

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E USO DE GEOESTATÍSTICA NA FITONEMATOLOGIA

FRANCISCO JORGE CARLOS SOUZA JUNIOR¹
MAYARA CASTRO ASSUNÇÃO¹
JAIME CORBINIANO SANTOS NETO¹
LIANY REGINA BEZERRA DE OLIVEIRA SILVA¹
ARIELENA AUGUSTA RODRIGUES MELLO¹

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Autor para correspondência: jorgesouza@alu.ufc.br

RESUMO: A variabilidade espacial de nematoides vem sendo estudada desde o início do século, por meio da utilização de diferentes métodos. No entanto, nos últimos anos a geoestatística apresentou importantes avanços na compreensão do comportamento espacial desses organismos. Para a fitonematologia, esta ferramenta fornece informações da distribuição das populações de nematoides nas áreas de cultivos, sendo utilizadas para o planejamento de práticas de manejo eficazes de doenças ocasionadas por estes patógenos. A principal vantagem da utilização da geoestatística é a redução dos custos de produção, após a identificação das zonas homogêneas, com técnicas de controle direcionadas, ou seja, com maior aproveitamento, de acordo com o mapa de distribuição espacial dos nematoides no solo.

Termos para Indexação: agricultura de precisão, nematoides, krigagem

SPATIAL DISTRIBUTION AND USE OF GEOSTATISTICS IN PHYTONEMATOLOGY

ABSTRACT: The spatial variability of nematodes has been studied since the beginning of the century, using different methods. However, in recent years, geostatistics has made important advances in understanding the spatial behavior of these organisms. For phytonematology, this tool provides information on the distribution of nematode populations in crop areas, being used for planning effective management practices for diseases caused by these pathogens. The main advantage of using geostatistics is the reduction of production costs, after the identification of homogeneous zones, with targeted control techniques, that is, with better use, according to the spatial distribution map of the nematodes in the soil.

Index terms: precision farming, nematodes, kriging

INTRODUÇÃO

A distribuição espacial dos nematoides no campo é frequentemente descrita como agregada, ou seja, indica que

há dependência espacial entre as populações nos pontos amostrados (FERRIS; WILSON, 1987). Por isso, para

realizar uma completa análise da distribuição desses organismos no solo e em culturas agrícolas é preciso executar uma amostragem bastante representativa, o que geralmente não ocorre, pois requer altos custos, dificultando a compreensão da real distribuição espacial e implicando diretamente na redução das medidas eficazes utilizadas no manejo das doenças causadas por nematoides (ORTIZ *et al.*, 2010).

O padrão de distribuição espacial pode ser visto por dois componentes: um macro, quando observado em escala generalizada de campo e afetado por variáveis ambientais; e o micro, que tem ocorrência em uma escala menor (reboleiras), é fortemente relacionado com o ciclo de vida e estratégia de alimentação dos nematoides (ARIEIRA, 2012). A análise da macro distribuição pode ser realizada a nível regional e a microdistribuição é mais restrita a uma área de produção, no entanto, ambas buscam encontrar alternativas de métodos de controle fitossanitários mais eficientes e proporcionam um embasamento teórico-prático para estudos futuros (GALBIERI; BELOT, 2016).

Em agroecossistemas a nematofauna é constituída por espécies nativas sobreviventes do manejo agrícola, as introduzidas por meio da dispersão natural e as adicionadas pela ação antrópica, principal agente dispersor (ESSER, 1984; ARIEIRA, 2012); que estabelecem uma dinâmica populacional, por meio das interações entre os nematoides. A distribuição dos nematoides não segue exatamente um padrão, mas geralmente sua distribuição espacial é colocada como desigual, sendo frequentemente tratada como agregada devido à disponibilidade de alguns fatores que aumentam a incidência desses organismos (GOULART, 2010).

Os fatores que interferem diretamente na dinâmica populacional dos nematoides compreendem o potencial

biótico individual de cada espécie, condições ambientais, práticas de manejo, morfologia das raízes e condições edáficas (TORRES *et al.*, 2006; ORTIZ *et al.*, 2010; GALBIERI; BELOT, 2016). Deste modo, as combinações desses fatores podem influenciar a densidade, proporcionando altos índices de parasitismo, permitindo maiores taxas de sobrevivência e disseminação (DEBIASI *et al.*, 2014).

