

**PADRÕES E MÉTODOS PARA PREDIÇÃO DA  
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE NEMATOIDES EM SISTEMA  
DE SUCESSÃO SOJA-ALGODÃO**

**Ana Paula Alencastro Silva**  
Bióloga

**ANA PAULA ALENCASTRO SILVA**

**PADRÕES E MÉTODOS PARA PREDIÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE  
NEMATOIDES EM SISTEMA DE SUCESSÃO SOJA-ALGODÃO**

Orientador: Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva

Dissertação apresentada ao Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas para obtenção do título de MESTRE.

Urutaí – GO  
2018

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/IF Goiano Campus Urutaí**

S586p Silva, Ana Paula Alencastro.

Padrões e métodos para predição da distribuição espacial de nematoides em sistema de sucessão soja-algodão. [Manuscrito] / Ana Paula Alencastro Silva. -- Urutaí, GO: IF Goiano, 2018.

27 fls.

Orientador: Dr. Anderson Rodrigo da Silva

Dissertação (Mestrado Profissional em Proteção de Plantas) – Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí, 2018.

1. *Pratylenchus brachyurus*. 2. Manejo fitossanitário. 3. Mapa de infestação. I. Título.

CDU 631/635



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA  
E TECNOLOGIA GOIANO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
PROTEÇÃO DE PLANTAS

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO:** Padrões e métodos para predição da distribuição espacial de nematoides em sistema de rotação soja-algodão.

**AUTORA:** Ana Paula Alencastro Silva

Dissertação defendida e aprovada como parte das exigências para obtenção do título de Mestra em Proteção de Plantas.

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Anderson Rodrigo da Silva (orientador)  
Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí

Prof.ª Dra. Gleina Costa Silva Alves  
Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí

Dr. José Alexandre Barrigossi  
Embrapa Arroz e Feijão

Urutaí, 19 de fevereiro de 2018

  
ppgpp.urt@ifgoiano.edu.br

  
(64) 3465-1912

RODOVIA GERALDO S. NASCIMENTO, KM 2,5  
CEP 75790-000, URUTAÍ – GO  
[www.ifgoiano.edu.br/urutai](http://www.ifgoiano.edu.br/urutai)

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, pelo dom da vida e por conceder-me força para vencer mais um desafio.

À minha família, por estar sempre comigo, em todos os momentos, sempre me encorajando e torcendo por essa vitória me dando coragem para enfrentar as batalhas da vida.

Ao Instituto Federal Goiano - Campus Urutaí pela oportunidade de fazer o curso e ao apoio dos professores.

Ao Professor Anderson R. da Silva, pelas orientações, ensinamentos e presença constante ao longo desses anos de estudo.

A FAPEG, pela bolsa concedida, pois sem ela seria impossível realizar o estudo.

A Fundação MT pela liberação concedida, permitindo que me ausentasse do trabalho para me apresentar nas aulas do mestrado.

**SUMÁRIO**

RESUMO .....	iv
ABSTRACT .....	v
INTRODUÇÃO.....	1
OBJETIVOS.....	3
MATERIAL E MÉTODOS .....	4
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	8
CONCLUSÕES.....	18
REFERÊNCIAS .....	19

## RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido com o intuito de comparar métodos de interpolação espacial da densidade populacional de fitonematóides bem como de avaliar o efeito da sucessão de culturas, soja e algodão, sobre a densidade populacional e a distribuição espacial de fitonematóides em uma área de produção agrícola comercial. O estudo foi realizado no município de Pedra Preta – MT. A amostragem foi realizada em um grid com distâncias regulares de 25 m, coletando-se uma amostra por m<sup>2</sup>, totalizando 20 pontos amostrais georreferenciados por meio de GPS agrícola. Foram coletadas amostras de solo e raiz em três épocas: antes do plantio (população inicial), em soja nos estádios R1 e R6 e em algodão nos estádios R1 e R6. Os seguintes métodos foram utilizados para construção de mapas de infestação: o método janela circular móvel de raio variável (JCMRV), sendo este aqui proposto, o método de interpolação pelo inverso do quadrado das distâncias e krigagem ordinária. O erro percentual médio absoluto de cada mapa foi calculado. Em nenhum dos cenários obteve-se ajuste razoável de modelos de semivariância, de modo que não foi possível realizar a krigagem. O método JCMRV apresentou, em geral, menores erros de interpolação. Não houve efeito da sucessão soja-algodão sobre os fitonematóides da espécie *Pratylenchus brachyurus* e *Rotylenchulus reniformis*

**Palavras-chave:** *Pratylenchus brachyurus*, manejo fitossanitário, mapa de infestação.

## ABSTRACT

The present study was developed with the purpose of comparing methods of spatial interpolation of population density of phytonematodes as well as to evaluate the effect of crop succession, soybean and cotton, on the population density and the spatial distribution of phytonematodes in a commercial field. The study was carried out in the city of Pedra Preta - MT. The sampling was done in a grid with regular distances of 25 m, collecting one sample per m<sup>2</sup>, in 20 geo-referenced sample points. Soil and root samples were collected at three times: before planting (initial population), soybean at stages R1 and R6 and cotton at stages R1 and R6. The following methods were used to construct infestation maps: the circular variable-radius moving window method (CVRMW), which is proposed here, the inverse squared-distance weighting and ordinary kriging. The mean absolute percentage error of each map was calculated. In none of the scenarios we found a reasonable fit of semivariance models, so that kriging was not done. The CVRMW method presented, in general, smaller interpolation errors. There was no effect of the soybean-cotton succession on the phytonematodes of the species *Pratylenchus brachyurus* and *Rotylenchulus reniformis*.

**Key words:** *Pratylenchus brachyurus*, phytosanitary management, infestation map.

## INTRODUÇÃO

O Centro-Oeste lidera a produção agrícola Brasileira. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2017), estima-se produção de 90,6 milhões de toneladas de grãos, de um total de 213 milhões de toneladas projetadas para a safra 2016/2017. Soja, algodão e milho são as principais culturas do Centro-Oeste. Entre os estados, Mato Grosso aparece como maior produtor, com a colheita estimada em 52,7 milhões de toneladas.

No entanto, problemas fitossanitários são recorrentes, como a disseminação de doenças e o ataque de pragas que até então não preocupavam os produtores da região. Perdas causadas pela presença de fitonematóides se inserem nesse contexto. No Brasil, algumas espécies se fazem presentes nas regiões produtoras, com ocorrência variada para o Estado de Mato Grosso. No geral, e *Pratylenchus brachyurus*, *Rotylenchulus reniformis* e *Helicotylenchus dihystera* ocorrem em 96,2%, 24,4%, e 12,8% das áreas do Estado, respectivamente. Essas três espécies de nematoides estão entre as dez de maior importância em todo o mundo (JONES et al., 2013), com capacidade de parasitar tanto a cultura da soja como do algodão, tornando-se um grande desafio manter suas populações abaixo do nível de dano nos sistemas de produção vigentes no Brasil.

