

CAROLINA DE LIMA FRANÇA

**EFEITO DA IRRIGAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE
NEMATOIDES ENDOPARASITAS EM ÁREAS DE TABULEIRO
CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR**

Recife- PE

Fevereiro, 2016

CAROLINA DE LIMA FRANÇA

**EFEITO DA IRRIGAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE
NEMATOIDES ENDOPARASITAS EM ÁREAS DE TABULEIRO
CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO:

Prof^a. Dr^a. Elvira Maria Régis Pedrosa – Orientadora

Dr^a. Mércia de Oliveira Cardoso – Co-orientadora

Dr^a. Sandra Roberta Vaz Lira Maranhão – Co-orientadora

Recife - PE

Fevereiro, 2016

Ficha catalográfica

F814e França, Carolina de Lima
Efeito da irrigação na distribuição espacial de nematoides
endoparasitas em áreas de tabuleiro cultivados com cana-de-açúcar
/ Carolina de Lima França. – 2016.
50 f. : il.

Orientadora: Elvira Maria Régis Pedrosa.

Coorientadoras: Mércia de Oliveira Cardoso, Sandra Roberta
Vaz Lira Maranhão.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola, Recife, BR-PE, 2016.

Inclui referências.

1. Manejo 2. *Meloidogyne* 3. *Pratylenchus* 4. *Saccharum*
5. Variabilidade espacial I. Pedrosa, Elvira Maria Régis, orient.
II. Cardoso, Mércia de Oliveira, coorient. III. Maranhão, Sandra
Roberta Vaz Lira, coorient. Título

CDD 631

CAROLINA DE LIMA FRANÇA

**EFEITO DA IRRIGAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE
NEMATOIDES ENDOPARASITAS EM ÁREAS DE TABULEIRO
CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação defendida e aprovada pela Banca Examinadora em: 25/02/2016

ORIENTADORA:

Prof. Dr^a. Elvira Maria Régis Pedrosa (UFRPE)

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro (UFRPE)

Prof^a. Dr^a. Lílian Margarete Paes Guimarães (DEPA-UFRPE)

Prof^a. Dr^a. Andréa Cristina Baltar Barros (Faculdade Mauricio de Nassau)

Recife- PE

Fevereiro, 2016

“Só sabemos do que somos capazes quando testamos os nossos limites”.

DEDICO

Aos meus maravilhosos pais, Antonio e Vilma.

Por todo amor, exemplo de vida e dignidade.

OFEREÇO

Aos meus amados: Carlinha, Átyla e Vó Lourdes, por
todo o amor, apoio e cuidados.

AGRADECIMENTOS

A Deus por renovar minha fé e esperança todos os dias;

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de cursar o Mestrado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos;

A professora Dra. Elvira Maria Régis Pedrosa, pela real e presente orientação, paciência, conselhos, dedicação, e, por ter acreditado e confiado em mim, e por ter me dado todo o apoio para o desenvolvimento desse trabalho;

A Dra. Mércia Soares de Oliveira Cardoso meus agradecimentos especiais por todas as orientações, paciência, amizade, atenção e dedicação;

A Dra. Sandra Roberta Vaz Lira Maranhão pelo total apoio na realização do trabalho, orientações e conselhos;

Aos colegas do Laboratório de Fitonematologia, Patrícia Ângelo, Thais Fernanda, Alain Denis, Anna Hozana, Luana Alves, Mari Lunardi, Ana Karina e Rezanio pelo apoio, conselhos e boa convivência;

A Mariana Lima e Carmem Lúcia por toda ajuda e acolhimento nos momentos difíceis desse mestrado;

A sempre atenciosa e querida Prof^a. Lílian Guimarães entusiasta da pesquisa científica;

Ao MSc. Diego Huggins por todas as orientações e conselhos em Geoestatística;

Aos amigos da Graduação e Pós-Graduação Flávia Marques, Thaís Patú, Deyvison Souza, Maíra Bento, Denize Oliveira, Diêgo Araújo, Francisco Sanguino e Eulampio Filho pelos momentos de estudos, harmoniosa convivência e incentivos;

A minha irmã Carla, por todo grandioso amor, compreensão, e, pelos incentivos durante esta batalha não me deixando desfalecer, minha filha amada;

Aos meus pais por todo amor, educação, apoio para realização desse trabalho, incentivos e por sempre apoiarem as minhas decisões;

Ao meu amado Átyla, meu grande incentivador neste mestrado, por estar sempre ao meu lado, me incentivando, apoiando, entendendo minhas ausências e me amando mesmo nos meus momentos de “solo descoberto”;

