÇÃO

Na cultura da soja, a mancha parda (*Septoria glycines* Hemmi) e o crestamento foliar de cercospora [*Cercospora kikuchi* (Matsu. & Tomoyasu) Gardner] têm sintomas semelhantes e ocorrem na mesma época, sendo consideradas como o “complexo de doenças de final de ciclo” (DFC). Essas doenças estão disseminadas por todas as regiões produtoras de soja do país, podendo causar desfolha prematura e redução de mais 20% no rendimento da cultura em consequência da redução no tamanho dos grãos quando colhidos (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, 2006).

As DFC podem ser mais severas quando incidentes sobre plantas de soja debilitadas nutricionalmente ou cultivadas em solos de baixa fertilidade (Embrapa, 2006). Entre os macronutrientes, destacam-se estudos com Ca, K, P e N, tanto em relação aos seus benefícios individuais quanto na relação competitividade entre os íons, ou seja, o desequilíbrio nutricional. O cálcio complementa a função do potássio na manutenção da organização celular, hidratação e permeabilidade, afetando a incidência de doenças Huber (2002). (15). No entanto, o K deve estar presente em quantidade mínima necessária para atender a demandar celular. Por outro lado, o excesso de potássio no meio pode inibir a absorção de cálcio e magnésio.

Ito et al. (1993) observaram reduções linear e quadrática da incidência do crestamento foliar de cercospora em soja nas safras 1986/87 e 1987/88, respectivamente, com variações nas doses de potássio de 0 a 600 kg ha⁻¹ de K₂O, aplicadas a lanço com posterior incorporação ao solo. Ploper et al. (1995), estudando o efeito do impacto do sistema de plantio e adubação fosfatada sobre

as doenças da soja, observaram índices de infecção por *Septoria glycines* de 5,9 na ausência da adubação fosfatada e de 2,9 com o fornecimento de 45 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em solo sob sistema de plantio direto, enquanto no sistema de preparo convencional, os índices de infecção foram de 11,2 nos tratamentos sem adubação fosfatada e de 7,2 com a aplicação de fósforo, avaliados na mesma época, em uma área de rotação com o milho. Segundo Yorinori (1996) a aplicação de potássio, aos 28 a 30 dias após a emergência da soja, de acordo com a análise do solo, reduziu significativamente as perdas provocadas por cancro da haste (*Phomopsis phaseoli*) em regiões chuvosas e em solos dos Cerrados com baixos teores de argila (inferior a 50%).

A influência da nutrição mineral sobre a intensidade de doenças foi relatada em outras culturas, como no cafeeiro. Garcia Júnior et al. (2003) avaliaram a incidência e a severidade da cercosporiose em função de doses de K (1, 3, 5 e 7 mmol L⁻¹) e Ca (2, 4, 6 e 8 mmol L⁻¹), em solução nutritiva. Os autores observaram menor área abaixo da curva de progresso do total de lesões (213,25), com doses de 7 mmol L⁻¹ de K e de 6,35 mmol L⁻¹ de Ca. Sendo assim, é notório o papel da nutrição mineral no progresso de doenças, principalmente da interação de nutrientes. No campo, essa interação torna-se complexa de medir, devido à variabilidade na quantidade de nutrientes disponível ao longo da área. Essa única variável poderá influenciar no padrão de distribuição da doença, o qual pode ser aleatório ou casualizado, quando em reboleira ou contínuo, ou seja, a maioria das plantas encontra-se infectada (Campbell & Madden, 1990). Segundo Campbell & Madden (1990), quando o padrão de distribuição for agregado, existe dependência espacial entre as plantas infectadas. Não obstante, a variabilidade do solo também não é aleatória e apresenta dependência espacial (Trangmar et al., 1985). A geoestatística tem se mostrado como importante ferramenta de análise da distribuição espacial de doenças (Alves et al., 2006) e da variabilidade de características do solo (Carvalho et al., 2002), pois permite

detectar a existência da variabilidade, quantificar a magnitude e o grau de dependência espacial e descrever detalhadamente a variabilidade espacial das variáveis estudadas por meio de um interpolador exato e preciso. Ademais, a geoestatística é capaz de determinar a acurácia e confiabilidade dos experimentos, e mostrar diferenças entre tratamentos que não se constataria com o pressuposto de erros aleatórios, considerados na análise clássica de dados (Pontes, 2002).

Assim, objetivou-se com esse trabalho a modelagem geoestatística das doenças de final de ciclo e verificar sua relação com a fertilidade do solo e a nutrição mineral das plantas de soja na lavoura amostrada.

MATERIAL E MÉTODOS

Área amostrada

Os dados foram coletados em lavoura de soja, cultivar Monsoy 8001, estágio fenológico R₆ - granação plena (Fehr & Caviness, 1977), semeada na segunda semana de novembro de 2006 sob sistema de plantio direto, na fazenda Laçador, município de Varjão de Minas – MG, situado a 18°16' de latitude Sul e 45°58' de longitude Oeste.

Foi demarcada malha regular de 20 x 20 m, totalizando 30 pontos amostrais ou interseções georreferenciadas e área total de 8000 m² ou 0,8 ha. Em cada ponto amostral, avaliou-se a severidade das DFC e também a fertilidade do solo e a nutrição mineral das plantas.

Avaliação da severidade das doenças de final de ciclo da soja

A severidade das DFC, mancha parda (*Septoria glycines* Hemmi) e crestamento foliar de cercospora [*Cercospora kikuchii* (Matsu. & Tomayasu) Gardner] foi avaliada com base na escala diagramática proposta por Martins et al. (2004). Amostrou-se o folíolo central de um trifólio do terço médio de 10 plantas ao redor de cada interseção. A análise geoestatística foi realizada com os valores da severidade média em cada ponto.

Avaliação da fertilidade do solo

Foram coletadas cinco amostras simples de solo na camada de 0 - 20 cm, utilizando-se de um trado e, após homogeneização dessas amostras, foi retirada uma amostra composta com cerca de 500 g e enviada ao laboratório para determinar a fertilidade do solo. As análises foram realizadas pelo Laboratório de Análise de Solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade

Federal de Lavras, em conformidade com a (Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG, 1999).

Os teores de Ca e Mg foram determinados por meio do extrator KCl na concentração de 1 mol L⁻¹. Já os nutrientes P e K foram quantificados utilizando-se solução extratora Mehlich 1 e o S com o extrator fosfato monocálcio em ácido acético.

Os resultados da análise granulométrica da área amostrada encontram-se na tabela 1.

Tabela 1. Resultados de análises granulométricas do solo. UFLA, Lavras – MG, 2008.

Partículas do solo	Teor (dag Kg⁻¹)	Classe Textural
Areia	15	
Silte	32	Argilosa
Argila	53	

Avaliação da nutrição mineral de plantas

Foram coletados os folíolos centrais do quarto trifólio a partir do ápice de 10 plantas ao redor de cada ponto amostral e acondicionados em sacos de papel. As amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 60 °C, até atingirem peso constante, em seguida, foram trituradas em moinho tipo Wiley e encaminhadas para análises nutricionais no Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras.

Para quantificar os teores de cálcio, magnésio, fósforo, potássio e enxofre, todas as amostras foram submetidas à digestão nítrico-perclórica. Posteriormente, determinaram-se os teores de Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica, o P por colorimetria, o K por fotometria de chama de emissão e os teores de S por turbidimetria do sulfato, de acordo com (Malavolta, 1997).

Análises geoestatísticas

As análises geoestatísticas foram realizadas no programa GS+ v.7.0, pela determinação dos semivariogramas isotrópicos, com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, de acordo com metodologia de (Burrough & McDonnell, 1998). O ajuste dos modelos de semivariogramas foi escolhido em função do quadrado médio do erro, do erro padrão de predição e da autovalidação ('Jack Knife'). O grau de dependência espacial das variáveis foi analisado com base na classificação de Cambardella et al. (1994), em que são considerados de forte dependência espacial os semivariogramas com efeito pepita de 25% do patamar, moderada quando entre 25 e 75% e de fraca quando >75%. Após o ajuste dos semivariogramas, foi realizada a interpolação dos dados por krigagem ordinária, de forma a possibilitar a construção de gráficos tridimensionais e a conseqüente visualização da distribuição espacial das variáveis na lavoura.

Realizou-se a correlação de Pearson entre os teores dos nutrientes no solo e nas folhas com as variáveis biológicas, utilizando-se o programa estatístico SAS (Statistical Analysis System) versão 8.1 (Statistical Analysis System - SAS Institute (2000)).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição espacial das doenças de final de ciclo e dos nutrientes Ca, P e K no solo.

De acordo com a análise geoestatística, o efeito pepita foi de 45% do patamar, dessa forma, a severidade das doenças de final de ciclo da soja apresentou padrão de distribuição agregado com moderada dependência espacial. Ajustou-se, para esse patossistema, o semivariograma experimental isotrópico, de modelo esférico, com alcance de 70 m (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros e coeficientes dos semivariogramas isotrópicos da severidade das doenças de final de ciclo e dos teores de nutrientes cálcio (Ca), fósforo (P) e potássio (K) no solo. UFLA, Lavras - MG, 2008.

Variáveis	Parâmetros			Coeficientes		
	Modelo	Co	(Co+C) (Ao)	R ² (%)	Co/Co+C	
Severidade	Esférico	3,54	7,80	70,0	71,4	0,45
Ca	Exponencial	0,04	0,32	44,70	82,2	0,13
P	Esférico	0,10	18,62	31,40	32,4	0,01
K	Exponencial	13,40	140,30	64,20	76,2	0,10

Co - Efeito Pepita; Co +C - Patamar; Ao - Alcance; R² - coeficiente de determinação; Co/Co + C - razão (K) indicativa do grau de dependência espacial; Ca - Teor de cálcio no solo (cmol_c dm⁻³); P - Teor de fósforo no solo (mg dm⁻³); K - Teor de potássio no solo (mg dm⁻³).