Uma variável que exerce influência direta na distribuição espacial de nematoides é a água, uma vez que é essencial para sobrevivência das plantas e os nematoides necessitam da hospedeira viva para dar continuidade ao seu ciclo (DINARDO-MIRANDA, 2014). As populações variam durante os períodos seco e chuvoso, implicando em uma subestimação da amostragem, pois quando as condições não são favoráveis os nematoides permanecem em sua forma de resistência, estágio de ovo, e deste modo, em uma mesma área suas populações oscilam na presença ou ausência de umidade no solo (CHRISTIE, 1959; RITZINGER; FANCELLI; RITZINGER, 2010).

A presença ou ausência da planta hospedeira, disponibilidade de nutrientes, presença de raízes, umidade e o tipo de solo, e até mesmo a biota do solo e da área também são contribuintes importantes para a oscilação da dinâmica populacional dos nematoides, podendo contribuir tanto para controle quanto para dispersão desses organismos. No entanto, destes, destaca-se a presença ou ausência da planta hospedeira na área, que um dos principais fatores para uma maior ou menor densidade e, na prática, torna-se determinante, pois irá intervir diretamente na cultura a ser implementada, época de plantio, duração do ciclo, dentre outras características (SCHOMAKER; BEEN, 2006; GOULART, 2010; GALBIERI; BELOT, 2016).

Apesar dos nematoides apresentarem baixa capacidade de locomoção, pode-se afirmar que a densidade populacional é diretamente proporcional ao dano nas plantas hospedeiras, ou seja, se houver um aumento na primeira variável há um maior indicativo de dano (GRECO; DI VITO, 2009; GALBIERI; BELOT, 2016). Sendo assim, a amostragem desses organismos é totalmente influenciada pelos fatores do ambiente, por isso, deve-se adotar um período ideal de coleta, de acordo com as condições a serem avaliadas, para uma análise amostral mais precisa (GALBIERI; BELOT, 2016).

A utilização de métodos, tais como distribuição binominal negativa, método de Taylor ou a geoestatística, é necessária para mensurar a correlação existente entre amostras coletadas em uma área e a distribuição espacial das populações de nematoides (KRIGE, 1951; FARIAS *et al.*, 2002; TAYLOR; PARK; GREWAL, 2017; ŽUPUNSKI *et al.*, 2017). No entanto, para o estudo de populações de nematoides, a

geoestatística é considerada a ferramenta mais adequada, pois quantifica a dependência espacial entre as amostras coletadas no campo a serem quantificadas e usadas para construir mapas da distribuição dos nematoides no campo (LIEBHOLD; ROSSI; KEMP, 1993; ROBERTS; RAVLIN; FLEISCHER, 1993; ELLSBEURY *et al.*, 1998).

A compreensão da distribuição espacial de nematoides em áreas de produção é essencial, auxiliando na adoção de medidas de manejo mais eficazes, uma vez que esses organismos são responsáveis por graves danos às culturas, ocasionando queda de produtividade e conseqüentemente prejuízo econômico (DEBIASI *et al.*, 2011; FRANCHINI *et al.*, 2018). Diante da escassez de trabalhos que compendiam dados acerca da disseminação e flutuação das populações, o objetivo desta revisão foi reunir informações sobre geoestatística e a aplicabilidade e contribuição desta técnica para fitonematologia.

GEOESTATÍSTICA

A geoestatística é uma importante ferramenta no auxílio da agricultura sustentável, e tem como objetivo caracterizar a distribuição no espaço e tempo das grandezas que determinam quantitativamente e qualitativamente os recursos naturais. Estes podem ser florestais, geológicos, hidrológicos, biológicos e qualquer observação espacial com características que apareçam em certa estrutura de espaço e tempo, tais como contaminação de lençol freático e de solos e características de uma determinada região como a temperatura e pluviometria (SOARES, 2006).

A teoria das variáveis regionalizadas com condicionamento espacial é base da geoestatística, demonstrando que há uma

correlação entre as amostras da distribuição espacial e que ocorre variação de forma contínua, cujas ferramentas básicas para quantificar a dependência dos resultados é na forma de variograma (ou semivariograma) e a krigagem (KRIGE, 1951; MATHERON, 1963; LANDIM, 2006).

O suporte da geoestatística é a teoria de variabilidade regional de Matheron, explicando que os valores associados a uma variável são relacionados à distância de separação entre dois locais observados (MATHERON, 1965), pois as diferenças das variáveis tendem a ser menores em locais próximos e valores altos para os pontos distantes (MOLIN, 1997). A visualização deste conceito é feita por meio

de semivariogramas que são representações de estruturas com dependência no espaço (MELLO *et al.*, 2005).

