

MODELAGEM GEOESTATÍSTICA DA SIGATOKA-NEGRA E SUA RELAÇÃO COM A FERTILIDADE DO SOLO

GEOSTATISTICAL MODELING OF BLACK-SIGATOKA AND RELATION TO SOIL FERTILITY

Cleilson do Nascimento UCHÔA¹; Edson Ampélio POZZA²; Adélia Aziz Alexandre POZZA³;
Wilson da Silva MORAES⁴

1. Professor, Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. cleilson_uchoa@ifce.edu.br ;
2. Professor, Doutor, Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil; 3. Professora, Doutora,
Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa; 4. Professor, Doutor, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios –
APTA Vale do Ribeira, Campinas, SP, Brasil.

RESUMO: Objetivou-se, com a realização do presente trabalho, caracterizar a variabilidade espacial da sigatoka-negra, utilizando-se metodologia de análise geoestatística para verificar sua relação com a fertilidade do solo na cultivar Grande Naine. O experimento foi realizado no município de Registro, SP. Demarcou-se, no campo, uma malha regular de 30 x 30 m, totalizando-se 30 pontos amostrais georreferenciados com aparelho de GPS. Foram realizadas avaliações da severidade da sigatoka-negra, com auxílio de uma escala diagramática. Coletaram-se amostras de solo na camada de 0-20 cm, para análise de fertilidade. Com base na análise do semivariograma isotrópico, verificou-se a forte dependência espacial da severidade da doença, com alcance de 25,28 m. Os mapas de krigagem demonstraram um padrão agregado e da relação negativa da severidade da doença com os teores de potássio e positiva com teores de enxofre no solo.

PALAVRAS-CHAVE: Adicionais: banana. Sigatoka-negra. Krigagem. Nutrientes.

INTRODUÇÃO

O estado de São Paulo é o maior produtor nacional de bananas (*Musa sp.*), com destaque para o Vale do Ribeira, na região sul do estado, com área aproximada de 42,2 mil ha, produtividade média de 22,9 t.ha⁻¹ e cerca de 75% da população dependendo, direta ou indiretamente, das atividades ligadas à bananicultura (GONÇALVEZ et al., 2006). O Vale do Ribeira tem o maior índice pluviométrico do país, favorecendo o crescimento das bananeiras como também do agente etiológico da sigatoka-negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), o patógeno de maior importância da bananicultura (MORAES; FERRARI, 2007).

Apesar da importância de *M. fijiensis*, pouco se conhece dos efeitos das condições ambientais, variações genéticas do patógeno, tipo de resistência e a nutrição mineral das plantas, que podem influenciar na incidência da doença. A suscetibilidade do hospedeiro, um dos fatores relevantes à infecção por patógenos (HANADA et al., 2002; JACOME; SCHUH, 1993), é influenciada pelo desequilíbrio nutricional de macro e micronutrientes pelo fato de reduzir a resposta de defesa (PINHEIRO, 2007; BEDENDO, 1995).

Entre os nutrientes, destacam-se o cálcio, o potássio, o fósforo e o nitrogênio, tanto por seus benefícios individuais quanto na competitividade

entre os íons, desencadeando o desequilíbrio nutricional. O Ca complementa a função do K na manutenção da organização celular, hidratação e permeabilidade, afetando a incidência de doenças (HUBER, 2002). No entanto, o K deve estar presente em quantidade mínima necessária para atender à demanda celular, pois, o excesso pode inibir a absorção de Ca e Mg (MALAVOLTA, 2006). Quando o padrão de distribuição da doença for agregado, existe dependência espacial entre as plantas infectadas, assim como a variabilidade do solo também não é aleatória e apresenta dependência espacial (CAMPBELL; MADDEN, 1990; TRANGMAR et al., 1985).

A influência meteorológica e da fertilidade do solo sobre o patógeno pode ser representada por regras ou modelos geoestatísticos para a previsão de ocorrência de doenças (WMO, 1988). A geoestatística busca retirar dos dados coletados aleatoriamente de um fenômeno suas características estruturais probabilísticas, detectando a existência de variabilidade e a dependência espacial, interpolando as variáveis estudadas de forma exata e precisa. Para realizar a modelagem geoestatística, pode-se utilizar a técnica da krigagem. Essa técnica estima, por meio de médias móveis, valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores próximos, enquanto considerados como interdependentes por uma função denominada

variograma ou semivariograma. No processo básico da krigagem, a estimativa é feita para determinar um valor médio em um local não amostrado (LANDIM; STURARO, 2002).