A expansão da produção de culturas agrícolas anuais vem sendo acompanhada pelo crescente aumento da população de nematoides fitopatogênicos, os quais estão entre os principais fatores que limitam a obtenção de altos rendimentos da produção (INOMOTO et al., 2007). O manejo de fitonematóides em culturas anuais exige um rigoroso e contínuo acompanhamento da cultura e dos nematoides, visto que a população de nematoides responde de forma muito rápida a estímulos externos, sejam fatores físicos e ambientais (temperatura, umidade, textura do solo) ou práticas agrícolas (rotação e sucessão de culturas, destruição de restos culturais e plantio direto).

O conhecimento da dinâmica populacional e do padrão de distribuição espacial de nematoides pode ser relevante quando considerando a rotação de culturas como prática de manejo. DAVIS et al. (2000) e FERNANDES et al. (2002) enfatizam a importância de se conhecer o padrão de distribuição espacial de pragas agrícolas para se estabelecer um plano confiável de amostragem e, com isso, realizar o controle com o máximo de eficiência, alterando o mínimo possível o agroecossistema, premissa do Manejo Integrado de Pragas.

Estudos de distribuição espacial de pragas têm sido realizados utilizando-se índices de

agregação (HOLGUIN et al., 2015) tais como o índice de Morisita, a razão variância/média, *Taylor's Power law* entre outros. Entretanto, estas estatísticas são não espaciais, isto é, não consideram a dependência espacial dos dados. Além destes, métodos geoestatísticos baseados em análises de semi-variogramas são também de uso corrente (RIJAL et al., 2014; PULAKKATU-THODI et al., 2014; MASETTI et al., 2015). Contudo, estes foram originalmente desenvolvidos para modelagem de variáveis contínuas, além de outras suposições. Modelos que incorporam informações de variáveis discretas (DIGGLE et al., 1998) como é o caso da densidade e diversidade de nematoides, são complexos e de pouca aplicação.

Recente avanço em termos de predição espacial se deve à Manel et al. (2007), ao proporem um método baseado em uma janela circular móvel sobre a área de amostragem, cujo princípio consiste em identificar pontos amostrais dentro desta janela, de forma iterativa. Como afirmam os autores, o método não faz nenhum tipo de suposição acerca dos dados amostrais. Em diversas culturas de grande relevância no bioma Cerrado, como algodão, soja e milho, esses métodos ainda são raramente explorados, menos ainda em se tratando de mapear fitonematóides.

## OBJETIVOS

### Objetivo geral

Detectar por meio de métodos de análise espacial padrões de distribuição de densidade populacional de fitonematóides em área de produção comercial em sistema de rotação soja-algodão.

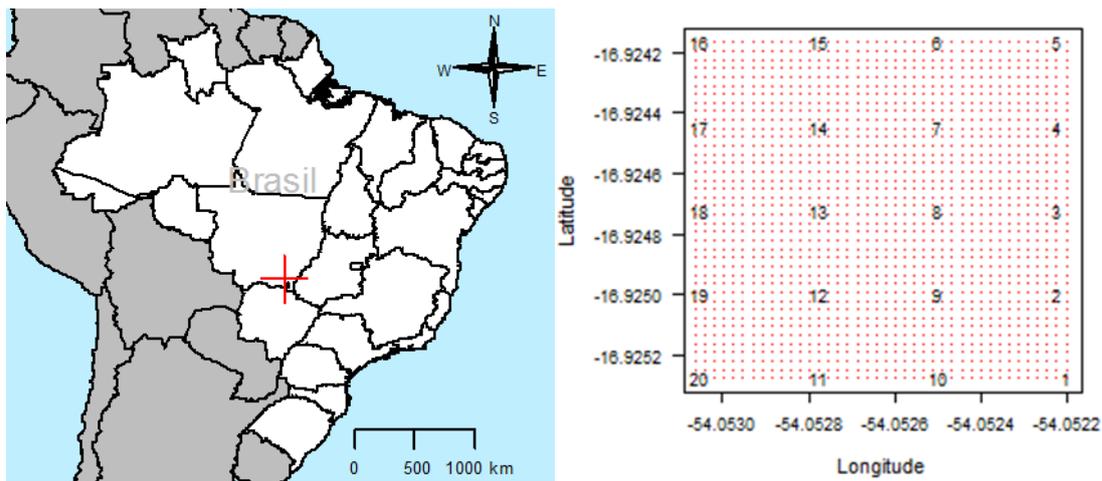
### Objetivos específicos

- Adaptar e implementar em linguagem R um método estatístico usado em diversidade gênica espacial para predição da densidade populacional de fitonematóides a partir da informação de pontos amostrados em um grid regular disposto na área de estudo, com a premissa de que o novo método deve ser robusto a distribuição em reboleira (ilhas), que frequentemente causa falta de ajuste em métodos considerados padrão, tal como krigagem geoestatística.
- Identificar o padrão de distribuição de fitonematóides em ambas as culturas por meio de métodos clássicos, tais como índices de agregação e krigagem, e pelo método proposto.
- Comparar a acurácia dos métodos de predição espacial.
- Determinar o efeito da sucessão de culturas no verão com soja/algodão sobre os mapas de distribuição espacial, em termos de densidade populacional.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Local de estudo e plano de amostragem

O estudo foi conduzido em uma área de produção comercial da Fazenda Bahia, localizada no município de Pedra Preta – MT (Figura 1). Durante o período de setembro de 2016 a abril de 2017, em Latossolo Vermelho, naturalmente infestado por *P. brachyurus*, *R. reniformis* e *H. dihystera*, cultivado por vários anos consecutivos com soja na safra e algodão safrinha, porém na safra 2015/2016 havia feito uma sucessão com milho. A metodologia de coleta adotada, não gerou qualquer modificação na área, quanto ao preparo do solo adubação, plantio, condução e colheita.



**Figura 1.** Localização da área amostral (à esquerda) e grids de pontos amostrais e de predição (à direita).

A população de nematoides no solo e raiz foi estimada em cinco épocas distintas: antes da semeadura da safra, na primeira quinzena de setembro, logo após a colheita do milho nesse período foi feita apenas amostras de solo, a segunda quando a soja estava em R1, e depois em R6, na cultura do algodão, nos estádios R1 e R6.

Foram demarcados vinte pontos amostrais de 1 m<sup>2</sup> cada, constituindo um grid regular de 25 × 25 m (Figura 1). Os pontos foram georeferenciados por meio de GPS agrícola. Para cada avaliação foram coletadas amostras compostas de aproximadamente 300 cm<sup>3</sup> de solo e 10g de raiz na camada de 0-20 cm com o auxílio de uma enxada. As amostras foram contidas em sacos plásticos etiquetados e acondicionadas em caixa térmica para envio ao laboratório.

Em seguida, realizou-se a extração dos fitonematóides do solo JENKINS, (1964). Depois foram realizadas as extrações dos nematoides das raízes das plantas com a trituração e em seguida flutuação em centrifuga com solução sacarose COOLEN; D'HERDE, (1972).