O semivariograma é uma medida condicionada pela distância, esta característica exerce influência no estudo de variáveis regionalizadas, pois é proporcional ao intervalo espacial entre os pontos de coleta, em que pontos próximos apresentam maior correlação (LANDIM; STURARO, 2002; LANDIM, 2006). Esta, pode ser representada pela covariância e é expressa por um vetor de distância (Δh), cuja orientação é específica e os valores são

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum (x_{i+h} - x_i)^2$$

em que as correspondentes são: $\gamma(h)$ semivariância; n número de pares de valores comparados; x_{i+h} e x_i pares de pontos separados por uma distância h . Para que os dados do semivariograma sejam consistentes recomenda-se que os pontos amostrados sejam igual ou maior que 36 (LANDIM, 2006).

Além de demonstrar o arranjo da variável regionalizada no espaço, os semivariogramas também expõem informações que auxiliam na descrição da correlação dos pontos amostrados e que podem ser estimadas a partir de parâmetros como amplitude (ou alcance); patamar; e o efeito pepita (ou continuidade) (CAMARGO, 1998; KOZAR; LAWRENCE; LONG, 2002; LANDIM; STURARO, 2002; LANDIM, 2006). A força dessas correlações é dependente da distância, aumentando com distâncias maiores e enfraquecendo com distâncias menores; pois à medida que a distância aumenta, a variância também se torna maior (BAILEY; GATRELL, 1996; HOULDING, 2000).

A amplitude (a) corresponde à distância de correlação espacial entre as amostras, indicando também a partir de qual distância as amostras não apresentam mais

dependentes entre si quando estiverem em pontos com menor proximidade, tornando-se independentes à medida que Δh aumenta, sendo assim, verifica-se que a covariância é totalmente dependente de Δh (LANDIM, 2006).

Ao relacionar a semivariância com o Δh é possível construir graficamente o semivariograma, que é produto de um conjunto de valores com intervalos regulares (LANDIM, 2006). A semivariância pode ser determinada da seguinte forma:

relação entre si (CAMARGO, 1998; LANDIM; STURARO, 2002); o patamar ($C + C_0$) é um valor equivalente a amplitude, que se estabiliza quando chega em um valor máximo, mostrando a variância dos dados e a nulidade da covariância, a partir desse ponto máximo sabe-se que a correlação espacial entre as amostras inexistente (LANDIM; STURARO, 2002; CARVALHO; TAKEDA; FREDDI, 2003); o efeito pepita (C_0) é ocasionado devido ao erro amostral ou ao fato das amostras não terem sido coletadas em intervalos considerados suficientemente pequenos, e então, o comportamento espacial não poderá ser definido (LANDIM, 2006). Quando os parâmetros amostrados nos semivariogramas ocorrem em diferentes direções de amostragem, ocorre a anisotropia (LANDIM; STURARO, 2002).

Baseado nos aspectos geométricos de um semivariograma é possível obtenção do grau de dependência espacial, que consiste na prática de relação de dados abrangendo características da dependência espacial (SEIDEL; OLIVEIRA, 2014). A avaliação com relação à dependência espacial (DE), era anteriormente realizada através da equação apresentada por Biondi, Myers e Avery (1994) e descrita a seguir:

$$DE = \left(\frac{C_1}{C_0 + C_1} \right) \cdot 100\%$$

onde C_0 é o efeito pepita, que corresponde ao valor da semivariância em relação à distância inicial (zero), além de indicar possíveis variações e erros; e C_1 a contribuição que representa a diferença entre o patamar, que é posto como a estabilização de valores de um semivariograma e o efeito pepita (BIONDI; MYERS; AVERY, 1994).

Recentemente, o conceito equacional relacionado ao índice de dependência espacial (*IDE*) foi remodelado por Seidel e Oliveira (2014), devido à observação da ausência de consideração de alguns fatores em relação tanto ao semivariograma, quanto em relação à caracterização da dependência, atualmente seguindo o modelo:

$$IDE_{Modelo}(\%) = FM \cdot \left(\frac{C_1}{C_0 + C_1} \right) \cdot \left(\frac{a}{q \cdot MD} \right) \cdot 100$$

em que *FM* é o fator de correção do modelo; C_0 e C_1 , efeito pepita e a contribuição, respectivamente; o (*a*) que representa o alcance prático; e o (*q.MD*) é a máxima distância atingida entre os pontos amostrados.

Após a definição de um modelo de variograma adequado, determina-se um modelo matemático para ser utilizado, no qual os principais modelos básicos utilizados são: esférico, exponencial, gaussiano ou o de potência. Os três primeiros consideram o patamar, enquanto que o último não apresenta essa característica, e este por não atingir o patamar aumenta concomitantemente com a distância (CAMARGO, 1998; SOARES, 2000; LANDIM, 2006).