A tia Nete, pelo grande incentivo desde a Graduação, apoiando todos os meus projetos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE FIGURAS	10
RESUMO	11
ABSTRACT	12
CAPÍTULO I	13
1.Importância da cana-de-açúcar	13
2.Nematoides endoparasitos da cana-de-açúcar	14
3.Geoestatística e distribuição espacial de nematoides parasitas de planta	15
4. A irrigação e efeitos sobre a microbiota do solo	16
Referências Bibliográficas	19
CAPÍTULO II	23
Resumo	23
Summary	24
Introdução	24
Material e Métodos	31
Resultados e Discussão	31
Conclusões	46
Agradecimentos	46
Referências Bibliográficas	46

LISTA DE TABELAS

Capítulo II

Tabela 1. Caracterização física de solos de áreas cultivadas com cana-de-açúcar em Pernambuco e Paraíba.....	27
Tabela 2. Caracterização química de solos de áreas cultivadas com cana-de-açúcar em Pernambuco e Paraíba.....	28
Tabela 3. Parâmetros de semivariogramas teóricos, grau de dependência espacial (GDE) e modelos de <i>Pratylenchus</i> sp. em amostras de de tabuleiro irrigado e não irrigado.....	33
Tabela 4. Parâmetros de semivariogramas teóricos, grau de dependência espacial (GDE) e modelos de <i>Meloidogyne</i> sp. (M) e <i>Pratylenchus</i> sp. (P) em amostras de raízes de cana-de-açúcar em tabuleiro irrigado e não irrigado.....	34
Tabela 5. Resumo descritivo do <i>Pratylenchus</i> sp. em solo de tabuleiro irrigado e não irrigado.....	41
Tabela 6. Resumo descritivo do <i>Pratylenchus</i> sp. em raízes de cana-de-açúcar e, tabuleiro irrigado e não irrigado.....	41
Tabela 7. Resumo descritivo do <i>Meloidogyne</i> sp. em raízes de cana-de-açúcar em tabuleiro irrigado e não irrigado.....	42

LISTA DE FIGURAS

Capítulo II

Figura 1. Precipitação mensal e acumulada referente aos períodos de coletas.....	27
Figura 2. Malha de amostragem para coletas de solos e raízes.....	28
Figura 3. Semivariogramas experimentais e modelos ajustados para populações de <i>Pratylenchus spp.</i> em amostras de solos em tabuleiro não irrigado antes do plantio e aos 4, 9 e 14 meses após o plantio da cana-de-açúcar.....	35
Figura 4. Semivariogramas experimentais e modelos ajustados para populações de <i>Pratylenchus spp.</i> em amostras de solos em tabuleiro irrigado antes do plantio e aos 4, 9 e 14 meses após o plantio da cana-de-açúcar.....	36
Figura 5. Semivariogramas experimentais e modelos ajustados para populações de <i>Pratylenchus spp.</i> em amostras de raízes em tabuleiro não irrigado antes do plantio e aos 4, 9 e 14 meses após o plantio da cana-de-açúcar.....	37
Figura 6. Semivariogramas experimentais e modelos ajustados para populações de <i>Pratylenchus spp.</i> em amostras de raízes em tabuleiro irrigado antes do plantio e aos 4, 9 e 14 meses após o plantio da cana-de-açúcar.....	38
Figura 7. Semivariogramas experimentais e modelos ajustados para populações de <i>Meloidogyne spp.</i> em amostras de raízes em tabuleiro irrigado antes do plantio e aos 4, 9 e 14 meses após o plantio da cana-de-açúcar.....	39
Figura 8. Semivariogramas experimentais e modelos ajustados para populações de <i>Meloidogyne spp.</i> em amostras de raízes em tabuleiro não irrigado antes do plantio, e aos 4, 9 e 14 meses após o plantio da cana-de-açúcar.....	40
Figura 9. Mapas de isolinhas da variabilidade espacial de <i>Pratylenchus sp.</i> em solo e raiz de cana-de-açúcar e <i>Meloidogyne sp.</i> em raiz de cana-de-açúcar em tabuleiro irrigado.....	44
Figura 10. Mapas de isolinhas da variabilidade espacial de <i>Pratylenchus sp.</i> em solo e raiz de cana-de-açúcar e <i>Meloidogyne sp.</i> em raiz de cana-de-açúcar em tabuleiro não irrigado.....	45