Sendo assim a doença, provavelmente, progrediu a partir de uma fonte primária, atingindo a linha de cultivo e as linhas adjacentes. Segundo Ito &

Tanaka (1993), restos de cultura e/ou sementes contaminadas constituem a principal fonte de inóculo primário para as doenças de final de ciclo da soja. Infecções secundárias surgiram com moderado grau de agregação. As plantas, na reboleira, estavam correlacionadas entre si no raio de até 70 m no momento da avaliação, ou seja, no estágio fenológico R₆ (Figura 1). Severidades observadas a distâncias superiores ao valor do alcance foram aleatórias, isto é, não apresentaram dependência espacial nessa época de avaliação. O ajuste do modelo esférico ao semivariograma experimental da severidade das DFC corrobora a hipótese de as doenças ocorrerem no campo a partir de um foco primário, progredindo com a infecção de plantas circunzinhas. Este modelo representa uma área com pico de severidade central, correspondente ao ponto de infecção inicial, com as menores severidades do entorno estabilizando-se no patamar definido pelo alcance do semivariograma. A menor severidade dessas áreas, no momento da avaliação, deve-se possivelmente às infecções secundárias.

O padrão agregado de doenças da parte aérea, com o uso da geoestatística, também foi constatado por Alves et al. (2006) estudando a dinâmica espaço-temporal da antracnose em feijoeiro e da ramulose do algodão, doenças veiculadas por sementes. Os autores relataram alcances máximos de 3,15 m aos 61 dias após a semeadura (DAS), para a antracnose com o modelo esférico e de 6,82 m para ramulose aos 80 DAS, com o modelo gaussiano. Esses alcances foram limitados pelo tamanho das parcelas experimentais de 5 m de comprimento com nove e seis linhas, respectivamente, para feijoeiro e algodoeiro e também devido às características de disseminação dos patógenos. Os alcances relatados no presente trabalho foram estimados em uma área amostral de 8000 m².

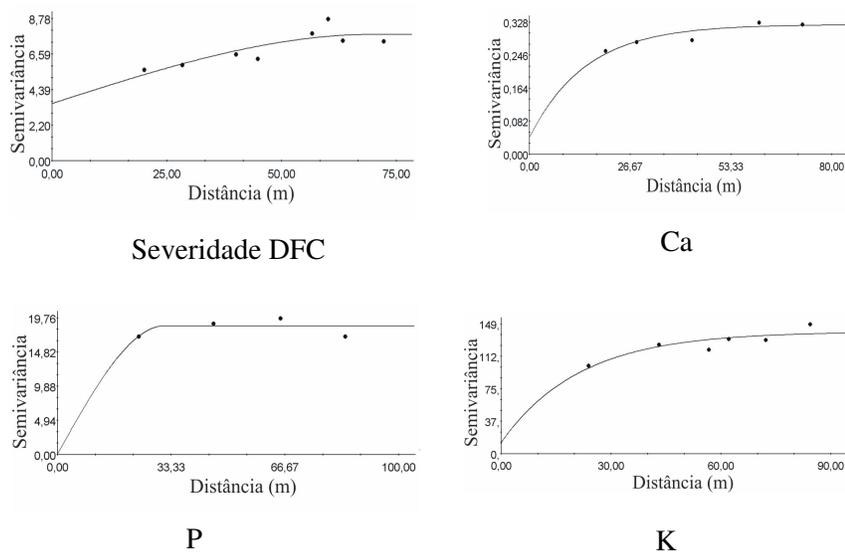


Figura 1. Semivariogramas isotrópicos ajustados: Severidade das doenças de final de ciclo; Ca - teor de cálcio no solo ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$); P - teor de fósforo no solo (mg dm^{-3}); K - teor de potássio no solo (mg dm^{-3}). UFLA, Lavras – MG, 2008.

Em relação à fertilidade do solo, os nutrientes Ca, P e K apresentaram padrão de distribuição do tipo agregado e forte dependência espacial, de acordo com a classificação de Cambardella et al. (1994), com alcances de 44,70, 31,40 e 64,20 m, respectivamente (Tabela 1). Pinheiro (2007) também verificou forte dependência espacial do Ca e do K no solo na camada de 0 - 20 cm, com alcances de 28,1 m e 26,9 m, respectivamente. Os maiores alcances dos nutrientes Ca e K, em relação ao do P, devem-se à forma de aplicação desses nutrientes em área total por meio de calagem e adubação corretiva com potássio e à ciclagem dos nutrientes com a deposição de matéria orgânica do sistema de plantio direto, associada à maior redistribuição desses nutrientes no solo. A

distribuição agregada do fósforo pode estar associada à sua aplicação nas linhas de semeadura, além de baixa mobilidade no solo Barber (1984) (4) e à alta afinidade por minerais de ferro e alumínio, os quais variam ao longo da área.

Relação entre a severidade das doenças de final de ciclo da soja e a fertilidade do solo

De acordo com os mapas de Krigagem, gerados após o ajuste dos semivariogramas isotrópicos experimentais, pode-se observar o padrão agregado e a relação positiva do Ca e negativa dos nutrientes P e K com a severidade do complexo de doenças de final de ciclo da soja (Figuras 2 e 3).

Áreas com níveis mais altos de P e K apresentaram menor severidade de Mancha Parda e Crestamento Foliar de Cercospora. Assim, em áreas com teores elevados de P ($24,5 \text{ mg dm}^{-3}$) e médio de K ($63,4 \text{ mg dm}^{-3}$) foi verificada menor severidade média das doenças (5,2 a 7,9% de tecido foliar lesionado). Por outro lado, as maiores severidades (11,7% a 12,1% de tecido foliar lesionado) foram observadas quando os teores dos nutrientes foram de inferiores a $13,4 \text{ mg dm}^{-3}$ de P e de $38,7 \text{ mg dm}^{-3}$ de K (Figura 3). Excetuando-se pequenas variações, os sintomas mais severos das doenças ocorreram em áreas com teores de fósforo entre $4,3 - 13,4 \text{ mg dm}^{-3}$ e baixos teores de potássio ($15 - 40 \text{ mg dm}^{-3}$), enquanto que as menores severidades refletiram teores adequados - ou bom - de P ($13,7 - 17,8 \text{ mg dm}^{-3}$) ou muito bom (superior $19,1 \text{ mg dm}^{-3}$) de fósforo e médios ($41,3$ até $63,4 \text{ mg dm}^{-3}$) (Embrapa, 2006).

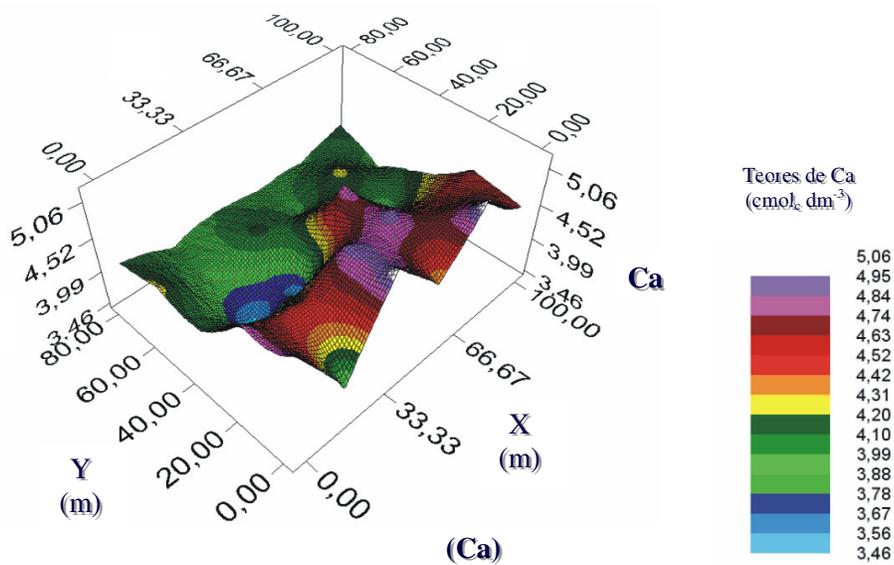
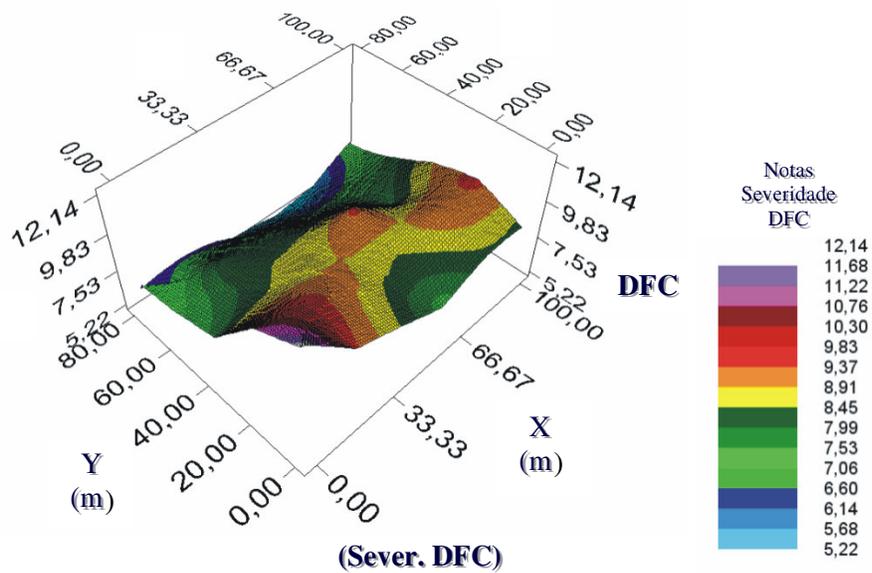


Figura 2. Mapas de krigagem ordinária para: (Sever. DFC) - Severidade de doenças de final de ciclo; (Ca) - Teor de cálcio no solo (cmol_c dm⁻³). UFLA, Lavras – MG, 2008.