Dentre os modelos utilizados, o modelo esférico é o mais comum, cujo resultado aproxima-se à uma função com distribuição normal; no modelo exponencial o patamar é alcançado de forma assintota em uma curva exponencial e a amplitude é equivalente à distância ou ao alcance prático, cujo valor corresponde a 95% do patamar; o modelo gaussiano assemelha-se ao modelo exponencial, no entanto, a curva é uma parábola próxima a origem; e o modelo potencial é empregado para pontos

arranjados irregularmente, aplicando então uma distância de tolerância para a realização do cálculo (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989; CAMARGO, 1998; LANDIM, 2006).

Após a realização das análises de semivariâncias e ajustes, por meio das escolhas dos semivariogramas, é preciso interpolar os dados, processo denominado krigagem (ROCHA; LOURENÇO; LEITE, 2007). A krigagem é um método que usa a dependência espacial entre as amostras vizinhas para estimar valores em qualquer posição dentro do campo experimental, sem tendência e com variância mínima, podendo ser executada a partir de diferentes métodos, tais como krigagem ordinária, universal, pontual, de blocos e co-krigagem (JAKOB, 2002; ZIMBACK, 2011). Este método utiliza os dados do semivariograma, propiciando estimar valores conhecidos e o erro associado a esta estimativa (LANDIM; STURARO, 2002).

A aplicação da geoestatística, em relação aos nematoides, pode ser realizada com objetivo de auxiliar na compreensão da densidade populacional desses organismos nas propriedades rurais por meio da elaboração de mapas de distribuição (FARIAS *et al.*, 2002).

APLICAÇÕES DA GEOESTATÍSTICA NA FITONEMATOLOGIA

O emprego da geoestatística em estudos com nematoides é essencial no auxílio das tomadas de decisões para o manejo eficiente desses organismos em áreas agrícolas (LONG *et al.*, 2014; ALMEIDA; GUIMARÃES, 2016). A aplicação da técnica, por meio de modelos geoestatísticos ideais e representativos, irá variar de acordo com prevalência das espécies, localização e condições edafoclimáticas da região amostrada, fatores que interferem diretamente nas práticas de controle a serem adotadas e resultam na diminuição do custo de produção (FRANCHINI *et al.*, 2018).

A geoestatística atua como uma ferramenta eficiente na determinação da distribuição espacial e temporal de populações de nematoides estabelecidas em áreas de produção (BRIDA *et al.*, 2016., FREITAS *et al.*, 2017), e deste modo, tornou-se comumente utilizada em campos com alta incidência desses patógenos, a fim de obter dados seguros para implementação de técnicas de manejo adequadas e agindo também no controle da disseminação de populações desses organismos (ALMEIDA; GUIMARÃES, 2017; PEZZONI-FILHO, 2018; FREITAS *et al.*, 2019).

As análises dos dados de geoestatística são feitas por meio do conceito da Teoria das Variáveis Regionalizadas, criada por Matheron (1963), utilizando equipamentos com geolocalização, considerando a posição de cada amostra no campo com a finalidade de desenhar a malha da área, sendo, em regra, necessários no mínimo a amostragem de 36 pontos. Para fitonematologia diversos parâmetros podem ser avaliados, tais como características físicas e químicas do solo,

números de indivíduos, profundidade e temperatura, no entanto, comumente é feita a análise da densidade populacional dos fitonematoides. Os dados são processados utilizando dois programas: GS+ - Geoestatistics for the Environmental Sciences - (ROBERSTSON, 1998), para estudos de dependência espacial por meio da construção de semivariogramas; e Sufer 7.0 (GOLDEN SOFTWARE, 1999), para a construção de mapas.

Em adicional às aplicações referenciadas, a geoestatística também é empregada para avaliar o estabelecimento do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, usando os nematoides como bioindicadores de distúrbios (COUTINHO, 2014). Em estudo realizado por Pezzoni-Filho (2018), utilizou-se a geoestatística para análises populacionais de espécies de nematoides em áreas de produção florestal, com o objetivo de obter um manejo eficaz nos campos que apresentavam alta incidência.

Em grandes culturas, como a soja, o uso da geoestatística para verificar a variabilidade espacial de nematoides, avaliando a influência deste organismo na produtividade, é habitual (BRIDA *et al.*, 2016). De acordo com Freitas *et al.* (2019), a técnica permitiu a observação da flutuação populacional de *Pratylenchus brachyurus* em diferentes estações do ciclo da cultura e seu efeito na produtividade, além de fornecer informações sobre a época de plantio em função da densidade de *P. brachyurus*. Em pesquisa executada por Franchini *et al.* (2014) em soja parasitada por *P. brachyurus*, a utilização de conceitos da geoestatística possibilitou estimar parâmetros de produtividade.