RESUMO

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas no Nordeste e os nematoides parasitos de plantas uma das principais ameaças para a produtividade da cultura na região. As perdas são maiores quando associadas às altas temperaturas, irregularidade de chuvas e solos arenosos dos tabuleiros costeiros. Considerando que a distribuição espacial de nematoides no solo está associada a disponibilidade de água, estrutura e manejo do solo, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da irrigação na distribuição espacial de *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus* spp. em tabuleiros cultivados com cana-de-açúcar. Os experimentos foram conduzidos em duas áreas, irrigada e não irrigada, e as amostras de solo e raiz foram coletadas antes do plantio e 4, 9 e 14 meses após, em malha de 12,5 × 12,5 m, com 36 pontos por área, na profundidade de 0-25 cm. Estatística descritiva e geoestatística foram utilizadas para caracterização da dependência espacial dos nematoides e elaboração de mapas de krigagem. Com base na semivariância ocorreu ajuste com modelo esférico para a maioria dos dados. Em geral, o grau de dependência espacial foi forte e observado alcances acima de 3 m para os nematoides que apresentaram dependência espacial. A irrigação da cana-de-açúcar em área de tabuleiro favoreceu uma distribuição mais uniforme de *Pratylenchus* sp. no solo, ao contrário da área não irrigada, que mostrou tendência a manter a população do nematoide mais agregada na área.

Palavras-chaves: Manejo, *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Saccharum*, variabilidade espacial

ABSTRACT

Sugarcane is one of the most important crop in Northeastern Brazil and the plant-parasitic nematodes, one of the most important threat for the crop productivity. The high temperature in the dray sand soils of the costal tables cultivated with sugarcane has increased the losses. Considering that the nematode spatial distribution in soil is associated to the soil water content, structure and management, this study aimed to evaluate the effect of irrigation on spatial distribution of *Meloidogyne* spp. and *Pratylenchus* spp., the main plant-parasitic nematodes, in a costal table cultivated with sugarcane. Experiments were carried out in two areas, irrigated and non irrigated, and soil samples were collected before planting and at 4, 9 and 14 months after, on a 12.5 × 12.5-m grid, with 36 points per area, at 0-25 cm depth. Descriptive statistics and geostatistics were used to characterize the nematode spatial dependence and prepare kriging maps. Based on semi variance, most data fitted to spherical model. In general, spatial dependence was high and weak, with ranges higher than 3 m. Sugarcane irrigation on the table area drove to a more uniform distribution of *Pratylenchus* sp. in soil, in contrast to the non irrigated area, in which the nematode population presented more aggregated.

Keywords: Management, *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Saccharum*, spatial variability

CAPÍTULO I

REVISÃO DE LITERATURA

1. Importância da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) vêm sendo cultivada desde a época da colonização, constituindo-se em um dos principais produtos agrícolas. A cultura foi introduzida pelos portugueses, e, em pouco tempo, esta cultura foi uma das principais fontes de renda de Portugal. Por esta razão, foi estimulada também a plantação na América Central pelos franceses, ingleses e espanhóis. (CAVALCANTE; 2011)

A cana-de-açúcar é uma gramínea que evoluiu em condições de temperaturas elevadas, é uma planta adaptada em ambientes de clima tropical (MOORE; BOTHA, 2013). Importante fonte de alimento e de bioenergia, a cana-de-açúcar é um componente significativo da economia de muitos países.

No Brasil, a cultura da cana-de-açúcar é uma das mais importantes, tanto pela área ocupada, como do ponto de vista econômico, ambiental e social (CONAB, 2015). A importância desta cultura está relacionada à fabricação de açúcar e, usada como matéria-prima para a produção do biocombustível. O alto valor energético pode ainda ser aumentado se o bagaço e a palha forem usados adequadamente como fonte de calor ou na alimentação animal. Do ponto de vista ambiental, a importância está fundamentada na alta eficiência na captação de energia solar e com isto de CO₂ do ar, quando comparado com qualquer outra cultura. Do ponto de vista social, a cana-de-açúcar é reconhecida como uma das de maior ocupação de mão de obra (CONAB, 2015).

De acordo com o levantamento sistemático da produção agrícola (IBGE, 2016) a safra colhida em 2015 foi 10 285 975 ha e a safra a ser colhida em 2016 será 9 707 106 ha com uma variação de - 5,6%. A produção obtida em 2015 foi 754 948 455 t e a esperada para 2016 serão 721 389 234 t. O rendimento médio obtido em 2015 foi 73 396 kg/ha e o esperado para safra 2016 será 74 315 kg/ha. Na região Norte/Nordeste a cultura da cana-de-açúcar na safra 2015/2016 foi impactada novamente pela restrição hídrica (CONAB, 2015).

O valor econômico é fundamentado principalmente em três atributos: produtividade alta utiliza eficazmente insumos agrícolas (água, fertilizantes, pesticidas, mão de obra) e pode ser processada localmente em produtos de valor adicionado, a exemplo do melão, e passíveis de armazenamento e transporte.

2. Nematoides endoparasitas da cana-de-açúcar

Os nematoides de lesões radiculares, *Pratylenchus* spp., e os nematoides das galhas, *Meloidogyne* spp., são os principais nematoides parasitas da cana-de-açúcar.