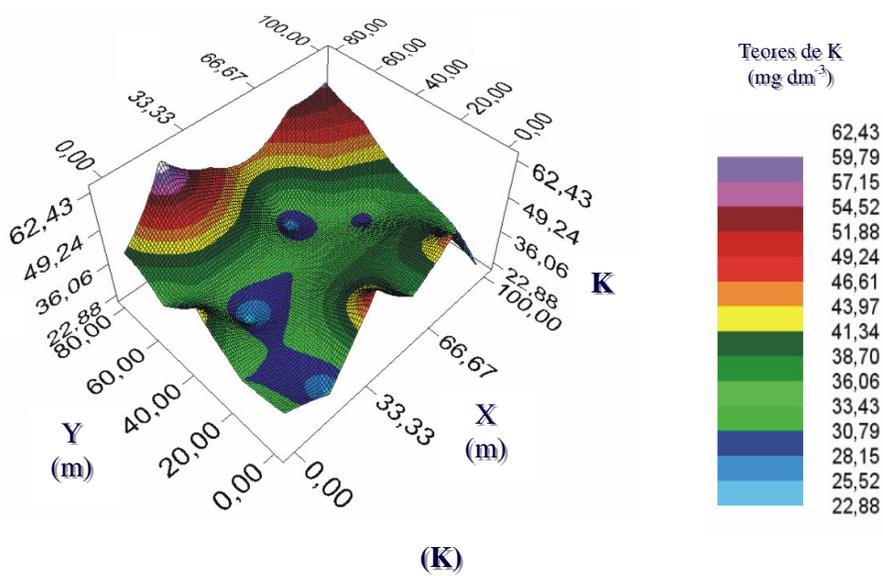
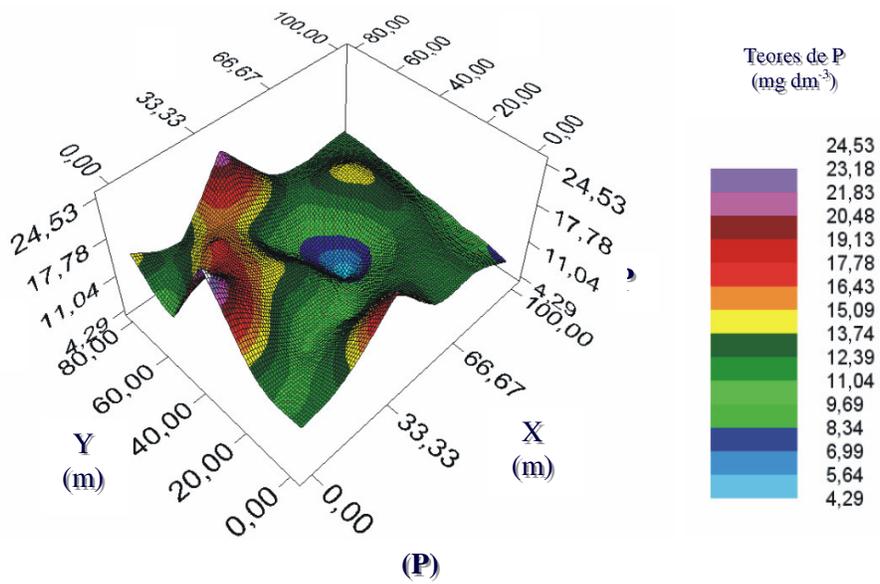


Figura 3. Mapas de krigagem ordinária para: (P) - Teor de fósforo no solo (mg dm^{-3}); (K) - Teor de potássio no solo (mg dm^{-3}). UFLA, Lavras – MG, 2008.

A influência do potássio sobre o crestamento foliar da soja (*Cercospora kikuchii*) foi constatada por Ito et al. (1993), que observaram reduções na incidência da doença de 22% na safra de 1986/87 e de 18% na safra 1987/88, com doses de potássio variando de 0 a 600 Kg ha⁻¹ de K₂O. Mascarenhas et al. (1997) verificaram redução de 40,1% na severidade do cancro da haste em plantas de soja inoculadas com 10³ esporos por mL, com aumento das doses de potássio de 0 para 160 ppm K₂O. Contudo, na dose de 400 ppm, houve aumento de 24,5% na severidade avaliada aos 106 dias, após emergência em relação à encontrada na dose de 0 ppm na mesma época de avaliação, fato atribuído à competição entre cátions, notadamente com o Ca.

Para a ferrugem asiática da soja, Balardin et al. (2006) verificaram redução de 25,9% para 6,2% na severidade da ferrugem asiática, no estágio R₅, com elevação das doses de fósforo de 0 para 170 kg.ha⁻¹ e de potássio de 0 para 140 kg.ha⁻¹. Segundo os autores, os melhores resultados foram obtidos com aumento de ambos nutrientes na mesma proporção. Hartman et al. (1999) ressaltam a importância de condições ótimas de fertilidade do solo, com adequado fornecimento de nutrientes às plantas, em particular com K e P, para se conseguir adequado manejo de doenças como as bacterioses (*Pseudomonas syringae* e *Xanthomonas campestris*), podridão de carvão (*Macrophomina phaseolina*), fusariose (*Fusarium oxysporum*), cancro da haste (*Diaporthe*), podridão de raiz e da base da haste (*Rhizoctonia solani*) e nematóides, confirmando a relação observada no presente trabalho. Fernandes (1988), avaliando os níveis de 50, 150, 300 e 450 ppm de P e 10, 40, 80 e 120 ppm de K aplicados no solo sobre a intensidade da cercosporiose do cafeeiro, verificou que a combinação de 450 ppm de P e 120 ppm de K apresentou 0,35 de proporção cumulativa de área foliar lesionada (PAFL), enquanto que, nas combinações de 50 ppm de P e 10 ppm ou 150 ppm de P e 40 ppm de K, semelhantes

estatisticamente, foram observados os maiores valores de PAFL, 0,92 e 0,79, respectivamente.

No presente trabalho, verificou-se que áreas com maiores teores de cálcio, níveis superiores a $4,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, implicaram em elevada severidade da doença, embora sejam conhecidos os efeitos do Ca na redução da severidade de doenças (13, 16) por sua ação contra enzimas pectolíticas, produzidas por alguns patógenos Marschner (1995) (Figura 3). A maior severidade das DFC nessas áreas deve-se possivelmente a desequilíbrios devido aos baixos teores de K e não por efeitos diretos da concentração de Ca, já que, segundo Huber & Arny (1985), o equilíbrio de nutrientes pode ser tão importante quanto o nível de um elemento específico.

É importante ressaltar que o cálcio apresentou padrão de distribuição do tipo agregado com forte dependência espacial, mas dentro da variabilidade apresentada não foram mapeadas áreas com concentrações baixas ou deficitárias do nutriente; pelo contrário, foram observadas áreas com teores classificados como médios, entre $2 - 4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, ou alto, teores superior a $4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para a cultura da soja (Embrapa, 2006).

A correspondência visual, observada nos mapas de krigagem, entre os nutrientes Ca, P e K no solo e a severidade de doenças de final de ciclo, foi confirmada pela correlação de Pearson entre essas variáveis (Tabela 3).

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre a severidade do complexo de doenças de final de ciclo e os teores de macronutrientes no solo. UFLA, Lavras – MG, 2008.

Macronutrientes	Severidade Média
Ca	0,58*
P	-0,37*
K	-0,36*
Mg	0,29 ^{ns}
S	0,11 ^{ns}

*significativo pelo teste de t a 5% de probabilidade; ns - não significativo pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Relação entre a severidade das doenças de final de ciclo da soja e nutrição mineral de plantas.

A severidade das DFC apresentou correlação negativa significativa com os níveis foliares de P, Mg e S (Tabela 4).

As concentrações de fósforo nos tecidos foliares confirmaram a disponibilidade do nutriente no solo. Sua absorção pode ter sido favorecida por níveis de magnésio presentes no solo, graças ao efeito sinérgico entre os elementos Malavolta (1980). Observou-se com isso o acúmulo de Mg concomitante ao de P nas folhas de soja. Os níveis de enxofre nas folhas apresentaram-se entre 2,1 e 4,0 g kg⁻¹, citada por Ambrosano et al. (1996), como adequada para a soja, considerada a maior exportadora de S da agricultura brasileira, com 77,3 mil toneladas por ano Yamada & Lopes (1998). Tais níveis de absorção e acúmulo retrataram os altos teores no solo e eram esperados para o atendimento das exigências da cultura e do perfeito desempenho de suas funções

estruturais e metabólicas, no entanto, não se conhece nenhuma relação do S com a severidade das doenças de final de ciclo da soja.

Tabela 4. Coeficientes de correlação de Pearson entre severidade do complexo de doenças de final de ciclo e teores dos macronutrientes em folhas de soja. UFLA, Lavras – MG, 2008.

Macronutrientes	Severidade
Ca	-0,03 ^{ns}
P	-0,39*
K	0,20 ^{ns}
Mg	-0,36*
S	-0,42*

*significativo pelo teste de t a 5% de probabilidade; ns - não significativo pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Não se observou correlação entre a severidade das doenças e os teores de Ca e K nas folhas amostradas no estágio R₆ ou sementes desenvolvidas. Esses resultados são contrastantes aos obtidos por Ito et al. (1993). Os autores avaliaram o efeito residual da adubação potássica a lanço sobre o crestamento foliar de *Cercospora* e constataram que a incidência da doença foi inversamente proporcional às doses de potássio aplicadas e aos teores do nutriente na folhas, coletadas no mesmo estágio fenológico. Pinheiro (2007) também verificou respostas no acúmulo de Ca e de K em folhas de soja, com aumento das doses fornecidas em solução nutritiva e redução na severidade da ferrugem asiática. Basseto et al. (2007) não verificaram efeito de doses de K sobre a severidade da

mela da soja, cujo agente etiológico é o fungo *Rhizoctonia solani* em casa de vegetação, no entanto, houve diferenças no acúmulo do nutriente nas folhas. A ausência de correlação significativa apresentada no presente trabalho pode ser em decorrência dos teores foliares de Ca serem considerados excessivos ou altos em toda a área amostrada, de acordo com Embrapa (2006), não correlacionando, portanto, com a severidade da doença, que apresentou padrão de distribuição agregado (Figura 1).