Após a extração, os nematoides foram inativados em banho-maria (55 °C 5min-1) e mantidos em formalina (2%). A determinação do número de nematoides em alíquota de 1,0mL foi realizada em lâmina de contagem de Peters, sob microscópio óptico.

A partir dos resultados obtidos nas avaliações realizadas no início (população inicial) e final (em R1 e R6 de cada cultura), estimou-se a variação populacional.

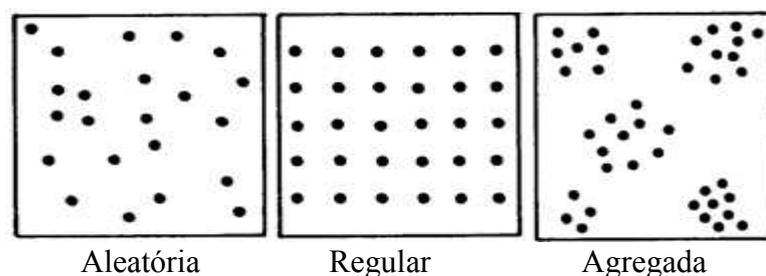
### **Análise da distribuição espacial**

#### *Padrão de agregação*

O padrão de distribuição das pragas foi analisado por meio do Índice de Morisita:

$$I = n \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2 - \sum_{i=1}^n y_i}{\left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2 - \sum_{i=1}^n y_i}$$

em que:  $n$  é o número de pontos amostrais e  $y_i$  é o grau de infestação no  $i$ -ésimo ponto. De acordo com MORISITA (1962),  $I = 1$  indica distribuição aleatória,  $I < 1$  indica distribuição regular e  $I > 1$  indica distribuição agregada. O índice foi utilizado para identificar qual o tipo de distribuição se ela é aleatória, regular ou agregada, como ilustra a Figura 2.



**Figura 2.** Padrão de distribuição espacial de acordo com Morisita (1962)

### *Interpolação espacial*

A distribuição espacial de fitonematóides foi estudada pressupondo estacionariedade do processo espacial, construindo semivariogramas experimentais clássicos (Matheron), de acordo com a equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(s_i) - Z(s_i + h)]^2$$

em que,  $\gamma(h)$  é a semivariância estimada para um dado  $N(h)$  número de pares de observações  $[Z(s_i), Z(s_i + h)]$  separados pela distância.

Também foi aplicado o método do inverso do quadrado das distâncias (IQD), que consiste em realizar previsões espaciais através da média ponderada de todas as observações espaciais pelo inverso do quadrado das distâncias ao ponto predito. Basicamente considera-se o valor de cada vizinho ponderado pelo inverso da distância entre ele e o ponto de interesse. Assim, vizinhos distantes contribuem com menos peso para o valor final que vizinhos mais próximos.

Uma adaptação da metodologia de Manel et al. (2007), aqui denominada como método da janela circular móvel de raio variável, foi utilizada para prever níveis espaciais de infestação. O método consiste em prever observações espaciais por meio da média ponderada pelo inverso do quadrado das distâncias de observações dentro de um raio  $h$  que é variável e determinado para atender uma função objetivo baseada na minimização do índice de variação (razão entre o coeficiente de variação e a raiz quadrada do tamanho amostral). A Figura 3 dá acesso a um vídeo ilustrativo do método.



**Figura 3.** *QR Code* para vídeo ilustrativo do método.

A comparação dos métodos foi realizada através dos valores de erro percentual médio absoluto.

Os dados foram analisados no ambiente R de computação estatística, versão 3.2.1 (R CORE TEAM, 2015). O ajuste de semi-variogramas foi feito com o pacote *geoR*. Demais métodos foram implementados em linguagem R.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou que a produção de algodão na área de estudo ficou abaixo da média nacional com apenas 3.111 kg ha<sup>-1</sup> enquanto a média nacional é de 3.879 kg ha<sup>-1</sup> Conab (2017). A cultura da soja também teve um rendimento abaixo da média nacional, com produtividade da soja na área de estudo de 2.570 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto a média nacional foi de 3.362 (Tabela 1). De acordo com Franchini (2011), o nematoide das lesões radiculares representa um importante desafio para a produção agrícola na região Central do Brasil, devido a sua ocorrência generalizada e à ausência de cultivares resistente e estratégias adequadas para o seu manejo.

**Tabela 1.** Médias de produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) de soja e algodão na safra 2017. Pedra Preta – MT 2017.

Cultura	Área de estudo	Nacional	Percentual de perda
Soja	2.880	3.362	16%
Algodão	3.879	3.111	20%

O índice de agregação de Morisita mostrou que a espécie apresentou padrão agregado em todas as avaliações. Os índices de agregação tenderam a aumentar nos estádios reprodutivos, tanto das culturas da soja quanto do algodão (Tabela 2). Isso ocorre devido ao fato de que na fase reprodutiva a cultura já está com seu sistema radicular completo, com isso aumenta a massa radicular em consequência a população de fitonematoides tende aumentar.

**Tabela 2.** Índice de agregação de Morisita.

Material	Cultura	Época	Espécie		
			Pratylenchus brachyurus	Rotylenchulus reniformis	Helicotylenchus dihystera
Solo	--	Pop. Inicial	1,07	1,08	1,13
	Soja	R1	1,20	1,16	1,09
		R6	1,29	1,08	1,10
	Algodão	R1	1,21	1,07	1,06
		R6	1,10	1,11	1,18
	Raiz	Soja	R1	1,27	1,31
R6			1,12	1,06	1,08
Algodão		R1	1,06	1,09	1,42
		R6	1,12	1,19	1,17

$I_a = 1$ , distribuição aleatória,  $I_a < 1$ , distribuição regular e  $I_a > 1$ , distribuição agregada.

Para Rossi et al. (1996), a tendência de agregação das populações com densidades médias em grande parte divergentes implica no uso de um índice insensível à variação na densidade média e que, portanto, o índice de Morisita é o ideal como um método de comparação de agregação de espécies se as densidades variarem.

De acordo com Kanieski et al. (2009), o conhecimento da distribuição espacial através da estimativa do índice de Morisita, de uma espécie dentro da comunidade, como o solo em questão, é uma característica importante para o planejamento e a gestão de medidas de conservação das áreas de cultivo. Anjos et al. (2004) também confirmou que o conhecimento sobre os padrões de distribuição espacial pode fornecer informações sobre a ecologia, apoiar a definição de estratégias de gestão e conservação, prover assistência em procedimentos de amostragem ou simplesmente esclarecer a estrutura espacial de uma espécie.

No ajuste dos semivariogramas, observou-se que todos apresentaram tendência nos dados, ou seja, não estacionaridade das variáveis em estudo, dificultando o ajuste de modelos de determinação. Dessa forma, na montagem dos mapas, utilizaram-se os dados dos resíduos, construindo-se os mapas a partir dos dados originais com a metodologia da JCMRV (Janela Circular Móvel de Raio Variável).