Os nematoides das galhas são endoparasitas sedentários que causam galhas nas raízes e provocam redução na eficiência de translocação de água e nutrientes na planta. A infecção inicial é causada por juvenis de segundo estágio (J2), que entram em raízes e iniciam uma relação de alimentação especializada com a planta. A alimentação do parasito provoca um dreno contínuo de grande quantidade de solutos, aumentando a atividade metabólica nos tecidos radiculares próximos à estrutura de alimentação, conhecidas como células gigantes (HUSSEY; GRUNDLER, 1998).

Meloidogyne spp. parasitam mais de 2.000 espécies de plantas, incluindo praticamente todas as plantas cultivadas e várias ervas daninhas. A duração do ciclo, que pode variar de três semanas a vários meses, é função de uma série de fatores, destacando-se a temperatura e hospedabilidade da planta. Para *M. incognita*, *M. javanica* e *M. arenaria*, em plantas susceptíveis, o ciclo completa-se, em média, em 25 dias a 28°C (MOURA, 1996). Esse gênero encontra-se distribuído em todo o mundo e normalmente têm uma vasta gama de plantas hospedeiras. No Brasil é considerado o primeiro gênero em importância econômica.

Pratylenchus spp. são parasitas obrigatórios de órgãos vegetais subterrâneos (principalmente de raízes, mas também de tubérculos, túberas e rizomas), migradores de corpo fusiforme e tamanho microscópico, raramente excedendo a 0,9 mm de comprimento. Os endoparasitas migratórios destroem os tecidos do sistema radicular, causando rachaduras e apodrecimento interno na superfície de tubérculos e predispondo os tecidos parasitados a infecções secundárias por fungos e bactérias (CASTILLO; VOVLAS, 2007).

O ciclo de vida é rápido, ocorrendo várias gerações em uma única safra da cultura hospedeira. (GOULART, 2008). A distribuição geográfica das espécies de *Pratylenchus*

é dependente de plantas hospedeiras e fatores abióticos (principalmente temperatura). Este gênero encontra-se distribuído em todo o mundo à medida que ocorre em todos os continentes, incluindo a Antártica, onde *P. andinus* foi registrado recentemente (RYSS et al., 2005), sendo introduzido em novas áreas geralmente por material vegetal infectado. No Brasil é considerado o segundo gênero em importância econômica.

3. Geoestatística e distribuição espacial de nematoides parasitas de planta

A Geoestatística surgiu na África do Sul quando Krige (1951) trabalhando com dados referentes à concentração de ouro, não conseguia encontrar sentido nas variâncias calculadas se não levasse em conta também a distância entre as amostras (VIEIRA, 2000). A Geoestatística consiste na aplicação de teorias das variáveis regionalizadas para efetuar estimativas dentro de um contexto regido, por um fenômeno natural com distribuição no espaço ou no tempo, e, desse modo, supõe que os valores das variáveis são correlacionados no espaço ou no tempo. Devido a essa característica, a geoestatística tem grande aplicação, principalmente para efetuar estimativas ou simulações de variáveis em locais não amostrados (LANDIM, 1998).

A Geoestatística é a ferramenta mais adequada para os estudos das populações de Nematoides, uma vez que quantifica a espacial dependência entre as amostras coletadas em campo para ser quantificado e utilizado para construção dos mapas (LEIBHOLD et al., 1993; ROBERTS et al., 1993; ELLSBEURY et al., 1998).

A quantificação da variabilidade de alguns atributos e fenômenos que ocorrem no solo apresentam dificuldades na quantidade de amostras, muitas vezes julgada impraticável, sendo necessária a utilização de técnicas que reduzam as amostragens (HILTBRUNNER et al., 2012). O mesmo ocorre com a análise da distribuição da nematofauna e dos seus efeitos sobre a produtividade das culturas (ARIEIRA, 2012).

As distribuições dos nematoides nos campos mostram-se geralmente agrupadas (FERRIS; WILSON, 1987; BEEN; SCHOMAKER, 2006) e este arranjo espacial de populações de nematoides no campo é definido por dois componentes: a distribuição vertical e horizontal destes organismos no solo (BEEN; SCHOMAKER, 2006; MARANHÃO, 2008). A agregação de nematoides é considerada como uma consequência de uma estratégia de reprodução e mecanismos de dispersão (GUZMAN-PLAZOLA et al., 2006), e este tipo agregado implica em dependência espacial dos dados, por

consequente, a estatística convencional se mostra geralmente inadequada para descrevê-los quando estes estão espacialmente correlacionados (WALLACE; HAWKINS, 1994).

A dependência espacial é analisada segundo Isaaks; Srivastava (1989) pela seguinte equação:

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

onde:

$\gamma(h)$ - é o valor do semivariância para a distância h ;

$Z(x_i)$ - é o valor amostrado na posição x_i ;

$Z(x_i+h)$ - representa o valor da mesma variável para alguma distância h (ou “lag”), em qualquer direção

h - é a distância entre medições.