As altas concentrações de Ca nas folhas foram devidas aos níveis médio a alto no solo. O nutriente, pouco móvel na planta, ao ser absorvido, acumulou-se gradativamente nos tecidos vegetais da soja até o estágio em que se encontrava no momento da amostragem. Mesmo com o enchimento de grãos, não apresentou níveis deficitários nas folhas coletadas, já que é um nutriente imóvel na planta Malavolta (1997). Além disso, há de se considerar que a amostragem realizada no estágio fenológico R₆ (granação plena) pode ter subestimado a absorção de potássio. A redistribuição do nutriente constitui a sua fonte primária para os grãos em formação e resulta em significativa diminuição do K na parte aérea da planta durante o período de enchimento dos grãos. De acordo Malavolta (1980), quando absorvido, a maior parte do potássio nos tecidos da planta está na forma solúvel, permitindo rápida distribuição das partes de menor para as de maior atividade fisiológica. Portanto, nessa fase, enchimento de grãos, a maior quantidade desse nutriente possivelmente estava nos grãos.

CONCLUSÕES

Ajustou-se o semivariograma isotrópico esférico para o complexo de doenças de final de ciclo da soja (Mancha Parda e Crestamento Foliar de Cercospora) com moderada dependência espacial e alcance de 70 m.

Os mapas de krigagem ordinária possibilitaram a análise e a constatação do padrão agregado e da relação negativa da severidade das doenças de final de ciclo da soja com o potássio e o fósforo, e positiva com o cálcio no solo.

As doenças de final de ciclo da soja apresentaram correlação significativa negativa com os teores foliares de fósforo, magnésio e enxofre.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. C.; POZZA, E. A.; MACHADO, J. C.; ARAÚJO, D. V.; TALAMINI, V.; OLIVEIRA, M. S. Geoestatística como metodologia para estudar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a *Colletotrichum* spp. transmitidos por sementes. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 557-563, nov./dez. 2006.

AMBROSANO, E. J.; et al. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van et al. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1996. p. 187-203.

BALARDIN, R. S. et al. Influência do fósforo e do potássio na severidade da ferrugem da soja *Phakopsora pachyrhizi*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 5, p. 62-467, set./out. 2006.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability**. Nova York: J. Willey, Sons, 1984. 398 p.

BASSETO, M. A.; CERESINI, P. C.; VALÉRIO FILHO, W. V. Severidade da mela da soja causada por *Rhizoctonia solani* AG-1 IA em função de doses de potássio. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 33, n. 1, p. 56-62, jan./mar. 2007.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems: spatial information systems and geostatistics**. 2. ed. Oxford: Oxford University, 1998. 333 p.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Fieldscale variability of soil properties in Central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n. 5, p. 1501-1511, Sept./Oct. 1994.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York, J. Wiley, Sons. 1990. 532 p.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M da .; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago. 2002.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CFSEMG. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: 1999. 359 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA Centro Nacional de Pesquisa de Soja - EMBRAPA. **Tecnologia de produção de soja: região central do Brasil - 2007**. Londrina: Embrapa Soja/Embrapa Cerrados/Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 225 p. (Sistema de Produção, 11)

FERNANDES, C. D. **Efeito de fatores do ambiente e da concentração de inóculo sobre a cercosporiose do cafeeiro**. 1988. 73 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 1977. 12 p. (Special Report, 80).

GARCIA JÚNIOR, D.; POZZA, E. A.; POZZA., A. A. A.; SOUZA, P. E., CARVALHO, J. G.; BALIEIRO, A. C. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 286-291, mai./jun. 2003.

HARTMAN, G. L.; SINCLAIR, J. B.; RUPE, J. C. **Compendium of soybean diseases**. 4. ed. Saint Paul: 1999. 100 p.

HUBER, D. M. Relationship between mineral nutrition of plants and disease incidence. In: WORKSHOP RELAÇÃO ENTRE NUTRIÇÃO DE PLANTAS E INCIDÊNCIA DE DOENÇAS, n. 1, 2002, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Potafós, 2002. 1 CD-ROM.

HUBER, D. M. The role of mineral nutrition in defense. In: HORSFALL, J. G.; COWLING, E. B. (Eds.). **Plant pathology: an advanced treatise**. New York: Academic, 1980. p. 381-406.

HUBER, D. M.; ARNY, D. C. Interactions of Potassium with plant disease. In: MUNSON, R. D. (Ed.). **Potassium in Agriculture**. Madison: ASA/CSSA/SSA, 1985. p. 467-488.

ITO, M. F. et al. Efeito residual da calagem e da adubação potássica sobre a queima foliar (*Cercospora kikuchii*) da soja. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 19, n. 1, p. 21-23, jan./mar. 1993.

ITO, M. F.; TANAKA, M. A. S. **Soja**: principais doenças causadas por fungos, bactérias e nematóides. Campinas: Fundação Cargill, 1993. 48 p. (Série Técnica, 186).

MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres. 1980, 251 p.

MARSCHNER, H. Relationship between mineral nutrition and plant disease and pests. In: MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 1995. p. 369-390.

MARTINS, M. C. et al. Escala diagramática para a quantificação do complexo de doenças foliares de final de ciclo em soja. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 179-184, mar./abr. 2004.

MASCARENHAS, H. A. A. et al. Efeito da adubação potássica no cancro da haste da soja. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 23, n. 3/4, p. 217-221, 1997.

PINHEIRO, J. B. **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) com nutrientes e fungicidas e a influência da nutrição mineral na distribuição espacial e reprodução do nematóide do cisto da soja (*Heterodera glycines* Ichinohe)**. 2007. 175 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PLOPER, L. D. et al. Efectos del sistema de labranza, la rotación de cultivos, y la fertilización fosforada sobre las enfermedades de soja en Tucumán, Argentina. **Revista Industrial y Agrícola de Tucumán**. Tucumán, v. 72, n. 1-2, p. 87-98, 1995.

PONTES, J. M. **A geoestatística**: aplicação em experimentos de campo. 2002. 82 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária). Universidade Federal de Lavras, Lavras.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS INSTITUTE. **SAS language and Procedures**: usage. Version 8.1. Cary: NC, 2000. 1 CD-ROM.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.38, n. 1, p. 45-94, 1985.

YAMADA, T.; LOPES, A. S. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. In: **INFORMAÇÕES Agronômicas**. Piracicaba: Potafós, 1998. p. 2-8. (Encarte Técnico, 84)

YORINORI, J. T. **Cancro da haste da soja**: epidemiologia e controle. Londrina: EMBRAPA/CNPSo, 1996. 75 p. (Circular Técnica N°14)

ARTIGO 3.

Variabilidade espacial do nematóide do cisto da soja e sua relação com a fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas

(Preparado de acordo com as normas da revista “Fitopatologia Brasileira”)

RESUMO

CARVALHO, Eudes de Arruda. **Modelagem geoestatística da distribuição espacial de doenças do feijoeiro comum e da soja e sua relação com a fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas:** artigo 3: Variabilidade espacial do nematóide do cisto da soja e sua relação com a fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas. 2008. p. 57-82. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Objetivou-se, com o presente trabalho, estudar a estrutura e a magnitude de dependência espacial do nematóide do cisto da soja (*Heterodera glycines*) por meio do mapeamento da variabilidade espacial, e verificar sua relação com a fertilidade do solo e a nutrição mineral das plantas, cultivar Monsoy 8001, estágio fenológico R₆, em sistema de plantio direto. O experimento foi realizado no município de Varjão de Minas, MG. Foi demarcada malha regular de 20x20 m, totalizando-se 30 observações georreferenciadas com aparelho de GPS. Nesses pontos coletou-se amostra de solo na camada de 0-30 cm para constatação de nematóides e de 0-20 cm para análises de fertilidade. Foram coletadas folhas para análise nutricional, amostrando-se o folíolo central do quarto trifólio a partir do ápice. Nas amostras, avaliaram-se o número de juvenis do segundo estágio (J2), o número de cistos não viáveis e viáveis e a fertilidade do solo. Os teores de nutrientes nas folhas foram quantificados no laboratório de Análise Foliar do Departamento de Química/UFLA. Com base na análise dos semivariogramas isotrópicos e mapas de krigagem ordinária, verificou-se a dependência espacial, o padrão agregado do nematóide do cisto da soja e sua relação com o potássio, o fósforo e o magnésio do solo. Esses resultados também foram constatados pela correlação de Pearson, que revelou correlação positiva significativa entre essas variáveis, exceto entre o número de cistos viáveis e Mg no solo. Neste caso, a correspondência se deu com os teores foliares do nutriente. Os níveis de K e de P nas folhas não foram influenciados pela infestação de nematóide.

Palavras-chave adicionais: *Heterodera glycines*, nutrição mineral, distribuição espacial.

ABSTRACT

CARVALHO, Eudes de Arruda. **Geostatistic modeling of spatial distribution of common bean and soybean diseases and its relationship among soil fertility and mineral nutrition plants:** artigo 3: Spatial variability of the soybean cyst nematode and its relationship among soil fertility and mineral nutrition plants. 2008. p. 57-82. Dissertation (Master in Plant Pathology) - Federal University of Lavras, Lavras, MG.

The objective of this work was to study the structure and magnitude of spatial dependence of the soybean cyst nematode (*Heterodera glycines*) through the mapping of spatial variability, and verify their relation to soil fertility and mineral nutrition of plants, cultivar Monsoy 8001, phenological stage R6 in a direct planting system. The experiment was conducted in the municipality of Varjão de Minas, Minas Gerais. A regular 20x20m mesh was demarcated, totaling 30 georeference points with a GPS device. At these points, soil samples were collected from the 0-30cm layer for nematode observation and 0-20cm for fertility analyses. Leaf samples were collected for nutrition analysis. In the samples, the number of second stage (J2) juveniles, non-viable and viable cysts and soil fertility were evaluated. The foliar nutrient levels were quantified in the Foliar Analysis Laboratory of the Chemistry Department/UFLA. Based on the analysis of isotropic semivariograms and ordinary kriging maps there was a spatial dependence, a clustered pattern of the soybean nematode cyst and its correlation with potassium, phosphorus and magnesium in the soil. These results were also observed by the Pearson correlation, which revealed a positive correlation between these variables, except between the number of viable cysts and Mg in the soil, in this case, the correspondence was with the foliar nutrient levels. The levels of K and P in the leaves were not influenced by the nematode infestation.

Additional Keywords: *Heterodera glycines*, mineral nutrition, spatial distribution.