Na cultura do algodão, a geoestatística foi empregada para analisar a distribuição de *Rotylenchulus reniformis* em grandes áreas de produção (FARIAS *et al.*, 2002). Para o café, aplicou-se para estabelecer modelos de distribuição de *M. exigua* (ALMEIDA; GUIMARÃES, 2017). Na cana-de-açúcar, é utilizada para estudos de distribuição espacial de *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus* spp. em campos comerciais (DINARDO-MIRANDA *et al.*, 2007; VIEIRA; XAVIER; GREGO, 2008; BARROS *et al.*, 2017). Em lavouras de produção de feijão pode ser usada para avaliar variações na estrutura e distribuição espacial de nematoides que atacam a cultura (ABADE *et al.*, 2016; SOARES *et al.*, 2019).

A aplicação de modelos geoestatísticos em grandes culturas, as quais, geralmente são cultivadas em grandes campos de produção é bastante vantajosa, pois esta ferramenta proporciona a diminuição do número de amostragens realizado em uma propriedade, visto que há relatos de interpolação de 1 a 5 quilômetros de distância entre pontos, conforme foi observado por Contina, Danduran e Knudsen (2018) em trabalho com *Globodera pallida* na cultura da batata.

Contudo, a técnica não se restringe às grandes culturas, sua aplicação também ocorre em áreas de hortaliças, como o repolho chinês (KABIR *et al.*, 2018) para distribuição espacial de *Heterodera trifolii*, e em cultivos orgânicos (YAWSON *et al.*, 2017). Além destas aplicações, a geoestatística pode ser utilizada para avaliar diretamente métodos de manejo, como rotação de cultura (FARIAS *et al.*, 2002), direcionando a cultura ideal para rotacionar

de acordo com a distribuição espacial do nematoide alvo na área de produção.

O emprego de modelos geoestatísticos é bem amplo, sendo usado também para avaliação do efeito nutricional na distribuição de nematoides em um determinado campo agrícola, com o objetivo de corrigir a fertilidade do solo apenas nas parcelas com deficiências (PINHEIRO *et al.*, 2008), o que otimiza os custos, e estudando as relações entre propriedades físicas do solo e comunidade de nematoides nas lavouras (CARDOSO *et al.*, 2012; QUIST *et al.*, 2019).

Os efeitos das variações ambientais em uma área também podem ser estudados com a geoestatística. Avaliando a distribuição horizontal e vertical de *Longidorus africanus*, Ploeg (1998) verificou correlação significativa entre a temperatura e época do ano com o número total de *L. africanus*. A ferramenta também é usada para estimar áreas de risco de nematoides, como citado por Mondal, Khan e Mukherjee (2020) para *Aphelenchoides besseyi* na Índia, realizando análises quanto ao semivariograma e a covariância deste patógeno.

Em levantamento realizado por Assunção *et al.* (2019) em áreas de cultivo de banana em Recife com amostragem de *Pratylenchus* spp. pode ser verificada a abundância de espécies deste gênero. A partir de dados fornecidos pelos autores deste trabalho foi possível a visualização, por meio do mapa de distribuição espacial, da elevada concentração do fitonematoide em determinada região da área avaliada, utilizando recursos técnicos da geoestatística (Figura 1).

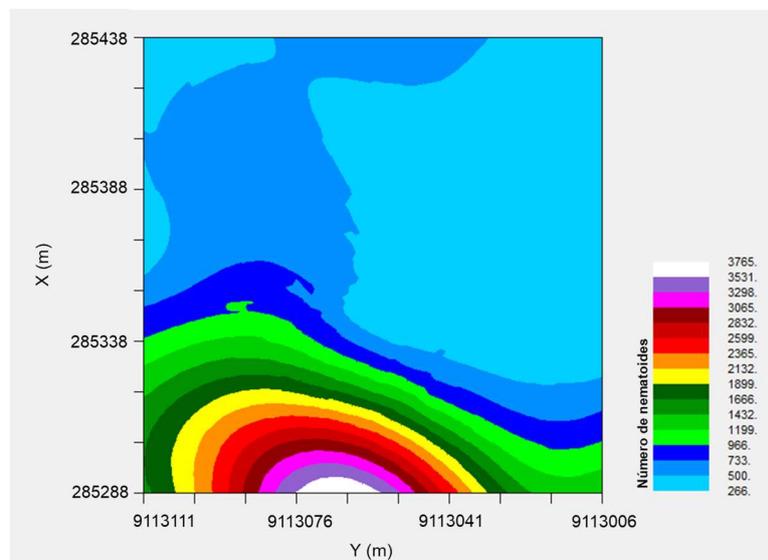


Figura 1. Mapa de distribuição espacial de *Pratylenchus* spp. em área de cultivo de banana.