Nas Figuras 4 e 5, apresentam-se os mapas para a distribuição espacial do nematoide *Pratylenchus brachyurus*. Pode-se observar que com o passar do tempo, o número de indivíduos aumenta consideravelmente nas amostras provenientes de raízes, tanto da cultura da soja quanto do algodão. De fato, a espécie se tornou sério problema à sojicultura nos estados do Centro-Oeste, pelas perdas provocadas e manejo difícil, pois essa espécie de nematoide tem uma ampla gama de hospedeiro.

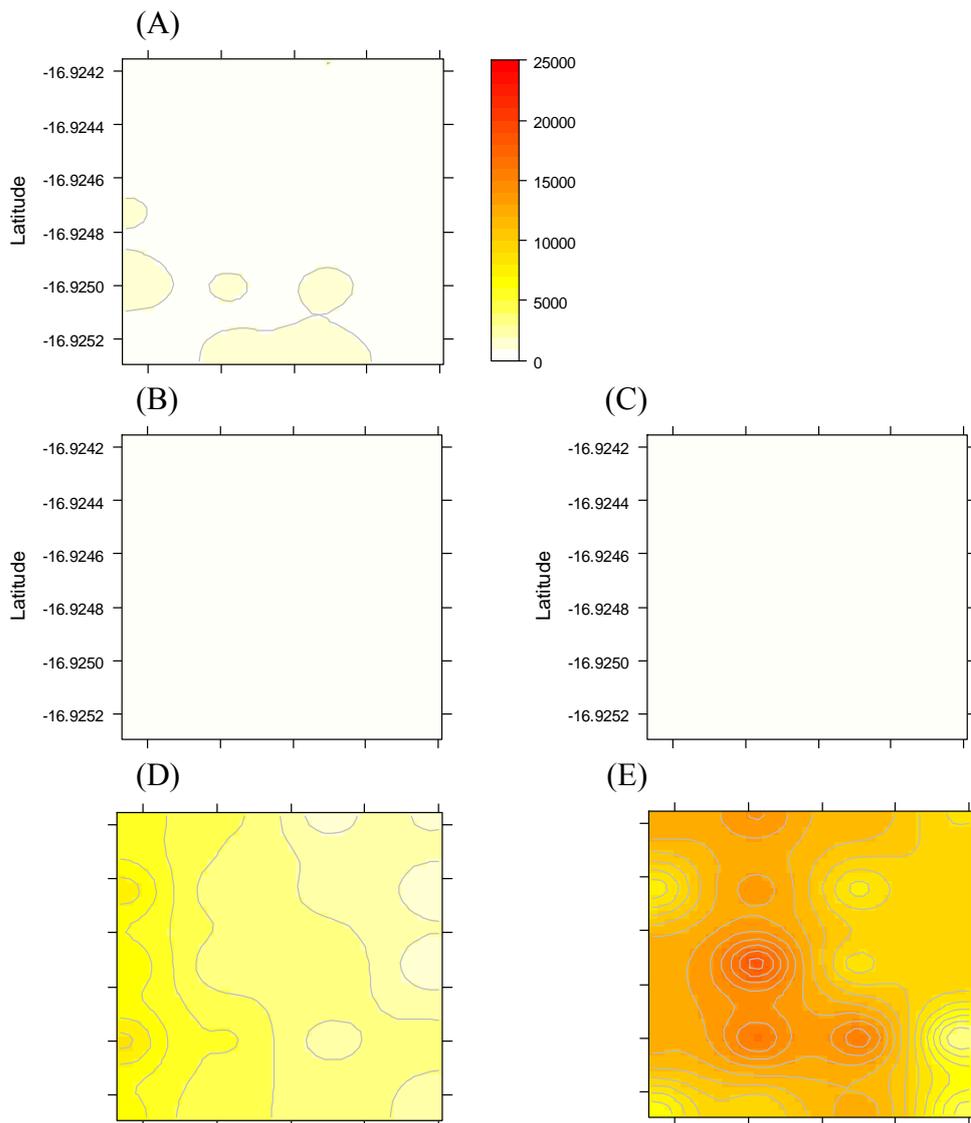
As Figura 6 e 7 apresenta os mapas para a distribuição espacial do nematoide *R. reniformis*. Apesar da baixa população inicial encontrada antes da instalação da cultura da soja, observa-se que pelo fato das duas culturas serem hospedeiras do nematoide, há um aumento significativo no número de indivíduos, em especial durante o cultivo do algodão. Já nas Figura 8 e 9 podemos evidenciar a diminuição na população do nematoide *Helycotilenchus* sp. em virtude da diferenciação da cultura hospedeira (soja) em relação à uma não-hospedeira (algodão) no decorrer dos estádios das culturas. Verifica-se que em todos os mapas a distribuição espacial dos fitonematoides se aproxima de maneira bastante satisfatória aquela que deu sua origem para os pontos amostrais.

A utilização da metodologia de interpolação utilizando a JCMRV evita suposições, além

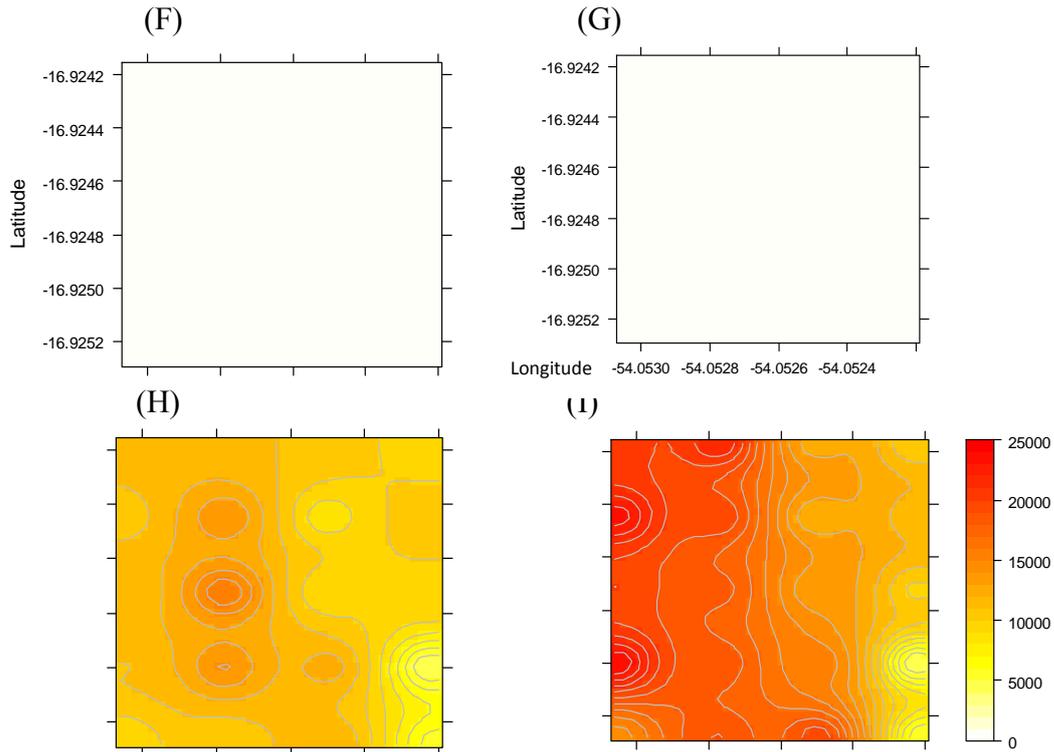
de também ser muito útil para o estudo de distribuições espaciais uniformes e não agrupadas. Os resultados dos mapas evidenciam que uma amostragem sistemática em uma grade ou uniformemente espaçada é eficiente para identificar padrões espaciais dos fitonematoides *P. brachyurus*, *R. reniformis* e *Helicotylenchus* sp. Esta abordagem será especialmente útil ao estudar grandes populações contínuas sem limites óbvios, porém, exige uma amostragem contínua, uniformemente espaçada e confiável. A importância de uma amostragem contínua, uniformemente espaçada, em estudos de paisagem que buscam detectar a localização espacial dos limites de populações de organismos também foi observada por Guillot et al. (2005) e Manel et al. (2007).