INTRODUÇÃO

O “nanismo amarelo da soja”, cujo agente etiológico é o nematóide do cisto (*Heterodera glycines* Ichinohe), é uma das principais doenças da cultura, dado o potencial de danos, a facilidade de disseminação e a longa persistência dos cistos no solo (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, 2006). A doença resulta de alterações nas funções das raízes de soja, tendo como consequência uma redução na habilidade da planta em absorver, translocar e fixar água e nutrientes para a parte aérea (Wrather et al., 1984).

Para o manejo de áreas infestadas pelo nematóide do cisto da soja é recomendado o uso de rotação de culturas e de cultivares resistentes. O estado nutricional da planta da soja pode influenciar o número de nematóides que dela se alimenta (Yorinori, 1994), e também deve ser considerado na implementação de práticas de manejo e de técnicas de recuperação de áreas infestadas. As barreiras de defesa constituem o fenótipo, o qual depende da perfeita interação do genótipo com o ambiente, para expressar seu potencial máximo. Sendo assim, a nutrição mineral da planta e a fertilidade do solo são fatores do ambiente, capazes de influenciar diretamente a formação de mecanismos de defesa das plantas e podem ser alteradas com relativa facilidade. Segundo Shannon et al. (1977), a manutenção do balanço nutricional é extremamente importante, especialmente em solos onde *H. glycines* está presente.

Pinheiro (2007), estudando a influência da nutrição com potássio e cálcio na reprodução do nematóide do cisto da soja em um Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf) misturado à areia, na proporção de 1:2, verificou decréscimo linear no número de cistos por vaso e de ovos por cisto, com o fornecimento de doses crescentes de potássio, 0, 150, 300, 450 e 600 mg dm⁻³. As populações de fêmeas e de cistos do nematóide por sistema radicular

apresentaram redução 48,45% entre as doses 0 e 320 mg dm⁻³, com aumento da população sob doses maiores 320 mg dm⁻³. Rocha (1998), avaliando o efeito da calagem e da adubação potássica, sobre a população do NCS, observou redução acentuada no número de cistos viáveis, nos estádios de enchimento de grãos e no final do ciclo da cultura, à medida que foram aplicadas as doses 0, 30, 60 e 120 kg/ha⁻¹ de K₂O. Sologuren & Santos (1997) constataram correlações positivas entre a densidade de cistos viáveis e de juvenis de segundo estágio e os valores de pH, Ca, Mg e saturação de bases. Os autores concluíram que as características químicas do solo interferem na dinâmica populacional do nematóide, sendo que esta dinâmica pode ser afetada diretamente pelos fatores edáficos ou indiretamente influenciada pelas respostas do hospedeiro a esse ambiente (Francl, 1993). No entanto, as características químicas do solo apresentam grande variabilidade, mesmo em áreas consideradas uniformes. Vários autores (Carvalho et al., 2003; Trangmar et al., 1985) demonstraram que essa variabilidade não é aleatória, isto é, apresenta dependência espacial. Sendo assim, o tratamento das variáveis componentes do solo não pode ser feito por estatística clássica, que utiliza parâmetros como média e desvio padrão para representar um fenômeno. Este procedimento se baseia na hipótese principal de que as variações de um local para outro são aleatórias. Ademais, a distribuição do nematóide do cisto da soja em campo é caracterizada como do tipo agregada e, de acordo com Embrapa (2006), com sintomas aparecendo em reboleiras. Esse padrão produz dificuldades na realização de amostragens, assim como na instalação de ensaios de campo, visando o manejo adequado de áreas infestadas (Barker, 1985). Essas são, possivelmente, as principais razões para o reduzido número de trabalhos sobre a influência da nutrição de plantas em populações de nematóides fitoparasitas realizados em campo.

O conhecimento da dinâmica populacional espacial de nematóides constitui ponto fundamental para avaliação dos possíveis danos causados, uma

vez que a presença de sintomas nem sempre é evidente em plantas infestadas (Barker & Noe, 1987). Dessa maneira, o entendimento dos modelos de distribuição espacial dos nematóides fitoparasitas torna-se essencial para formular esquemas de amostragem eficientes e para estabelecer e interpretar os resultados de experimentos no campo (Barker & Campbell, 1981). Por fim, essas informações podem ser de grande utilidade ao manejo de áreas infestadas, permitindo o mapeamento e direcionamento das práticas que visam reduzir a população de nematóides.

A geoestatística, utilizada inicialmente no estudo de dados de concentração de ouro na África do Sul (Krige, 1951), é uma metodologia para análise de dados que estão correlacionados espacialmente (Clark, 1979). Essa técnica, ao considerar o grau de continuidade das variâncias entre amostras vizinhas, permite quantificar a dependência espacial, bem como mapear a variabilidade das características avaliadas, por meio da estimativa não tendenciosa de valores em locais não amostrados, fundamentada na teoria das variáveis regionalizadas, desenvolvida por Matheron (1971). A geoestatística é, portanto, importante ferramenta para pesquisas de distribuição e dependência espacial no setor agrícola. Silva & Chaves (2001) utilizaram análises geoestatísticas na avaliação dos teores de fósforo, potássio e matéria orgânica nas profundidades de 0 a 30 cm e de 30 a 60 cm em Alissolos no município de Petrolina - PE. Verificaram que as variáveis químicas estudadas e o teor de matéria orgânica apresentaram forte correlação espacial. A geoestatística também foi utilizada com eficiência no estudo de populações de nematóides por Farias (1999), que constatou ser a geoestatística uma metodologia extremamente útil para análise da distribuição espacial do nematóide reniforme na cultura do algodoeiro, sem, contudo, dispensar o conhecimento biológico da espécie.

Nesse contexto, objetivou-se o estudo da variabilidade espacial do nematóide do cisto da soja e sua relação com a fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas, utilizando-se metodologias de análise geoestatística.

MATERIAL E MÉTODOS

Área amostrada

Os dados foram coletados em lavoura de soja, cultivar Monsoy 8001, estágio fenológico R₆ - granação plena, semeada na segunda semana de novembro de 2006 sob sistema de plantio direto, na fazenda Laçador, município de Varjão de Minas – MG, situado a 18°16' de latitude Sul e 45°58' de longitude Oeste. A área amostrada apresenta histórico com ocorrência do nematóide do cisto da soja.

Foi demarcada malha regular de 20 x 20 m, totalizando 30 pontos amostrais ou interseções georreferenciadas e área total de 8000 m² ou 0,8 ha. Em cada ponto amostral, avaliaram-se a infestação do nematóide do cisto da soja, a fertilidade do solo e a nutrição mineral das plantas.

Quantificação de juvenis de segundo estágio e de cistos viáveis e não-viáveis

Foram retiradas amostras de solo na camada 0 – 30 cm em cada interseção ou ponto amostral para quantificação de juvenis de segundo estágio (J₂), cistos viáveis e cistos não viáveis do nematóide *Heterodera glycines*.

No laboratório, todas as amostras foram passadas em peneira de 5 mesh (4 mm), em seguida retiraram-se duas alíquotas de 100 cm³, que foram colocadas cada uma em um becker de 1000 mL. Completou-se o volume com água e agitou-se vigorosamente por 2 minutos em um agitador de solo. O sobrenadante foi vertido sobre as peneiras de 20 (0,850 mm), 80 (0,180 mm) e 400 mesh (0,038 mm). Os J₂ ficaram retidos na peneira de 400 mesh e foram recuperados pelo método da flutuação da centrífuga com solução de sacarose (Jenkins, 1964). A suspensão obtida foi coletada em água e levada ao

microscópio de objetiva invertida para identificação e quantificação em uma câmara de contagem.

Os cistos ficaram retidos na peneira de 80 mesh e foram coletados com água em um frasco e levados ao microscópio estereoscópio para a identificação e quantificação de cistos viáveis e não viáveis. Os cistos foram considerados não-viáveis quando vazios ou translúcidos, enquanto os cistos viáveis mostravam-se escuros e com ovos em seu interior.

Avaliação da fertilidade do solo

Foram coletadas cinco amostras simples de solo na camada de 0 - 20 cm utilizando-se de um trado e, após homogeneização dessas amostras, foi retirada uma amostra composta com cerca de 500 g e enviada ao laboratório para determinar a fertilidade do solo. As análises foram realizadas pelo Laboratório de Análise de Solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. Os nutrientes P e K foram quantificados, utilizando-se solução extratora Mehlich 1 e o Mg pelo extrator KCl (1 mol L^{-1}), em conformidade com a (Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG, 1999). Os resultados da análise granulométrica da área amostrada encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados de análises granulométricas do solo. UFLA, Lavras – MG, 2008.

Partículas do solo	Teor (dag Kg^{-1})	Classe Textural
Areia	15	Argilosa
Silte	32	
Argila	53	

Avaliação da nutrição mineral de plantas

Foram coletados os folíolos centrais do quarto trifólio, a partir do ápice de 10 plantas ao redor de cada ponto amostral e acondicionados em sacos de papel. As amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 60 °C, até atingirem peso constante, em seguida, foram trituradas em moinho tipo Wiley e encaminhadas para análises nutricionais no Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras.

Para quantificar os teores dos nutrientes, todas as amostras foram submetidas à digestão nítrico-perclórica. Em seguida, determinaram-se os teores de P por colorimetria, de K por fotometria de chama de emissão e os teores de Mg por espectrofotometria de absorção atômica, de acordo com metodologias específicas descritas por Malavolta (1997).

Análises geoestatísticas

As análises geoestatísticas foram realizadas no programa GS+ v.7.0, pela determinação dos semivariogramas isotrópicos, com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, de acordo com metodologia de Burrough & McDonnell (1998). O ajuste dos modelos de semivariogramas foi escolhido em função do quadrado médio do erro, do erro padrão de predição e da autovalidação ('Jack Knife'). O grau de dependência espacial das variáveis foi analisado com base na classificação de Cambardella et al. (1994), em que são considerados de forte dependência espacial os semivariogramas com efeito pepita 25% do patamar, moderada quando entre 25 e 75% e de fraca quando >75%. Após o ajuste dos semivariogramas, foi realizada a interpolação dos dados por krigagem ordinária, de forma a possibilitar a construção de gráficos tridimensionais e a conseqüente visualização da distribuição espacial das variáveis na lavoura.