N - número de pares de valores analisados;

4. A irrigação e efeitos sobre a Microbiota do Solo

A irrigação traz vários benefícios às culturas, segundo Matioli et al., 1996 os benefícios diretos da irrigação como o aumento da produtividade agrícola e maior longevidade das soqueiras, e, como benefícios indiretos, aqueles relacionados à redução de custos com arrendamento, preparo de solo e plantio, tratos culturais e transporte.

Silva et al., 2005 estudando os efeitos da irrigação sobre as propriedades físicas do solo, cita que o solo apresenta o maior grau de dispersão de argila, possibilitado pelos efeitos do íon Na^+ da água de irrigação. Nos latossolos e argissolos estudados por (SANTOS; RIBEIRO, 2000) a irrigação promoveu o aumento da densidade do solo, redução da macroporosidade, porosidade total e condutividade hidráulica subsuperficial, constituindo problemas para a irrigação nas áreas estudadas.

Em áreas irrigadas é importante a avaliação das estruturas dos solos, pois, tem influências nas propriedades do solo como a retenção de água, aeração e resistência mecânica (MICHELON, 2005). Nunes, 2003 estudando os efeitos da irrigação com águas de poços concluiu que o uso de lâminas de irrigação provocam alterações equivalentes a uma calagem em doses elevadas, causando forte elevação dos valores médios de pH, além dos teores de Ca^{2+} e Na^+ dos solos.

O excesso de sais presentes nas águas de irrigação é um dos problemas presentes nas degradações dos solos, independe do sistema utilizado e aplicado. A irrigação transporta sais aos solos, a salinização e a sodificação ocasionam enfraquecimento físico do solo provocado pela dispersão das argilas, como aumento da resistência à aeração, limitação da infiltração e complicações no manejo (SILVA et al., 2005; LEITE et al., 2007).

Estudando as alterações nos atributos físicos e químicos de dois solos submetidos à irrigação com água salina, Freitas et al. (2007) concluíram que os diferentes solos responderam de forma similar ao aumento da salinidade da água de irrigação, com aumento nos teores de sódio, na razão de adsorção de sódio e na percentagem de sódio trocável e efeito significativo apenas para a condutividade hidráulica saturada.

As variações da fauna do solo estão diretamente ligadas ao regime hídrico, clima da região, estrutura e manejo do solo, teor e qualidade de resíduos vegetais (DORAN et al., 1996; ROGERS; TATE III, 2001; TIEDJE et al., 2001). O uso da irrigação favorece a população de nematoides, por propiciar condições constantes de umidade do solo (BRIDGE, 1987). Trabalhos têm demonstrado que os diferentes níveis de irrigação, utilizando diferentes níveis de água afetam o fator de reprodução do *Meloidogyne*, em diferentes culturas, bem como a reação de resistência das plantas aos nematoides (CHAVES et al., 2003; CHARCHAR et al., 2005).

Sabe-se que a dinâmica da população da macrofauna do solo é influenciada por parâmetros ecológicos e edafoclimáticos do local de estudo. Tessaro (2009) avaliou os efeitos da água residuária sobre as populações do solo, concluindo que a aplicação de dejetos pode afetar negativamente a fauna edáfica.

Estudando os efeitos de diferentes lâminas de irrigação sobre as comunidades de nematoides, Jesus; Filho; Ritzinger (2010) concluíram que a lâmina de irrigação favorece o aumento das populações dos nematoides *Rotylenchulus* sp., *Helicotylenchus* sp. em solo cultivado com bananeira Grande naine, maior frequência e abundância de indivíduos encontrados foi do gênero *Rotylenchulus*. Os autores concluíram que o monitoramento é fundamental para acompanhar o desenvolvimento do bananal, sob a presença de fitonematoides, principalmente, em plantios irrigados.

Choudhury; Choudhury (1992) verificaram que o manejo inadequado de irrigação, com relação à aplicação excessiva de água, mantém os macroporos com água próxima de saturação do solo, aumentando o fluxo de água, e, conseqüentemente a movimentação de

fitonematoides entre raízes e entre áreas vizinhas. A abundância e diversidade dos nematoides mudam conforme as mudanças ambientais ocorridas, trazendo entraves a sua longevidade e sobrevivência, e, estas modificações físicas, químicas e biológicas, como a irrigação, práticas de cultivo e drenagem e utilização de pesticidas podem resultar na diminuição de nematoides já existentes ou na introdução ou desenvolvimento rápido de outra espécie nativa ou introduzida a níveis altos (YEATES, 1999; RITZINGER et al., 2010).

Dinardo-Miranda et al. (1997) em estudos da dinâmica populacional de nematoides, observaram que a presença de água no solo oriunda da irrigação é essencial à sobrevivência e movimentação dos nematoides, além do mais este fator afeta indiretamente as populações de nematoides por atuar sobre o crescimento das raízes, que lhes servem de fonte de alimentação.