A geoestatística é uma 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 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. Além disso, a geoestatística é capaz de determinar a acurácia e a 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 a realização deste trabalho, realizar a modelagem geoestatística da sigatoka-negra e verificar sua relação com a fertilidade do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram coletados em bananal da variedade Grande Naine, com 2,5 anos de idade, no município de Registro, estado de São Paulo, Brasil, cujas coordenadas geográficas são 24°27' de latitude Sul e 47°48' de longitude Oeste. Foi demarcada malha regular de 30 x 30 m, totalizando 30 pontos amostrais ou interseções georreferenciadas e área total de 900 m². Em cada ponto amostral avaliou-se a severidade da sigatoka-negra e também a fertilidade do solo. A severidade da doença foi avaliada com base na escala diagramática proposta por Stover, modificada por Gauhl (1994). A análise geoestatística foi realizada com os valores da severidade média em cada ponto.

Foram coletadas três amostras simples de solo na camada de 0 a 20 cm, utilizando-se 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 e o S, com o extrator fosfato monocalcício em ácido acético.

As análises geoestatísticas foram realizadas no programa GS+ v.7.0 (ROBERTSON, 2004), pela determinação dos semivariogramas isotrópicos, com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, de acordo com metodologia Burrough e 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 (jackknife).

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 bidimensionais e a consequente visualização da distribuição espacial das variáveis na lavoura.

Realizou-se a correlação de Pearson entre os teores dos nutrientes no solo e severidade da doença, utilizando-se o programa estatístico Statistical Analysis System (SAS) versão 8.1 (Statistical Analysis System - SAS Institute (2000)).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise geoestatística, a severidade da sigatoka-negra seguiu padrão de distribuição agregado com alta dependência espacial. Dessa forma, ajustou-se, para esse patossistema, o semivariograma experimental isotrópico de modelo linear, com alcance de 25,26 m (Tabela 1 e Figura 1).

O ajuste do modelo linear ao semivariograma experimental da severidade da sigatoka-negra demonstra que a doença progrediu a partir de um foco primário para as plantas circunzinhas e a disseminação de *M. fijiensis* ocorreu principalmente por vento.

Alves et al. (2006), utilizando geoestatística, estudando a dinâmica espaço-temporal da antracnose em feijoeiro (*Colletotrichum lindemuthianum*) e da ramulose do algodão (*C. gossypii* (South) var. *cephalosporioides*), também encontraram padrão agregado dessas doenças da parte aérea veiculadas por sementes. Esses autores verificaram que aos 61 dias após a semeadura (DAS), foram relatados alcances máximos de 3,15 m para a antracnose com o modelo esférico e aos 80 DAS um alcance de 6,82 m para a ramulose, com o modelo gaussiano. Para as doenças de final de ciclo da soja (*Glycine max*), Carvalho (2008) verificou 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.

Tabela 1. Parâmetros e coeficientes dos semivariogramas isotrópicos da severidade da sigatoka-negra e dos teores de nutrientes: fósforo (P) potássio (K) cálcio (Ca) enxofre (S) e magnésio (Mg) em solo no município de Registro São Paulo

Variáveis	Parâmetros				
	Modelo	Co	Co+C	Ao	Co/Co+C
Severidade	Linear	837	837	2528	001
P	Esférico	029	138	1048	079
K	Esférico	063	290	1113	078
Ca	Exponencial	0005	0024	285	079
S	Esférico	007	035	1189	079
Mg	Exponencial	001	004	4637	075

Co – efeito pepita, Co+C – patamar, Ao – Alcance, Co/Co+C – razão (k) indicativa do grau de dependência espacial

De acordo com os mapas de krigagem, gerados após o ajuste dos semivariogramas isotrópicos experimentais, pode-se observar o padrão agregado e a relação negativa do nutriente K com a severidade da sigatoka-negra. Áreas com níveis mais altos de K apresentaram menor severidade (Figura 1). Assim, em áreas com teores

médios de K ($57,5 \text{ mg dm}^{-3}$) foi verificada menor severidade média das doenças (117 de intensidade). Por outro lado, as maiores severidades (260 de intensidade) foram observadas quando os teores deste nutriente foram inferiores a 28 mg dm^{-3} de K, com um coeficiente de correlação com a severidade de 0,58 pela equação de Pearson.