A alta concentração dos fitonematoides, observada na figura 1, ocorre nas proximidades da área de trânsito de pessoas no campo de banana, fato constatado em visita *in loco*. O pomar localiza-se próximo de plantações de cana-de-açúcar, que também é uma cultura hospedeira de *Pratylenchus* spp., sendo o fitonematoide transportado por meio da ação humana transitória entre as áreas de produção das culturas, visto que em todo o pomar amostrado não há diferença nas características edáficas e de manejo. Deste modo, é importante correlacionar a distribuição espacial dos fitonematoides com os fatores presentes na área, entretanto, esta correlação é um dos principais

problemas associados às análises geoestatísticas, além da não transformação dos dados do levantamento quando estes não apresentam uma distribuição normal.

A tendência é que haja o aumento no uso da geoestatística como ferramenta complementar nas pesquisas, principalmente relacionadas à fitonematologia, devido à necessidade do mapeamento e conhecimento prévio em relação à distribuição dos nematoides presentes nas áreas as quais serão realizadas alguma atividade agrícola, sendo essencial para o planejamento da adoção de medidas de manejo eficazes, além de auxiliar em tomadas de decisões.

CONCLUSÕES

A geoestatística, quando utilizada corretamente, proporciona melhor aproveitamento do uso e eficácia de defensivos, conseguindo agir na real necessidade de cada faixa de área na

propriedade, evidenciando os modelos que descrevem com maior exatidão a distribuição espacial dos nematoides no solo, visando um manejo eficiente das doenças causadas por nematoides.

REFERÊNCIAS

ABADE, C. L. *et al.* Variação espacial de fitonematoides em área de cultivo de feijoeiro após erradicação de goiabeiras. *Nematropica*, Bradenton, v. 46, n. 2, p. 172-187, dez. 2016.

ALMEIDA, L. S.; GUIMARÃES, E. C. Geoestatística e análise fatorial exploratória para representação espacial de atributos químicos do solo, na cafeicultura. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 195-203, abr./jun. 2016.

ALMEIDA, L. S.; GUIMARÃES, E. C. Uso da geoestatística no manejo sustentável de nematoides de galhas do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 471 - 479, out./dez. 2017.

ARIEIRA, G. O. **Diversidade de nematoides em sistemas de culturas e manejo do solo**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

ASSUNÇÃO, M. C. *et al.* *Pratylenchus* spp.: morphological, molecular characterization and population density in banana (*Musa* spp.) in Pernambuco. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 30, p. 445-449, dez. 2019

BAILEY, T. C.; GATRELL, A. C. **Interactive Spatial Data Analysis**. Boston: Addison-Wesley, 1996.

BARROS, P. A. *et al.* Relationship between soil organic matter and nematodes in sugarcane fields. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 38, n. 2, p. 551-560, mar./abr. 2017.

BIONDI, F.; MYERS, D. E.; AVERY, C. C. Geostatistically modeling stem size and increment in an old-growth forest. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 24, n. 7, p. 1354-1368, jul. 1994.

BRIDA, A. L. D. *et al.* Variabilidade espacial de *Meloidogyne javanica* em soja. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 42, n. 2, p. 175-179, abr./jun. 2016.

CAMARGO, E. C. G. **Geoestatística: fundamentos e aplicações**. São José dos Campos: INPE, 1998.

CARDOSO, M. O. *et al.* Effects of soil mechanical resistance on nematode community structure under conventional sugarcane and remaining of Atlantic Forest. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 184, n. 6, p. 3529-3544, jul. 2012.

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, p. 695-703, jul./ago. 2003.

CHRISTIE, J. R. **Plant nematodes: their bionomics and control**. Gainesville: University of Florida Press, 1959.

CONTINA, J. B.; DANDURAND, L. M.; KNUDSEN, G. R. A spatial analysis of the potato cyst nematode *Globodera pallida* in Idaho. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 108, n. 8, p. 988-1001, jul. 2018.