Dinardo-Miranda e Fracasso (2009) estudando a distribuição de nematoides parasitas de plantas em 10 áreas de cultivo de cana-de-açúcar, observaram que as grandes variações existentes nas condições de cultivo interferem diretamente na distribuição espacial dos nematoides, no entanto determinaram o alcance de 35 m em uma das áreas infestadas com *M. javanica*. Seriam então necessários cerca de cinco pontos de amostragem por hectare para a representação da população desse nematoide nessa área. Entretanto, em outras quatro áreas ocorreram efeito pepita puro, ou seja, houve ausência total de dependência espacial, ou se a dependência espacial existiu, foi manifestada a uma distância menor do que o menor espaçamento entre os pontos amostrados no campo. Nesse sentido, os modelos geoestatísticos descrevem a distribuição espacial de uma variável, associando o grau de dependência a medidas de distância e de direção entre os pontos amostrados (DIGGLE & RIBEIRO JR, 2007).

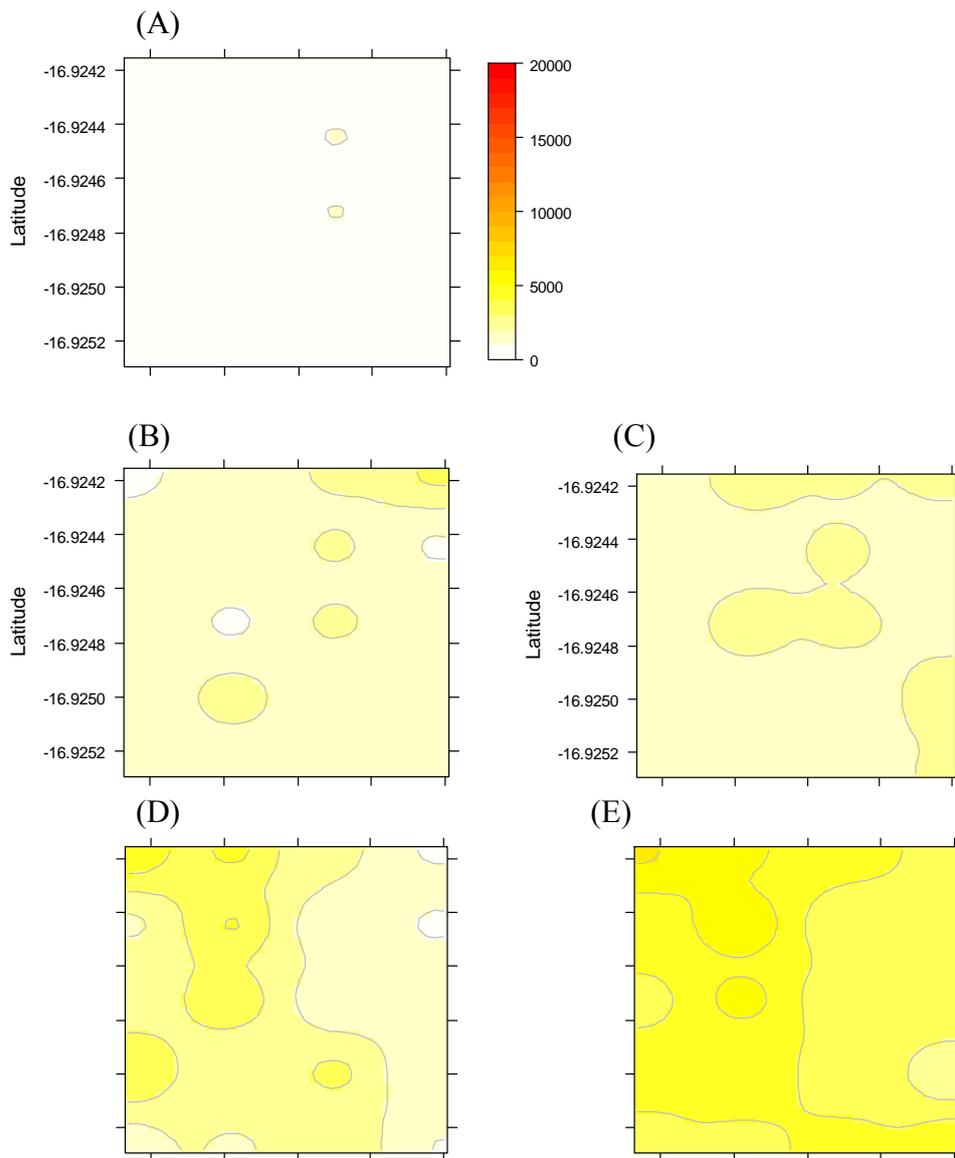
Para que a interpolação produza previsões confiáveis e represente a real variabilidade local, o processo de modelagem deve ser realizado com critérios estatísticos objetivos como pode ser observado nos trabalhos de Ribeiro Jr et al. (2009), Ávila et al. (2010) e Borssoi et al. (2011). Nesse caso, a inspeção de pontos discrepantes, a verificação da necessidade de transformação da variável resposta, além da correta seleção do modelo, são procedimentos importantes para a qualidade das inferências. Portanto para estudar distribuição espacial com geoestatística exige que o pesquisador conheça bem cada modelo de semivariograma, por outro lado isso pode ser tendencioso o que interfere diretamente nos resultados.