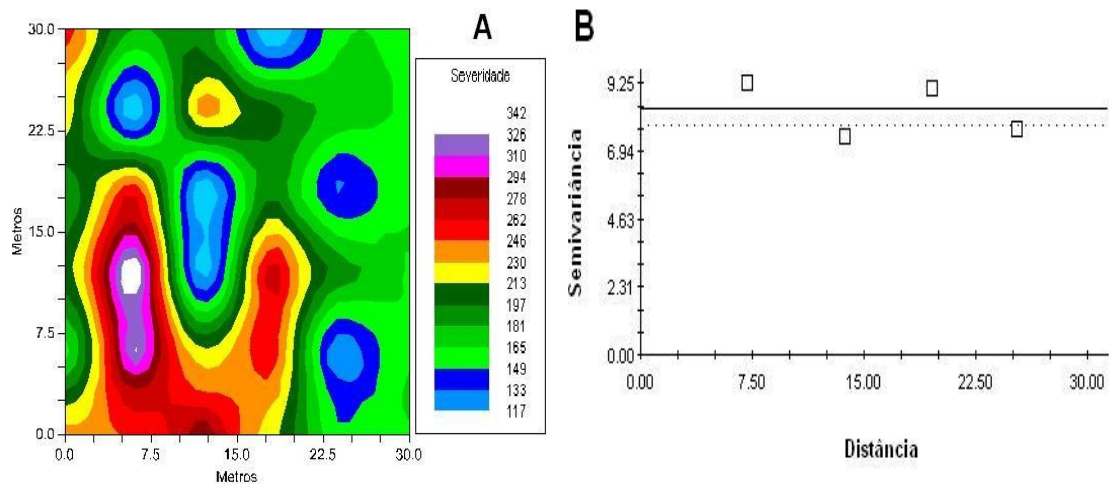


Figura 1. Severidade da sigatoka-negra em bananal no Vale do Ribeira, SP. A) Mapas da krigagem e B) semivariograma.

Os baixos teores de K na planta em propriedades agrícolas dos Estados Unidos responderam pelo aparecimento da mancha-foliar (*Alternaria*, *Cercospora* ou *Stemphylium*) do algodoeiro (*Gossypium herbaceum*). Quanto maior a restrição pelo nutriente, seja por deficiência no solo ou déficit hídrico, maior é a incidência do patógeno, em casos com maior severidade, promovendo o desfolhamento total (Harris, 2001). Ito et al. (1993) constataram a influência do K sobre o crestamento foliar da soja (*Cercospora kikuchii*), com reduções na incidência da doença de 22% na safra de 1986/87

para 18% na safra 1987/88, com doses de potássio variando de 0 a 600 kg ha^{-1} de K_2O (Prezado avaliador não tenho mais acesso a revista Summa Phytopathologica onde este artigo foi publicado, então se preferir podemos retirar esta informação).

Nas áreas com maiores teor de enxofre, observando a figura 1 verifica-se elevada severidade da doença (340 de intensidade). A maior severidade da sigatoka-negra nessas áreas deve-se, possivelmente, a desequilíbrios devido aos baixos níveis dos outros nutrientes, já que os teores de P, Ca e Mg estavam abaixo das quantidades

recomendadas para a cultura da banana. O equilíbrio de nutrientes pode ser tão importante quanto o nível de um elemento específico, ressaltando a importância de condições adequadas de fertilidade do solo, com adequado fornecimento de nutrientes às plantas para se conseguir o controle 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 nematoides, (HUBER; ARNY, 1985; HARTMAN et al., 1999).