COUTINHO, R. R. **Estudo das comunidades de nematoides como bioindicadores de distúrbio em sistemas agrícolas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

DEBIASI, H. *et al.* Monitoramento da acidez do solo e do nematoide das lesões radiculares em lavouras de soja no Mato Grosso. *In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA*. Londrina, 34., Londrina, PR, **Anais [...]** Londrina: Embrapa Soja, ago. 2014, p. 141-143.

DEBIASI, H. *et al.* Monitoramento da fertilidade do solo e da ocorrência do nematoide das lesões radiculares em soja no Mato Grosso. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO*, 33., 2011, Viçosa. **Anais [...]** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. Cd-Rom.

DINARDO-MIRANDA, L. L. **Nematoides e pragas da cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, 2014.

DINARDO-MIRANDA, L. L. *et al.* Uso da geoestatística na avaliação da distribuição de *Mahanarva fimbriolata* em cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, p. 449-455, fev. 2007.

ELLSBEURY, M. M. *et al.* Geostatistical characterization of special distribution of adult corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) emergence. **Environmental Entomology**, College Park, v. 27, p. 910-917, ago. 1998.

ESSER, R. P. **How nematodes enter and disperse in Florida nurseries via vehicles**. Tallahassee: Florida Department of Agriculture and Consumer Service, 1984.

FARIAS, P. R., *et al.* Geostatistical analysis of the spatial distribution of *Rotylenchulus reniformis* on cotton cultivated under crop rotation. **Russian Journal of Nematology**, Hertfordshire, v. 10, n. 1, p. 1-10, set. 2002.

FERRIS, H.; WILSON, L. T. Concepts and principles of population dynamics. *In: VEECH, J. A.; DICKSON, D. W.* (eds.) **Vistas on nematology**: Commemoration of the twenty-fifth anniversary of the Society of Nematologists. Hyattsville: Society of Nematologists, 1987. p. 372-376.

FRANCHINI, J. C. *et al.* Perda de produtividade da soja em área infestada por nematoide das lesões radiculares na região médio norte do Mato Grosso. *In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y.* (eds.) **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 274-278.

FRANCHINI, J. C. *et al.* Relationship among soil properties, root-lesion nematode population, and soybean growth. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 17, n. 1, p. 30-35, mar. 2018.

FREITAS, J. R. B. *et al.* Distribuição espacial de *Pratylenchus brachyurus* em área de soja no Leste do Maranhão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 14, n. 1, e5627, jan./mar. 2019.

FREITAS, J. R. B. *et al.* Soil factors influencing nematode spatial variability in soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v. 109, n. 2, p. 610-619, mar./abr. 2017.

GALBIERI, R.; BELOT, J. L. **Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle**. Cuiabá: Instituto Mato-grossense do Algodão, 2016.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer 7.0 – User’s Guide**. New York, 1999.

GOULART, A. M. C. **Análise nematológica: importância e princípios gerais**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010.

GRECO, N.; DI VITO, M. Population dynamics and damage levels. *In*: PERRY, R.; MOENS, M.; SRARR, J. (eds.). **Root-Knot nematodes**. Cambridge: CAB International, 2009. p. 246-274.

HOULDING, S. **Practical geostatistics: modeling and spatial analysis**. Nova York: Springer, 2000.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics**. Nova York: Oxford University Press, 1989.

JAKOB, A. A. E. A krigagem como método de análise de dados demográficos. *In*: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS POPULACIONAIS. Ouro Preto, 13., Ouro Preto, MG, **Anais [...]** Ouro Preto: Associação Brasileira de Estudos Populacionais, nov. 2002, p. 1-21.

KABIR, M. F. *et al.* Spatial distribution of *Heterodera trifolii* in Chinese cabbage fields. **Journal of Asia-Pacific Entomology**, Seul, v. 21, n. 2, p. 688-694, jun. 2018.

KOZAR, B.; LAWRENCE, R.; LONG, D. S. Soil phosphorus and potassium mapping using a spatial correlation model incorporating terrain slope gradient. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 3, n. 4, p. 407-417, dez. 2002.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. **Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society South Africa**, Johannesburg, v. 52, n. 6, p. 119-139, dez. 1951.

LANDIM, P. M. B. Sobre geoestatística e mapas. **Terrae Didatica**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 19-33, jun. 2006.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Rio Claro: UNESP, 2002.

LIEBHOLD, A. M.; ROSSI, R. E.; KEMP, W. P. Geostatistic and geographic information system in applied insect ecology. **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 38, p. 303-327, jan. 1993.

LONG, X. H. *et al.* Applying geostatistics to determine the soil quality improvement by Jerusalem artichoke in coastal saline zone. **Ecological Engineering**, Netherlands, v. 70, n. 4, p. 319–326, set. 2014.