Realizou-se a correlação de Pearson entre os teores dos nutrientes no solo e nas folhas com as variáveis biológicas, utilizando-se o programa estatístico SAS (Statistical Analysis System) versão 8.1 (Statistical Analysis System - SAS Institute (2000)).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição espacial do nematóide do cisto da soja e dos nutrientes K, P e Mg no solo.

As variáveis juvenis de segundo estágio (J2), cistos não viáveis e cistos viáveis, apresentaram padrão de distribuição espacial do tipo agregado com forte dependência espacial, de acordo com a classificação de Cambardella et al. (1994) (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficientes e parâmetros dos modelos de semivariogramas isotrópicos experimentais ajustados para número de juvenis de segundo estágio (J2), cistos não viáveis (CNV), cistos viáveis (CV), potássio (K), fósforo (P) e magnésio (Mg). UFLA, Lavras – MG, 2008.

Variáveis	Modelo	Parâmetros			Coeficientes	
		Efeito Pepita (Co)	Patamar (Co+C)	Alcance (Ao)	R ² (%)	Co/Co+C
J2	Esférico	6900,00	53190,00	43,30	40,8	0,13
CNV	Esférico	302,00	978,00	45,00	33,7	0,31
CV	Esférico	24,00	468,00	39,80	59,6	0,05
K	Exponencial	13,40	140,30	64,20	76,2	0,10
P	Esférico	0,10	18,62	31,40	32,4	0,01
Mg	Esférico	0,02	0,11	77,00	84,9	0,18

J2/100 cm³ - Juvenis de segundo estágio por 100 cm³ de solo; CNV/100 - Cistos não viáveis por 100 cm³ de solo; CV/100 cm³ - Cistos Viáveis por 100 cm³ de solo; K - Potássio mg dm⁻³; P - Fósforo mg dm⁻³; Mg - Magnésio cmol_c dm⁻³.

A agregação do nematóide do cisto da soja segue a descrição para os sintomas típicos do patógeno (Embrapa, 2006) e está de acordo com a

constatação de Pinheiro (2007), ao estudar a distribuição do nematóide do cisto da soja em área infestada no Triângulo Mineiro. Francl (1993) também constatou a distribuição agregada de *Heterodera glycines*, analisando a relação entre fatores edáficos e a densidade populacional do patógeno. Tihohod et al. (1992) verificaram a formação de “focos” ou reboleiras de *Rotylenchulus reniformis*, *Helicotylenchus dihystera* e *Pratylenchus brachyurus*, em algodoeiro em sistema de rotação de culturas, caracterizando a distribuição espacial como do tipo agregada.

Os semivariogramas esféricos ajustados para J2, cistos não viáveis e cistos viáveis apresentaram alcances de 43,30 m, 45,00 m e 39,80 m, respectivamente. Com o ajuste do modelo esférico aos semivariogramas isotrópicos, infere-se que o foco do nematóide progrediu em todas as direções. Houve a infestação de outras plantas na linha de semeadura e nas linhas vizinhas, em um raio equivalente aos alcances encontrados para cada variável biológica, caracterizando o modelo esférico e delimitando a reboleira observada em campo. Wallace & Hawkins (1994) ajustaram o mesmo modelo para *Pratylenchus penetrans*, *Aglenchus agrícola*, *Tylenchorhynchus* spp., *Heterodera trifolii*, *Paratylenchus* spp. e *Criconemella* sp., analisados em amostras de um solo no norte de Minnessota, cultivado com grama-canário. Caswell & Chellemi (1986) estudaram a distribuição espacial do nematóide *Rotylenchulus reniformes* em uma área de 40 x 116 m cultivada com abacaxi, no Havaí. Verificaram que o modelo que se ajustou ao semivariograma foi o esférico, com alcance de 10 m. De acordo com Clark (1979), o modelo esférico tem ampla aplicação em situações de campo.

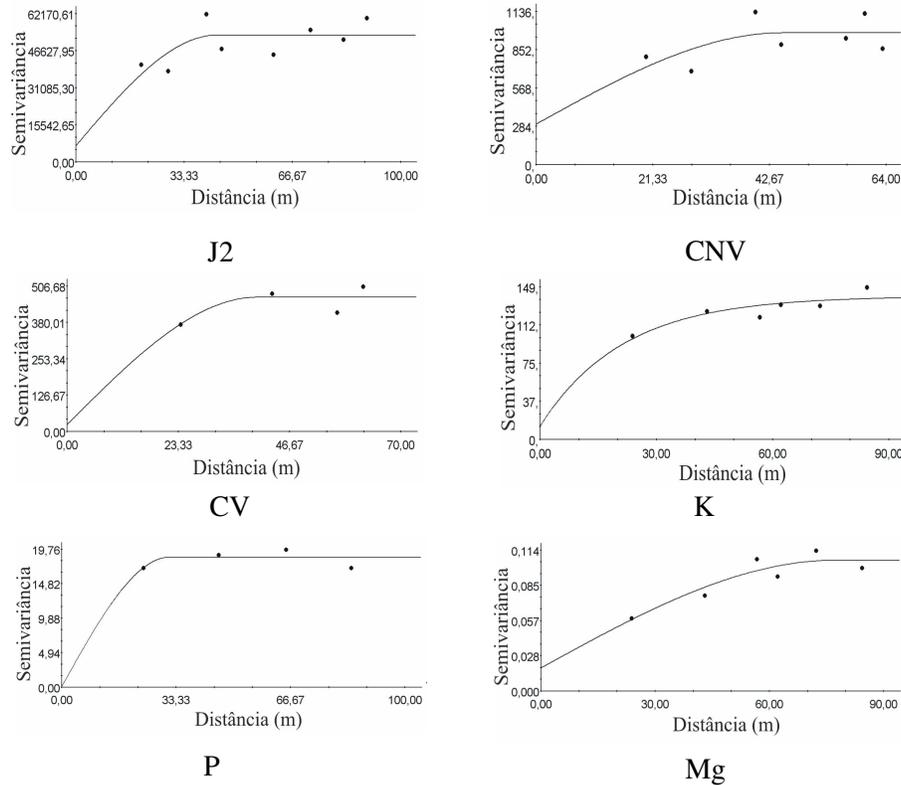


Figura 1. Semivariogramas isotrópicos experimentais da infestação do nematóide do cisto da soja ($N^{\circ}/100\text{ cm}^3$) e do teor de nutrientes no solo ajustados para (J2) Juvenis de segundo estágio; (CNV) Cistos não viáveis; (CV) Cistos viáveis; (d) Potássio (mg dm^{-3}); (e) Fósforo (mg dm^{-3}) e (f) Magnésio ($\text{cmol}_c\text{ dm}^{-3}$). UFLA, Lavras, Mg, 2008.

O alcance reflete a distância dentro da qual as amostras se apresentam correlacionadas espacialmente, logo, amostragens em espaçamentos menores que os valores de alcance supracitados, para cada uma das variáveis analisadas, irão resultar em dados similares entre si. Amostras coletadas a maiores distâncias que o alcance não estarão correlacionadas, podendo ser objeto de estudos da estatística clássica. Pinheiro (2007) observou alcances de 44,5, 59,7 e

63,1 m para J2, cistos não viáveis e cistos viáveis, respectivamente. Os maiores alcances encontrados pelo autor devem-se, possivelmente, ao sistema de preparo do solo que incluem práticas de revolvimento e ao tempo de infestação das áreas, opondo-se à menor dispersão do patógeno, encontrada no presente trabalho, em solo sob plantio direto.

Os nutrientes potássio, fósforo e magnésio apresentaram forte dependência espacial, segundo classificação de Cambardella et al. (1994) (Tabela 2). Silva & Chaves (2001) verificaram forte dependência espacial para os teores de P e K nas camadas de 0 - 30 cm e de 30 - 60 cm em Alissolos na região de Petrolina – PE. Os autores atribuíram a forte agregação dos nutrientes a fatores intrínsecos do solo. A variabilidade espacial de um solo, pertencente à associação Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico + Argissolo Vermelho distrófico ou eutrófico + Latossolo Vermelho distrófico (PVA₁₀), sob cultivo de videira no município de Vitória Brasil – SP, foi estudada por Carvalho et al. (2003). Esses autores verificaram forte dependência espacial para o fósforo e moderada para o K e P. A magnitude da agregação dos nutrientes P, K e Mg, relatadas neste estudo, deve-se possivelmente ao não revolvimento aliado a fatores intrínsecos do solo, tais como material de origem, textura e densidade do solo. Segundo Cambardella et al. (1994), geralmente, a forte dependência espacial dos atributos do solo é devida aos fatores intrínsecos, enquanto que, aos extrínsecos, como as práticas de manejo do solo, é atribuída fraca dependência espacial. Isso ocorre em decorrência da homogeneização do ambiente, proporcionada pelas adubações e calagem, dentre outras.

Relação entre o nematóide do cisto da soja e a fertilidade do solo

A partir dos semivariogramas ajustados para a infestação do NCS e para os nutrientes K, P e Mg foram confeccionados os mapas de krigagem tridimensionais (Figuras 2 e 3).