CONCLUSÕES

O semivariograma isotrópico esférico foi ajustado para sigatoka-negra, com alta dependência espacial e alcance de 25,26 m. Constatando-se que a doença parte de um foco primário para plantas circunvizinhas.

Os mapas de krigagem possibilitaram a constatação do padrão agregado e da relação negativa da severidade da doença com o potássio e positiva com teores de enxofre no solo.

ABSTRACT: The objective in this research was to characterize the spatial variability of the Black Sigatoka disease, using the geostatistic analysis methodology to identify its relation to soil fertility in the Grande Naine cultivar. The experiment was conducted in the city of Registro, São Paulo state, Brazil. A regular 30 x 30m 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 Black Sigatoka were conducted using a diagrammatic scale. Soil samples were collected in the 0 - 20cm layer for fertility analysis. Based on the isotropic semivariogram, a clustered spatial dependence of the disease severity, with a range of 25.28m was verified. The kriging maps demonstrated an aggregate pattern and negative relationship of the severity of the disease to potassium and positive with levels sulphur in the soil.

KEYWORDS: Banana. Black sigatoka. Kriging. Nutrients.

REFERÊNCIAS

- 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, 2006.
- BEDENDO, I. P. **Oídios**. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. Manual de fitopatologia, 3. ed. São Paulo: Ceres, v.1, p.866-871. 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, 1994.
- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York, J. Wiley, Sons. 1990. 532 p.
- CARVALHO, E. A. **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 (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2008.
- 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, 2002.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Lavras, 1999. 359 p.

- GAUHL, F. **Epidemiology and ecology of black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) on Plantain and Banana (*Musa spp.*) in Costa Rica, Central America.** INIBAP, Montpellier, France. 1994.
- GONÇALVES, J. S. Bananicultura no Estado de São Paulo, Brasil. In: Simpósio de manejo adequado da Sigatoka-negra na cultura da banana, 1., Pariqueira-Açu, 2006. (Resumos)
- HANADA, R. E., GASPAROTTO, L.; PEREIRA, J. C. R. Esporulação de *Mycosphaerella fijiensis* em diferentes meios de cultura. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 170-173. 2002.
- HARRIS, G. Deficiência de potássio em algodoeiro relacionada à mancha foliar. **Informações Agronômicas**, n. 96, POTAFOS, 20 p. 2001.
- 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, Piracicaba, 2002. (Resumos)
- 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.; TANAKA, M. A. S.; MASCARENHAS, H. A. A.; TANAKA, R. T.; DUDIENAS, C. e GALLO, P. B. Efeito residual da calagem e da adubação potássica sobre a queima foliar (*Cercospora kikuchii*) da soja. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 19, p. 21-23, 1993.
- JACOME, L. H., SCHUH, W. Effect of temperature on growth and conidial production in vitro, and comparison of infection and aggressiveness in vivo among isolates of *Mycosphaerella fijiensis* var. *difformis*. **Tropical Agricultural**, v. 70, p. 51-59, 1993.
- LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. Krigagem Indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos. Geomatématica, **Texto Didático 6**, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, 2002.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MORAES, W. S.; FERRARI, J. T. Sigatoka-negra, o constante desafio para a bananicultura: Focos da doença no Sudeste e avanços em diagnose e controle. In: Núcleo de Estudos em Fitopatologia / Universidade Federal de Lavras. (Org.). **Manejo Integrado de Doenças de Fruteiras**. Brasília: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2007, p. 185-204.
- PINHEIRO, J. B. **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow e *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.
- PONTES, J. M. **A geoestatística: aplicação em experimentos de campo**. 2002. 2 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária). Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- ROBERTSON, G. P. **GS+: Geostatistics for the environmental sciences – GS+ User's Guide**. Plainwell, **Gamma Desing Software**, 152 p, 2004.
- STOVER, R. H. Sigatoka leaf spot of bananas and plantains. **Plant disease**. v. 64, p. 750-756. 1980.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARAA, G. **Application of geostatistics to spatial studies of soil properties**. Advances in Agronomy, New York, v. 38, p. 45-94, 1985.

WMO. Agrometeorological aspects of operational crop protection. Genebra: WMO, 1988. 185 p. (**Technical note, 192**).