MATHERON, G. **Les variables régionalisées et leur estimation**. Paris: Masson et Cie, 1965.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Lancaster, v. 58, n. 8, p. 1246-1266, dez. 1963.

MELLO, J. M. *et al.* Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**. Botucatu, v. 69, n. 4, p. 25-37, dez. 2005.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão: parte 1: o que é e estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 2, p. 108-121, dez. 1997.

MONDAL, S.; KHAN, M. R.; MUKHERJEE, A. Spatial distribution and risk area assessment of *Aphelenchoides besseyi* using geostatistical approaches in Giridih district of Jharkhand, India. **Journal of Nematology**, v. 52, p. 1, abr. 2020.

ORTIZ, B. V. *et al.* Geostatistical modeling of the spatial variability and risk areas of southern root-knot nematodes in relation to soil properties. **Geoderma**, Amsterdam, v. 156, n. 3-4, p. 243–252, mai. 2010.

PEZZONI-FILHO, J. C. *et al.* *Meloidogyne exigua* (Meloidogynidae) in rubber tree clones during two periods of the year. **Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, Santa Fé, v. 19, n. 3, p. 607-620, set./dez. 2018.

PINHEIRO, J. B. *et al.* Influência da nutrição mineral na distribuição espacial do nematoide de cisto da soja. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 32, p. 270-278, out./dez. 2008.

PLOEG, A. T. Horizontal and vertical distribution of *Longidorus africanus* in a bermudagrass field in the Imperial Valley, California. **Journal of Nematology**, College Park, v. 30, n. 4S, p. 592, dez. 1998.

QUIST, C. W. *et al.* Spatial distribution of soil nematodes relates to soil organic matter and life strategy. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 136, p. 107542, set. 2019.

RITZINGER, C. H. S. P.; FANCELLI, M.; RITZINGER, R. Nematoides: bioindicadores de sustentabilidade e mudanças edafoclimáticas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 32, n. 4, p. 1289-1296, dez. 2010.

ROBERTS, E. A.; RAVLIN, F. W.; FLEISCHER, S. J. Spatial data representation for integrated pest management programs. **American Entomology**, Brownsburg, v. 39, p. 91-107, 1993.

ROBERTSON, G. P. **GS+: geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 1998.

ROCHA, M. M.; LOURENÇO, D. A.; LEITE, C. B. B. Aplicação de krigagem com correção do efeito de suavização em dados de potenciometria da cidade de Pereira Barreto. **Revista do Instituto de Geociências**, São Paulo, v. 7, n. 2, p. 37-48, out. 2007.

SCHOMAKER, C. H.; BEEN, T. Plant growth and population dynamics. *In*: PERRY, R. N.; MOENS, M. (eds.). **Plant Nematology**, Wallingford: CABI, 2006. p. 275-301.

SEIDEL, E. J.; OLIVEIRA, M. S. Novo índice geoestatístico para a mensuração da dependência espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 699-705, mai./jun. 2014.

SOARES, A. **Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente**. 3th ed. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2000.

SOARES, A. **Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente**. 2th ed. Lisboa: Coleção Ensino da Ciência e da Tecnologia. 2006.

SOARES, M. B. *et al.* Desempenho de cultivares de feijoeiro irrigado no ecótono Cerrado-Amazônia. **Nativa**, Sinop, v. 7, n. 3, p. 244-250, abr. 2019.

TAYLOR, R. A. J.; PARK, S. J.; GREWAL, P. S. Nematode spatial distribution and the frequency of zeros in samples. **Nematology**, Leiden, v. 19, n. 3, p. 263-270, mar. 2017.

TORRES, G. R. C. *et al.* Aspectos ecológicos de comunidade de nematoides associada a cultivo de *Cucumis melo* no Rio Grande do Norte. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 1-9, abr. 2006.

VIEIRA, S. R.; XAVIER, M. A.; GREGO, C. R. Aplicações de geoestatística em pesquisas com cana-de-açúcar. *In*: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (eds.). **Cana de açúcar**. Ribeirão Preto: Instituto Agronômico, 2008. p. 839-852.

YAWSON, D. O. *et al.* Spatial distribution of nematodes at organic and conventional crop fields in Cape Coast, Ghana. **West African Journal of Applied Ecology**, Accra, v. 25, n. 1, p. 57-66, ago. 2017.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**. 2001. Tese (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

ŽUPUNSKI, V. *et al.* Sampling error in relation to cyst nematode population density estimation in small field plots. **Journal of Nematology**, College Park, v. 49, n. 2, p. 150, 2017.