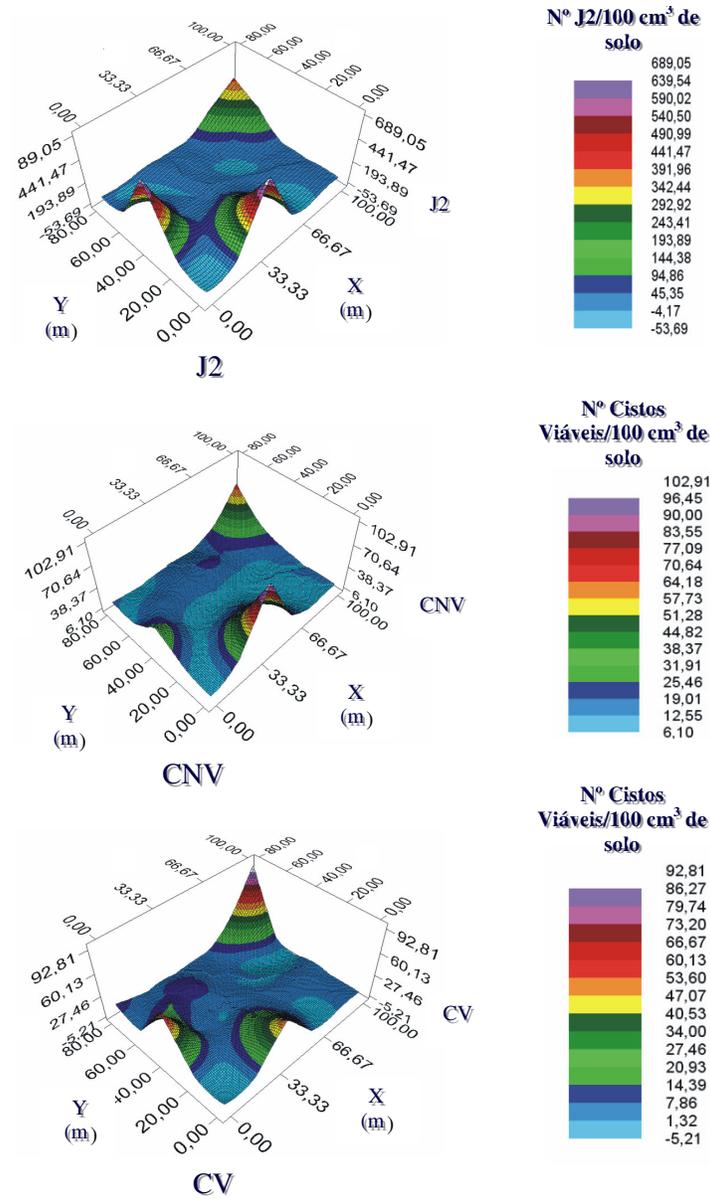


Figura 2. Mapas de Krigagem ordinária para: (J2) - Nº de juvenis de segundo estágio/100 cm³ de solo; (CNV) - Nº de cistos não viáveis/100 cm³ de solo; (CV) - Nº de cistos viáveis/100 cm³ de solo. UFLA, Lavras – MG, 2008.

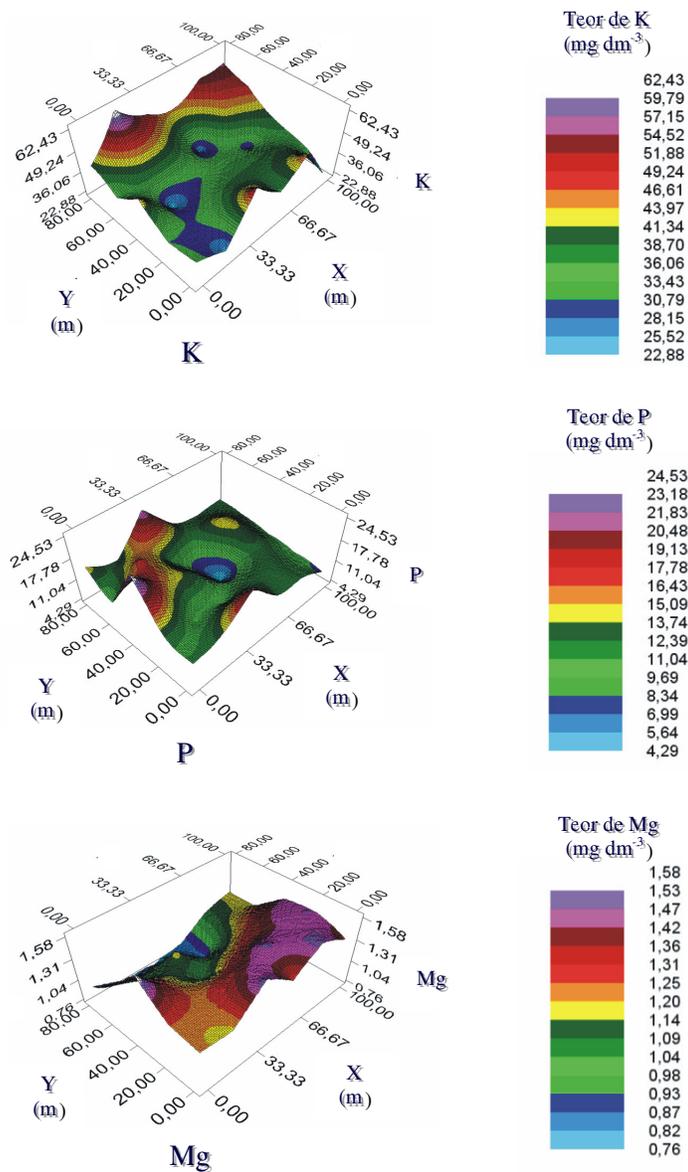


Figura 3. Mapas de Krigagem ordinária para os teores dos nutrientes no solo: (K) - Teor de K (mg dm⁻³); (P) - Teor de P (mg dm⁻³); (Mg) - Teor de Mg (cmol_c dm⁻³). UFLA, Lavras – MG, 2008.

Observou-se correlação visual do número de J2, cistos não-viáveis e cistos viáveis, com os nutrientes K, P e Mg. Áreas com maiores teores desses nutrientes apresentavam maior população do patógeno. As maiores populações do nematóide do cisto da soja ($639,5 \text{ J2}/100 \text{ cm}^3$), cistos não-viáveis ($90 \text{ CNV}/100 \text{ cm}^3$) e cistos viáveis ($86,3 \text{ CV}/100 \text{ cm}^3$), foram observadas em áreas com teores mais altos de K ($41,3$ a $63,4 \text{ mg dm}^{-3}$). Ao contrário, as menores populações do nematóide do cisto da soja, de 0 a $45,4$ juvenis de segundo estágio, de $6,1$ a $19,0$ cistos não-viáveis e de $1,3$ a $7,9$ cistos viáveis por 100 cm^3 de solo, foram encontradas sob baixos teores de potássio no solo ($22,9$ a $38,7 \text{ mg dm}^{-3}$). Pinheiro (2007) observou correspondência visual e correlação de Pearson significativa positiva entre os níveis de K e cistos viáveis no solo ao estudar a variabilidade espacial do nematóide do cisto em lavoura de soja no município de Uberlândia, MG. O mesmo autor relatou o incremento na população de fêmeas e de cistos por sistema radicular em doses acima de 320 mg dm^{-3} de K, em experimento conduzido em casa de vegetação. Contudo, Rocha & Carvalho (1997) observaram que o número de fêmeas nas raízes de soja, aos 28 dias após a semeadura e no florescimento, diminuiu com o aumento das dosagens de K, em experimentos sob condições controladas.

Áreas com menor infestação do nematóide do cisto corresponderam com teores de P entre $4,3$ - $13,4 \text{ mg dm}^{-3}$, enquanto os maiores níveis populacionais do patógeno ocorreram nas áreas com teores de fósforo considerado bom ($13,7$ - $17,8 \text{ mg dm}^{-3}$) ou muito bom (superior $19,1 \text{ mg dm}^{-3}$), (Embrapa, 2006). Da mesma forma, áreas do mapa com altas concentrações de Mg, variando de $1,1$ a $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, corresponderam a elevadas densidades populacionais de J2 e cistos não-viáveis. Correlações positivas entre J2 e cistos viáveis com teores de Mg no solo foram relatadas por Sologuren & Santos (1997), estudando as características de solo sob reboleiras de soja com o nematóide do cisto, em dezoito propriedades do município de Irai de Minas e de circunvizinhanças.

Francel (1993) observou correlação positiva entre o teor Mg no solo e a densidade populacional de *H. glycines* em área de monocultivo de soja, em duas safras consecutivas, utilizando metodologia de análise multivariada. O autor verificou coeficientes de correlação de 0,36 entre o número de cistos por kg de solo seco e o fator contendo pH e Mg no ano de 1988 e de 0,29 entre o número de cistos e o fator pH, Mg e Cu em 1989, concluindo que, após dois anos, os fatores que continham Mg exibiam os padrões de correlação mais consistentes.

O maior crescimento da soja, em áreas com maiores teores de K, P e Mg, proporcionou a formação de sistema radicular mais denso e, conseqüentemente, mais sítios de infecção, justificando a maior população do nematóide nessas áreas. Resultados que concordam com Wrather et al. (1992), em que o acréscimo de vários nutrientes ao solo estimularam o crescimento radicular da soja e contribuíram para a elevação do nível populacional de *H. glycines*. Por outro lado, fatores edáficos, que influenciam a disponibilidade desses nutrientes como textura, estrutura e densidade do solo, podem também influenciar aspectos do parasitismo do *H. glycines* e, conseqüentemente, os níveis populacionais do patógeno na área estudada.

Segundo Barker & Noe (1987), os níveis populacionais críticos para *H. glycines* são de 699 juvenis de segundo estágio ou ovos por 250 cm³ de solo, ou 12 cistos por 250 cm³ de solo, o que equivale a 279 J2 ou ovos/100 cm³ ou 4,8/100 cm³ de solo. Dessa maneira, a densidade populacional de J2 nas áreas com menores teores dos nutrientes estudados foi inferior ao nível de dano econômico. Já o número de cistos nas mesmas áreas, apresentou-se acima dos níveis críticos. Em relação à população do nematóide nas faixas de maior infestação dentro da área amostrada, verificaram-se densidades populacionais acima do nível crítico tanto para o número de J2 quanto para o número de cistos no solo.

A correlação entre a infestação do NCS e os teores dos nutrientes K, P e Mg no solo foi ratificada pela análise de correlação de Pearson, exceto entre a característica de cistos viáveis e os teores de Mg (Tabela 3).

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis do nematóide do cisto da soja e os teores de potássio, fósforo e magnésio no solo. UFLA, Lavras – MG, 2008.

Variáveis	K (mg dm ⁻³)	P (mg dm ⁻³)	Mg (cmol _C dm ⁻³)
J2/100 cm ³	0,46*	0,54*	0,46*
CNV/100 cm ³	0,44*	0,44*	0,33*
CV/100 cm ³	0,48*	0,40*	0,30 ^{ns}

*significativo pelo teste de t a 5% de probabilidade; ns - não significativo pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Relação entre o nematóide do cisto da soja e a nutrição mineral de plantas

Observou-se correlação de Pearson significativa positiva entre os teores de magnésio na folha e número de cistos viáveis por 100 cm³ (Tabela 4).