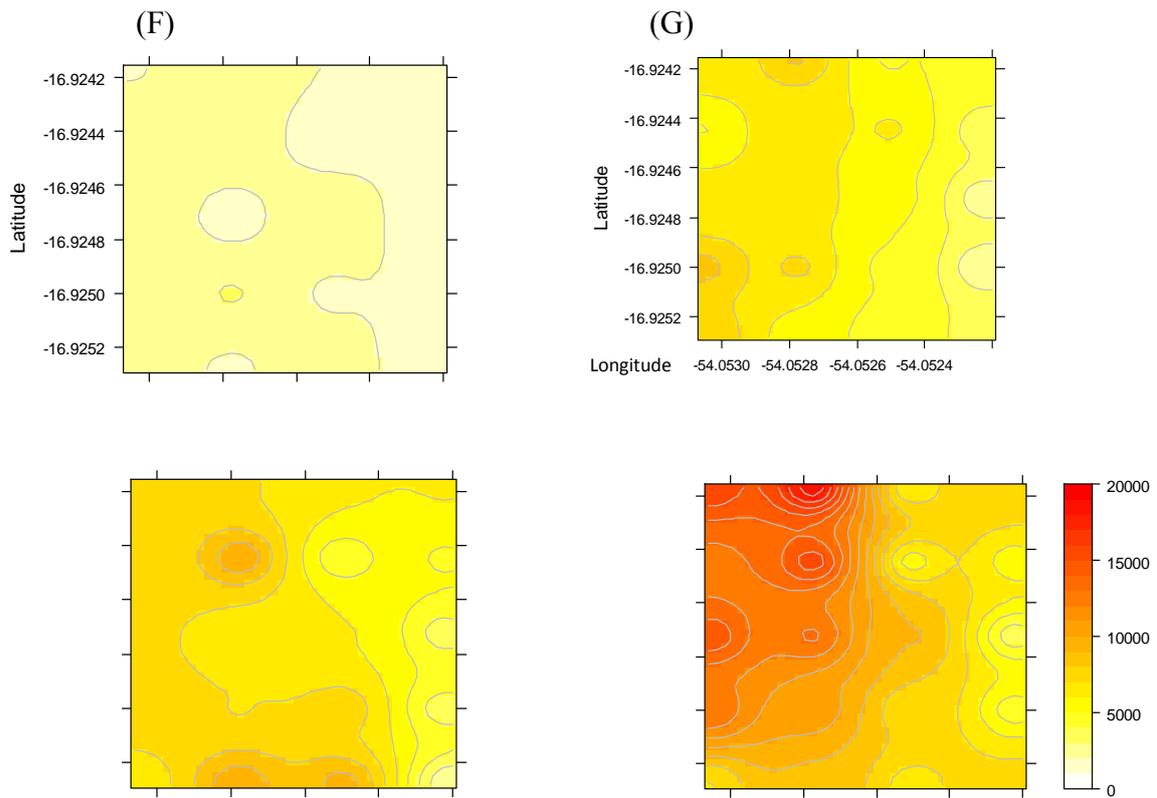
**Figura 4.** Mapa de distribuição espacial de *Pratylenchus brachyurus* em (A) população inicial no solo, (B) solo em cultivo de soja – estágio R1, (C) solo em cultivo de soja – estágio R6 (D) raiz de soja – estágio R1, (E) raiz de soja – estágio R6,



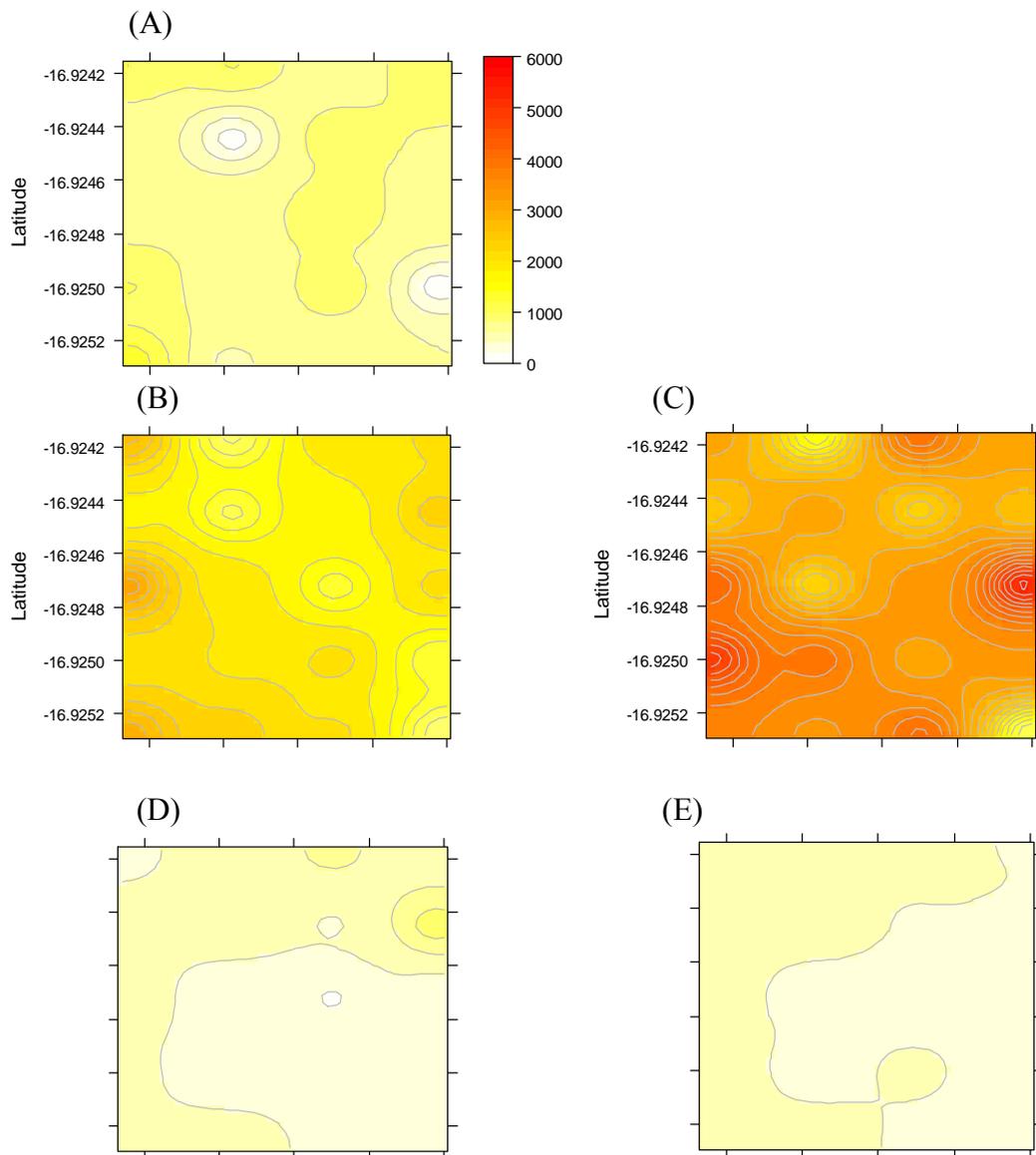
**Figura 5.** Mapa de distribuição espacial de *Pratylenchus brachyurus* em (F) solo em cultivo de algodão – estágio R1, (G) raiz de algodão – estágio R1, (H) solo em cultivo de algodão – estágio R6, (I) raiz de algodão – estágio R6.