Nos solos argilosos há dificuldade na movimentação dos nematoides, enquanto que os arenosos por serem mais drenados provocam grandes oscilações no teor de umidade. Solos secos e saturados de água são desfavoráveis à sobrevivência dos nematoides, esses deslocamentos ocorrem entre as partículas e no filme de água, os tamanhos dos poros vão permitir esta movimentação (TIHOHOD, 1997).

Com base no exposto o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da irrigação na distribuição espacial de *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus* spp. em tabuleiros cultivados com cana-de-açúcar utilizando ferramentas geoestatísticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIEIRA, G. de O. **Diversidade de nematoides em sistemas de culturas e manejo do solo**. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.
- BEEN, T. H.; SCHOMAKER, C. H. **Distribution patterns and sampling**. In: PERRY, R. N.; MOENS, M. (Eds.). *Plant Nematology*. Wallingford: CAB International, 2006. P. 302-326.
- BRIDGE, J. Control strategies in subsistence agriculture. In: BROW, R.H; KERRY, R.B. **Principles and practice of nematode control in crops**. Sidney: Academic Press, 1987. p.389- 418.
- CASTILLO, P.; VOVLAS, N. *Nematology Monographs and Perspectives* 6, *Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): diagnosis, biology, pathogenicity and management. **Leiden: Brill**, 2007. 530p.
- CAVALCANTE, M.S. **A verdadeira história da cachaça**. São Paulo: Sá Editora, 2011 608 p.
- CHARCHAR, J. M.; MAROUELLI, W. A.; GIORDANO, L.B.; ARAGÃO, F. A. S. **Reprodução de *Meloidogyne incognita* raça 1 e produtividade de cultivares de ervilha sob diferentes lâminas de água**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, vol.40, n.10, p.989-995. 2005.
- CHAVES, A. M.; CARRIJO, O. A.; TENENTE, R. C. V.; SILVA NETO, S. P. **Efeito de diferentes níveis de irrigação no desenvolvimento e na reação de clones de bananeira (*Musa spp.*) infectados com *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1949**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE BANANICULTURA. WORKSHOP DO GENOMA MUSA, 5., 2003, Paracatu-MG. Anais... Cruz das Almas-BA: Gráfica e Editora Nova Civilização, 2003. p.187-188.
- CHOUDHURY, M. M.; CHOUDHURY, E. N. **Ocorrência de nematoides das galhas em aceroleira irrigada no Submédio São Francisco**. Comunicado técnico ISSN 0100-6061 N° 50, Nov 92, p. 1-2.
- CONAB, 2015. **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, dezembro 2015/2016** – Companhia Nacional de Abastecimento. Conab, Brasília. “Disponível em: <http://www.conab.gov.br> Acesso em: 10 jan. 2016.”
- DINARDO-MIRANDA, L.L.; SPIRONELLO, A.; MARTINS, A.L.M. Dinâmica populacional de fitoparasitos em cultura de abacaxi. **Nematologia Brasileira** vol. 21(1), 1997.
- DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. **Soil health and sustainability**. *Advances in Agronomy*, v. 56, p. 2-54, 1996.

ELLSBEURY, M. M.; WOODSON, W. D.; CLAY, S. A. ; MALO, D.; SCHUMACHER, J.; CLAY, D. E.; CARLSON, C. G. Geoestatal characterization of special distribution of adult corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) emergence. **Environmental Entomology**, Salt Lake City, v. 27 , n .4, p. 910-917, 1998.

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

FREITAS, E.V.S.; FERNANDES, J.G.; CAMPOS, M.C.C.; SANTOS FREIRE, M.B.G dos. **Alterações nos atributos físicos e químicos de dois solos submetidos à irrigação com água salina**. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, Paraíba, v.7, n.1, p.21-28, 2007

GOULART. A. M. C. **Aspectos gerais sobre nematoides-das-lesões radiculares (gênero *Pratylenchus*)**. Planaltina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2008. 29p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 219).

GUZMAN-PLAZOLA, R. A.; DE RIOS JARABA NAVAS, J.; CASWELL-CHEN, E.; ZAVALETA-MEJIA, E.; DEL PRADO-VIEIRA, I. C. **Spatial distribution of *Meloidogyne* species and races in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) producing region of Morelos, Mexico**. **Nematropica** , Bradenton , v. 36, n. 2, p. 215-229, 2006.

HILTBRUNNER, D.; SHULZE, S.; HAGEDORN, F.; SCHMIDT, W. I.; ZIMMERMANN, S. Cattle trampling alters soil properties and changes soil microbial communities in a Swiss sub-alpine pasture. **Geoderma**, Amsterdam, v. 170, n. 15, p. 369–377, 2012.