Tabela 4. Coeficientes de correlação de Pearson entre variáveis do nematóide do cisto da soja e os teores de potássio, fósforo e magnésio nas folhas. UFLA, Lavras – MG, 2008.

Variáveis	K (mg dm ⁻³)	P (mg dm ⁻³)	Mg (cmol _C dm ⁻³)
J2/100 cm ³	-0,13 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,15 ^{ns}
CNV/100 cm ³	-0,12 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	0,32 ^{ns}
CV/100 cm ³	-0,30 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,46*

*significativo pelo teste de t a 5% de probabilidade; ns - não significativo pelo teste de t a 5% de probabilidade.

Blevins et al. (1995) estudaram a assimilação, translocação e concentração de macronutrientes em soja, infestada por duas seleções do nematóide do cisto durante 35 dias. Verificaram incremento de 2,0 mg g⁻¹ na concentração foliar de Mg nos tratamentos inoculados com a Seleção I (desenvolvida em PI 209332) e de 2,8 mg g⁻¹, quando inoculados com a Seleção IV (desenvolvida em PI 89772). Os mesmos autores constataram que as concentrações de K foram baixas nas inoculações da Seleção I e não diferiram da testemunha nas plantas inoculadas com a Seleção IV. Os tratamentos com NCS causaram pequena variação, não significativa, nas concentrações foliares de P (0,6 a 0,8 mg g⁻¹). Smith et al. (2001), avaliaram o efeito de níveis de potássio (0,2 mM, 2,4mM e 6,0 mM) na concentração de macronutrientes nas raízes, caules, pecíolos e folhas de soja infectada pelo nematóide do cisto, mantida em substrato inerte em casa de vegetação por aproximadamente 45 dias. Os autores verificaram que o patógeno não influenciou a concentração de K no limbo foliar e apresentou pequeno ou nenhum efeito sobre a absorção de P e Mg em qualquer dos tecidos analisados. Esses resultados estão de acordo com os obtidos no presente trabalho, uma vez que os níveis foliares de fósforo não foram influenciados por níveis populacionais do nematóide, observando o mesmo para os níveis de potássio nas folhas.

As concentrações foliares dos nutrientes estudados podem ser relacionadas ao hábito alimentar dos nematóides. De acordo com Tihohod & Santos (1993), esses organismos alteram as funções das raízes e reduzem a absorção e transporte de nutrientes. Ademais, os teores foliares de K, P e, em menor intensidade, o Mg, sofreram reduções devido à translocação e redistribuição dos nutrientes com o desenvolvimento da planta e frutificação.

A distribuição espacial do nematóide do cisto da soja pode ser estudada com o uso de metodologias geoestatísticas, técnica que dá suporte à análise da estrutura e da magnitude da dependência espacial de níveis populacionais do

patógeno em campo. Por meio de mapas de krigagem tridimensionais, a geoestatística possibilita a correlação entre a infestação pelo NCS e a fertilidade do solo e nutrição mineral das plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARKER, K. R.; CAMPBELL, C. L. Sampling nematode populations. In: ZUCKERMAN, C. M.; ROHDE, R. A. (Ed.). **Plant parasitic nematodes**. New York: Academic, 1981. 508 p.

BARKER, K. R.; NOE, J. P. Establishing and using threshold population levels. In: VEECH, J. A.; DICKSON, D. W. (Eds.). **Vistas on Nematology: a commemoration of the twenty-fifth Anniversary of the society of nematologists**. Hyattsville: Society of Nematologists, 1987. cap. 12, p. 75-81.

BARKER, K. R. Sampling nematode communities. In: BARKER, K. R.; CARTER, C. C.; SASSER, J. N. (Eds.). **An advanced treatise on *Meloidogyne***. II Methodology. Raleigh: North Carolina State University Graphics, 1985. p. 3-17.

BERG, M. Van den; OLIVEIRA, J. B. Variability of apparently homogeneous soils in São Paulo state, Brazil: I. Spatial analysis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 377-391, jul./ago. 2000.

BLEVINS, D. G., DROPKIN, V. H.; LUDDERS, V. D. Macronutrient uptake, translocation and tissue concentration of soybeans infested with the soybean cyst nematode and elemental composition of cysts isolated from roots. **Journal Plant Nutrition**, New York, v. 18, n. 3, p. 579-591, Mar. 1995.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems: spatial information systems and geostatistics**. 2. ed. Oxford: Oxford University, 1998. 333 p.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Fieldscale variability of soil properties in Central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n. 5, p. 1501-1511, Sept./Oct. 1994.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil - SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 695-703, jul./ago. 2003.

CASWEL, E. P.; CHELLEMI, D. A. A geospatial analysis of spatial pattern of *Rotylelunchus reniformis* in a Hawaiian pineapple field. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 18, n. 4, p. 603, Oct. 1986.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CFSEMG. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: 1999. 359 p.

CLARK, I. **Practical geostatistics**. London: Applied Science, 1979. 129 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja - EMBRAPA. **Tecnologia de produção de soja: região central do Brasil - 2007**. Londrina: Embrapa Soja/Embrapa Cerrados/Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 225 p. (Sistema de Produção, 11)

FARIAS, P. R. S. **Distribuição espacial do nematóide reniforme com o uso da geoestatística, em um solo com rotação de culturas**. 1999. 109 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

FRANCL, L. J. Multivariate analysis of selected edaphic factors and their relationship to *Heterodera glycines* population density. **Journal of Nematology**, Lakeland, v. 25, n. 2, p. 270-276, Apr./Jun. 1993.

JENKINS, F. G. W. A rapid centrifugal-flotation technique for extracting nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, Saint. Paul, v. 48, n. 9, p. 692-695, Sept. 1964.

KRIGE, D. G. **A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand**. 1951. 139 p. Dissertation (Magister Science Engineering) - University of the Witwatersrand. Johannesburg.

MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications.** Paris: Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleu, 1971. 211 p. (Fascicule, 5)

PINHEIRO, J. B. **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) com nutrientes e fungicidas e a influência da nutrição mineral na distribuição espacial e reprodução do nematóide do cisto da soja (*Heterodera glycines* Ichinohe).** 2007. 175 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ROCHA, M. R. da.; CARVALHO, Y. Efeito de K e Mn sobre a população de *Heterodera glycines*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 22, suplemento, p. 328, ago. 1997.

ROCHA, M. R. da. **Efeitos de fatores edáficos sobre populações de *Heterodera glycines* Ichinohe 1952.** 1998. 108 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS INSTITUTE. **SAS language and Procedures:** usage. Version 8.1. Cary: NC, 2000. 1 CD-ROM.

SHANNON, J. G. et al. Potash fertilizer helps fight soybean cyst nematode. **Better Crops With Plant Food**, Georgia, v. 61, n. 4, p. 566-569, Out./Dec. 1977.

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. Campina Grande. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 3, p. 43-436, set./dez. 2001.

SMITH, G. J., et al. Macronutrient concentrations of soybean infected with soybean cyst nematode. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 235, n. 1. p. 21-26, Aug. 2001.

SOLOGUREN, L. J.; SANTOS, M. A. Estudo de características químicas de solo em reboleiras de soja com *Heterodera glycines*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 22 suplemento, p. 329, ago. 1997.

TIHOHOD, D.; SANTOS, J. M. *Heterodera glycines*: novo nematóides da soja no Brasil. Detecção e medidas preventivas. Jaboticabal: Centro de Manejo Integrado de Pragas, 1993. 23 p.

TIHOHOD, D. et al. Manejo de fitonematóides do algodoeiro: 2. Distribuição espacial das espécies. **Nematologia Brasileira**, v. 16, n. 1, p. 62-73. 1992.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.38, n. 1, p. 45-94, 1985.

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

WRATHER, J. A.; ANAND, S. C.; DROPKIN, V. H. Soybean cyst nematode control. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 68, n. 9, p. 829-833, Sept. 1984.

WRATHER, J. A.; ANAND, S. C.; KOENNING, S. R. Management by cultural practices. IN: RIGGS, R. D.; WRATHER, J. A. (Eds.) **Biology and management of the soybean cyst nematode**. Saint Paul: APS. 1992. p. 125-131.

YORINORI, J. T. Epidemiologia, dinâmica de população e controle. In: I SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE O NEMATÓIDE DE CISTO DA SOJA. BRASÍLIA, 1993. **Anais...** Brasília: EMBRAPA/SPI, 1994. p. 65-76.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dinâmica de epidemias em plantas cultivadas manifesta padrões distintos e desuniformes, influenciados pelo ambiente, ação antrópica e pela relação patógeno-hospedeiro. O conhecimento do padrão de distribuição espacial de doenças assume fundamental importância dentro do atual conceito de sustentabilidade, principalmente, por auxiliar na definição categórica das estratégias de manejo. Nesse contexto, a consolidação do sistema de informações geográficas - SIG, no bojo da agricultura de precisão, tem com a geoestatística, integrada às tecnologias disponíveis, a capacidade de identificar e gerenciar áreas heterogêneas quanto à ocorrência de doenças dentro da propriedade ou lavoura, possibilitando a aplicação localizada de recursos segundo as necessidades mapeadas.

Os resultados alcançados com o presente trabalho evidenciaram a utilização satisfatória da geoestatística na caracterização da variabilidade espacial e no mapeamento do mofo-branco do feijoeiro comum, do nematóide do cisto e das doenças de final de ciclo em soja. As análises geoestatísticas possibilitaram a discussão da relação entre a intensidade de doenças e aspectos do ambiente, demonstrando ser uma importante ferramenta em estudos epidemiológicos.

As informações disponibilizadas poderão subsidiar a implantação de programas de monitoramento de doenças que considerem a dependência espacial das variáveis. Por fim, os dados apresentados podem motivar novos e aprofundados estudos da distribuição espacial de doenças em patossistemas distintos, com vistas na melhoria de técnicas de amostragem, adequação de medidas de controle e de tratamentos culturais, culminando na otimização de insumos e no fornecimento de alimentos de qualidade e em abundância, contudo, sem comprometer a integridade do meio ambiente e dos sistemas agrícolas.