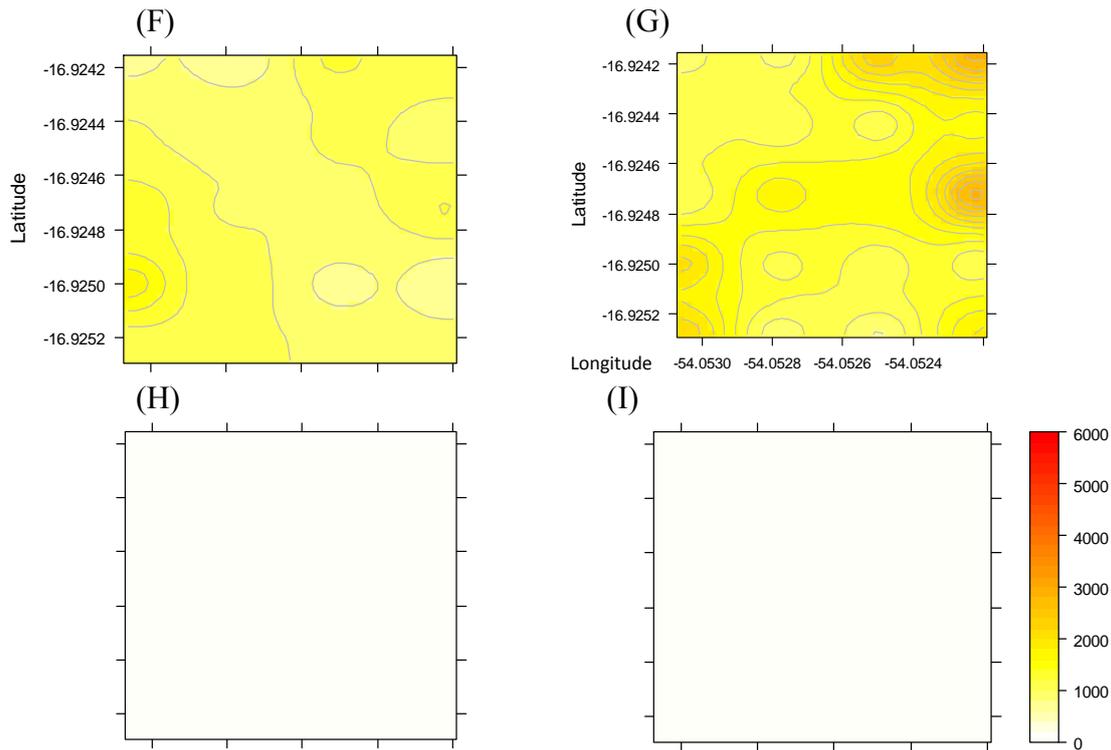
**Figura 6.** Mapa de distribuição espacial de *Rotylenchulus reniformis* em (A) população inicial no solo, (B) solo em cultivo soja – estágio R1, (C) solo em cultivo de soja – estágio R6, (D) raiz de soja – estágio R1, (E) raiz de soja – estágio R6.



**Figura 7.** Mapa de distribuição espacial de *Rotylenchulus reniformis* na cultura do Algodão. (F) solo em cultivo de algodão – estágio R1, (G) raiz de algodão – estágio R1, (H) solo em cultivo de algodão – estágio R6, (I) raiz de algodão – estágio R6.



**Figura 8.** Mapa de distribuição espacial de *Helicotylenchus sp.* em (A) população inicial no solo, (B) solo em cultivo de soja – estágio R1, (C) solo em cultivo de soja – estágio R6, (D) raiz de soja – estágio R1, (E) raiz de soja – estágio R6,



**Figura 9.** Mapa de distribuição espacial de *Helicotylenchus sp.* na cultura do Algodão. (F) solo em cultivo de algodão – estágio R1, (G) solo em cultivo de algodão – estágio R6, (H) raiz de algodão – estágio R1, (I) raiz de algodão – estágio R6.

A Tabela 3 apresenta os valores dos erros percentuais médios absolutos de predição espacial de tamanho de grid 25x25, para os diferentes métodos de interpolação em relação às populações de *P. brachyurus*.

**Tabela 3.** Erro percentual médio absoluto de predição espacial de populações de *P. brachyurus*.

Material	Cultura	Época	Método de interpolação*		
			IQD	KO	JCMRV
Solo	--	Pop. Inicial	30,92	NA	30,04
		Soja	R1	37,94	NA
	R6		40,87	NA	39,86
	Algodão	R1	49,69	NA	50,68
		R6	25,39	NA	24,48
Raiz	Soja	R1	35,08	NA	30,04
		R6	35,71	NA	52,10
	Algodão	R1	20,71	NA	20,06
		R6	31,27	NA	27,86

\*IQD: inverso do quadrado das distâncias, KO: krigagem ordinária (NA = não houve ajuste de modelos para os semivariogramas), JCMRV: janela circular móvel de raio variável.

O percentual de erro entre os diferentes métodos de interpolação variou de 24,48%

(JCMRV) a 50,68% (JCMRV) para amostras de solo, e de 20,06% (JCMRV) a 52,10% (JCMRV) para amostras provenientes de raízes. Nota-se que a predição utilizando o método JCMRV sempre obteve menores valores de erros em relação aos diferentes métodos de interpolação, com exceções nas épocas de R1 na cultura do algodoeiro R6 na cultura da soja, para amostras de solo e raízes, respectivamente. Escolhendo-se o interpolador de maior precisão, é possível, por meio dos seus respectivos parâmetros, realizar a interpolação em qualquer software que possua tais ferramentas de interpolação e alcançar os objetivos da análise espacial das variáveis desejadas (XAVIER et al., 2011).

O conhecimento da dinâmica espacial de fitonematoides neste estudo pode sugerir que para o manejo de *P. brachyurus*, *R. reniformis* e *H. dihystra* deve ser realizado de forma localizada nas regiões em que a população se mostrou mais agregada e de maior infestação. O controle químico deve ser considerado juntamente com uma rotação com plantas não hospedeiras ou com baixo fator de reprodução, como *Crotalaria*, milho + milho, Braquiária, e só depois plantar soja e algodão, pois ambas as culturas se mostraram muito sensíveis as espécies de *P. brachyurus*, *R. reniformis*, exceto para *H. dihystra*. que não se multiplicou na cultura do algodão.

O método da janela móvel deve ser considerado como alternativa para avaliar a distribuição espacial de nemátodos parasitas de plantas e definir planos de amostragem em programa de monitoramento, especialmente devido ao fato de as variáveis estudadas não apresentarem as pressuposições para análise geoestatística.

Estudos adicionais são necessários, especialmente aqueles que envolvem áreas infestadas com *P. brachyurus*, já que no presente estudo foi possível detectar nos mapas construídos um aumento considerável na população, migração para determinados pontos no mapa quando ambas as culturas estavam em seus estágios vegetativos e não foi possível detectar o que causou esse aumento.

## CONCLUSÕES

A distribuição espacial de *P. brachyurus*, *R. reniformis* e *Helicotylenchus* sp. em sistema de sucessão soja-algodão mostrou padrão agregado, ficando mais evidente nos estádios reprodutivos e foi alterada em função da cultura utilizada.