HUSSEY, R.S. & GRUNDLER, F.M.W. Nematode parasitism of plants. In: Perry, R.N. & Wright, D.J. (Ed.) *The Physiology and Biochemistry of Free-Living and Plant Parasitic Nematodes*. England. **C.A.B. International**. p. 213-243, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA –IBGE:
Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, Janeiro 2016. “Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201601_1.shtm> Acesso em 20 Janeiro de 2016.”

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, M. **An introduction to applied geostatistics**. Oxford New York: University Press, 1989. 600 p.

JESUS, F. N. de; COELHO FILHO, M. A.; RITZINGER, C. H. S. P **Efeito de diferentes lâminas de irrigação em bananeira Grande Naine sobre a comunidade de nematoides**. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 21., 2010 Natal. Frutas:Saúde,

inovação e responsabilidade: anais. Natal:Sociedade Brasileira de Fruticultura , 2010 pdf 1936.

KRIGE, D.G. **A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand.** J. Chem. Metall. Min. Soc. S. Afri., Johannesburg, n.52, p.119-139, 1951.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos.** São Paulo: UNESP, 1998. 226 p.

LEITE, E. M.; CAVALCANTE, L. F.; DINIZ, A. A.; SANTOS, R. V.; ALVES, G. S.; CAVALCANTE, I. H. L. Correção da sodicidade de dois solos irrigados em resposta à aplicação de gesso agrícola. **Irriga**, v.12, p.168-176, 2007.

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

MARANHÃO, S. R. V. L., **Comunidade, dinâmica populacional e variabilidade espacial de nematóides em área de cultivo da cana-de-açúcar sob diferentes condições edafoclimáticas.** 2008, 126 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

MATIOLI, C.S. et al. **Análise de decisão sobre a viabilidade da irrigação suplementar de cana-de-açúcar colhida no mês de julho na região de Ribeirão Preto-SP.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25 e CONGRESO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRÍCOLA, 2. 1996, Bauru. Anais... Bauru, 1996.

MICHELON, C. J. **Qualidade física de solos irrigados do Rio Grande do Sul e do Brasil Central.** 2005. 92p. (Dissertação)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

MOORE, P. H., & BOTHA, F. C. (Eds.). (2013). *Sugarcane: Physiology, Biochemistry and Functional Biology.* **John Wiley & Sons.**

MOURA, R.M. O gênero *Meloidogyne* e a meloidoginose. Parte I. Revisão Anual de Patologia de Plantas 4: 209-244. 1996

NUNES, W. A. G. A; **Efeitos da irrigação com água de poços tubulares e do Rio Gorutuba sobre propriedades de solos da região de Janaúba-MG** 167 f. Tese– Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

RITZINGER, C. H. S. P; FANCELLI, M.; RITZINGER, R. **Nematoides: Bioindicadores de sustentabilidade e mudanças edafoclimáticas.** Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 32, n. 4, p. 1289-1296, Dezembro 2010.

RYSS, A.; VIEIRA, P.; MOTA, M.; KULINICH, O. **A synopsis of the genus Bursaphelenchus Fuchs, 1937 (Aphelenchida: Parasitaphelenchidae) with keys to species.** Nematology, 2005, V.7, n.3, p. 393-458.

ROGERS, B. F.; TATE III, R. L. Temporal analysis of the soil microbial community along a toposequence in Pineland soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, n. 10, p. 1389-1401, 2001.

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

SANTOS, E. E. F.; RIBEIRO, M. R. Influência da irrigação e do cultivo nas propriedades de um Latossolo e Argissolo na região do Submédio São Francisco: atributos morfológicos e físicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.875-884, 2000.

SILVA, E. F.; ASSIS JUNIOR, R. N.; SOUSA, J. I. G. **efeito da qualidade da água de irrigação sobre atributos hídricos de um Neossolo**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.29, p.389-396. 2005.

TESSARO, D. **Efeito da aplicação de efluente do tratamento secundário de água residuária da suinocultura na meso e macrofauna de solo cultivado com minimilho**. 2009. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2009.

TIHOHOD, D. 1997. **Guia prático para a identificação de fitonematoides**. Jaboticabal. FCAV, 246p.

TIEDJE, J. M.; CHO, J. C.; MURRAY, A.; TREVES, D.; XIA, B.; AHOU, J. **Soil teeming with life: new frontiers for soil science**. In: REES, R. M.; BALL, B. C.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p.1-54.

WALLACE, M. K.; HAWKINS, D. M. Applications of Geostatistics in Plant Nematology. **Journal of Nematology, Lawrence**, v. 26, p. 626-634, 1994.