O sistema de sucessão soja-algodão reduziu a população de *Helicotylenchus* sp.

O método da Janela Circular Móvel de Raio Variável apresentou resultados mais satisfatórios que o Inverso do Quadrado da Distância ao predizer densidade populacional de fitonematoides em sistema de sucessão soja-algodão.

## REFERÊNCIAS

- ANJOS, A.; MAZZA, M.C.M.; SANTOS, A.C.M.C.; DELFINI, L.T. Análise do padrão de distribuição espacial da araucária (*Araucaria angustifolia*) em algumas áreas do estado do Paraná, utilizando a função K de Ripley. *Scientia Forestalis*, v.66, n.50, p. 38-45, 2004.
- ÁVILA, L.F.; MELLO, C.R. & SILVA, A.M. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14 p. 1257-1266, 2010.
- BORSSOI, J.A.; URIBE-OPAZO, M.A. & GALEA, M. Técnicas de diagnóstico de influência local na análise espacial da produtividade da soja. *Engenharia Agrícola*, v.31 p. 376-387, 2011.
- COOLEN, W. A., D'HERDE, C. J. A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue. State Agriculture Research Center – GHENT, Belgium. 1972. p.77
- CONAB. Safras – grãos safra 2016/2017 [acessado 01 de fevereiro 2018] Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/index>.
- DAVIS, R.F.; BAIRD, R.E.; MCNEILL, R.D. Efficacy of cotton root destruction and winter crops for suppression of *Hoplolaimus Columbus*. *Journal of Nematology*, v.32, n. 4s, p. 550-555, 2000.
- DIGGLE, P.J.; TAWN, J.A.; MOYEED, R.A. Model-Based geostatistics. *Applied Statistics*, v.47, n. 3, 299-350, 1998.
- DIGGLE, P.J. & RIBEIRO JR, P.J. Model-based geostatistics. New York, Springer, 2007. 230p.
- DINARDO-MIRANDA, L.L.; FRACASSO, J.V. Spatial distribution of plant-parasitic nematodes in sugarcane fields. *Scientia Agrícola*, v.66, p.188-194, 2009.
- FERNANDES et al. Distribuição espacial de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera, Noctuidae) em algodoeiro. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 8, n. 3, p. 203-211, 2002.
- FRANCHINI, J. C.1; DEBIASI, H.1; DIAS, W. P.1; RAMOS, J. E. U.1; BALBINOT J. A. A. Variabilidade espacial da população do nematoide de cisto e sua relação com a acidez do solo e a produtividade da soja de 2ª safra Agricultura de precisão: um novo olhar. 1a ed. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2011, p. 157-161.
- GUILLOT G.; ESTOUP A.; MORTIER F.; COSSON J. A. Spatial statistical model for landscape genetics. **Genetics**, v.170, n. 3 p.1261–1280, 2005. <https://doi.org/10.1534/genetics.104.033803>
- HOLGUIN, C. M.; MUELLER, J.D.; KHALILIAN, A.; AGUDELO, P. Population dynamics and spatial distribution of *Columbia lance* nematode in cotton, *Applied Soil Ecology*, v.95, n.1 ,p. 107-114, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.06.004>

INOMOTO, M. M.; MACHADO, A. C. Z.; ANTEDOMÊNICO, S. R. Reação de *Brachiaria* spp. e *Panicum maximum* a *Pratylenchus brachyurus*. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v. 32, n. 4, p. 341-344, 2007.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal – flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Report*, v. 48, 1964. p. 692.

JONES, J. T.; HAEGEMAN, A.; DANCHIN, E. G. J; GAUR, H. S.; HELDER, J.; JONES, M. G. K.; KIKUCHI, T.; MANZANILLA-LÓPEZ, R.; PALOMARES-RIUS, J. E.; WESEMAEL, W. M. L.; PERRY, R. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 14(9):946-961, 2013.

KANIESKI, M. R.; ARAUJO, A. C. B.; GRACIOLI, C. R.; SOARES, P. R. C.; CALLEGARO, R. M.; LONGHI, S. J. Padrão de distribuição da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze na Floresta Nacional de São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul. *AUGM Ambiente*, v. 47, n. 2, p. 177-185, 2009. <http://doi.org/10.5380/arf.v47i1.44585>

MANEL, S., BERTHOUD, F., BELLEMAIN, E., GAUDEUL, M., LUIKART, G., SWENSON, J.E., WAITS, L.P., TABERLET, P.; INTRABIODIV CONSORTIUM. A new individual-based spatial approach for identifying genetic discontinuities in natural populations. *Molecular Ecology*, v. 16, n. 10, 2031-2043, 2007. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03293.x>

MASETTI, A.; BUTTURINI, A.; LANZONI, A.; DE LUIGI, V.; BURGIO, G. Area-wide monitoring of potato tuberworm (*Phthorimaea operculella*) by pheromone trapping in Northern Italy: phenology, spatial distribution and relationships between catches and tuber damage. *Agricultural and Forest Entomology*, v. 17, n. 2, p.138–145, 2015. <http://dx.doi.org/10.1111/afe.12089>

MORISITA, M. I index, a measure of dispersion of individuals. *Res. Pop. Ecol.* v. 4. n. 1. 1-7. 1962. <https://doi.org/10.1007/BF02533903>

PULAKKATU-THODI, I. et al. Within-Field Spatial Distribution of Stink Bug (Hemiptera: Pentatomidae)-Induced Boll Injury in Commercial Cotton Fields of the Southeastern United States. *Environmental Entomology*, v. 43, n. 3, p. 744-752, 2014. <https://doi.org/10.1603/EN13332>

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available from: <http://www.R-project.org/>. Accessed: June 18, 2015.

RIBEIRO JUNIOR, P.J.; VIOLA, D.N.; DEMÉTRIO, C.G.B.; MANLY, B.F. & FERNANDES, O.A. Spatial pattern detection modeling of thrips (*Thrips tabaci*) on onion fields. *Sci. Agric.*, v. 66, p. 90-99, 2009.

RIJAL, J.P.; BREWSTER, C.C.; BERGH, J.C. Spatial Distribution of Grape Root Borer (Lepidoptera: Sesiidae) Infestations in Virginia Vineyards and Implications for Sampling. *Environmental Entomology*, v. 43, n. 3, p. 716-728, 2014. <https://doi.org/10.1603/EN13285>

ROSSI, J.P.; DELAVILLE, L.; QUÉNÉHERVÉ, P. Microspatial structure of a plant-parasitic nematode community in a sugarcane field in Martinique. *Applied Soil Ecology* v. 3, n. 1, p. 17-26, 1996. [https://doi.org/10.1016/0929-1393\(95\)00067-4](https://doi.org/10.1016/0929-1393(95)00067-4)

XAVIER, A. C.; CECÍLIO, R. A.; SOUZA L. J. S., Módulos em MATLAB para interpolação espacial pelo método de krigagem ordinária e do inverso da distância. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 62, n. 1, p. 0560 – 4613, 2011.