YEATES, G. W. Effects of plants on nematode community structure. **Annual Review Phytopathology, Palo Alto**, v. 37, p. 127-149, 1999

CAPÍTULO II

EFEITO DA IRRIGAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE NEMATOIDES ENDOPARASITAS EM ÁREAS DE TABULEIRO CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR

C. L. França¹, E. M. R. Pedrosa^{1*}, S. R. V. L. Maranhão², M. S. O. Cardoso¹, D. A. H. S. Leitão¹, M. M. Rolim¹,

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Brasil.

²Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Brasil.

*Autor para correspondência: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola, Dois Irmãos, Recife, PE, CEP: 52171-900, Brazil; Fone: 55 81 33206212; Email: elvira.pedrosa@ufrpe.br

RESUMO

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas no Nordeste e os nematoides parasitos de plantas uma das principais ameaças para a produtividade da cultura na região. As perdas são maiores quando associadas às altas temperaturas, irregularidade de chuvas e solos arenosos dos tabuleiros costeiros. Considerando que a distribuição espacial de nematoides no solo está associada a disponibilidade de água, estrutura e manejo do solo, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da irrigação na distribuição espacial de *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus* spp. em tabuleiros cultivados com cana-de-açúcar. Os experimentos foram conduzidos em duas áreas, irrigada e não irrigada, e as amostras de solo e raiz foram coletadas antes do plantio e 4, 9 e 14 meses após, em malha de 12,5 × 12,5 m, com 36 pontos por área, na profundidade de 0-25 cm. Estatística descritiva e geoestatística foram utilizadas para caracterização da dependência espacial dos nematoides e elaboração de mapas de krigagem. Com base na semivariância ocorreu ajuste com modelo esférico para a maioria dos dados. Em geral, o grau de dependência espacial foi forte e observado alcances acima de 3 m para os nematoides que apresentaram dependência espacial. A irrigação da cana-de-açúcar em área de tabuleiro favoreceu uma

distribuição mais uniforme de *Pratylenchus* sp. no solo, ao contrário da área não irrigada, que mostrou tendência a manter a população do nematoide mais agregada na área.

Palavras-chaves: Manejo, *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Saccharum*, variabilidade espacial

SUMMARY

Effect of irrigation on table area on spatial distribution of sugarcane endoparasitic nematodes

Sugarcane is one of the most important crop in Northeastern Brazil and the plant-parasitic nematodes, one of the most important threat for the crop productivity. The high temperature in the dry sand soils of the costal tables cultivated with sugarcane has increased the losses. Considering that the nematode spatial distribution in soil is associated to the soil water content, structure and management, this study aimed to evaluate the effect of irrigation on spatial distribution of *Meloidogyne* spp. and *Pratylenchus* spp., the main plant-parasitic nematodes, in a costal table cultivated with sugarcane. Experiments were carried out in two areas, irrigated and non irrigated, and soil samples were collected before planting and at 4, 9 and 14 months after, on a 12.5 × 12.5-m grid, with 36 points per area, at 0-25 cm depth. Descriptive statistics and geostatistics were used to characterize the nematode spatial dependence and prepare kriging maps. Based on semi variance, most data fitted to spherical model. In general, spatial dependence was high and weak, with ranges higher than 3 m. Sugarcane irrigation on the table area drove to a more uniform distribution of *Pratylenchus* sp. in soil, in contrast to the non irrigated area in which the nematode population presented more aggregated.

Keywords: Management, *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Saccharum*, spatial variability

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é cultivada em aproximadamente 80 países. No Brasil, a produção de cana-de-açúcar para a safra 2015/16 está estimada em 658,7 milhões de toneladas. A produção de açúcar deve atingir 34,6 milhões de toneladas, 2,7% inferior à safra 2014/15 e a produção de etanol total deve ultrapassar 29 bilhões de litros,

com aumento de 1,9%. No Nordeste, além do declínio na área destinada à produção de açúcar e etanol, a estimativa é de queda de produtividade, principalmente em Alagoas e Pernambuco, maiores produtores da região, como reflexo do déficit hídrico e manejo inadequado das lavouras dos fornecedores (CONAB, 2016).

O potencial de viabilização da tecnologia da irrigação é promissor na cultura da cana-de-açúcar. Inman-Bamber (2004), Dalri et al. (2008) e Andrade Júnior et al. (2012) verificaram que a utilização da irrigação na cana-de-açúcar resultou em maior crescimento da planta, densidade de colmo, índice de área foliar, além de acréscimo na produtividade agrícola e rendimento de açúcar o que, economicamente, viabiliza o uso da irrigação na cana-de-açúcar (SANTOS; FRIZZONE, 2006).

Por outro lado, o fato da cultura canavieira ter assumido um papel tão importante na matriz energética nacional e internacional, devido ao aumento da demanda mundial por energia renovável e menos poluente que o petróleo, estendeu a área de cultivo para os tabuleiros costeiros no Nordeste, em particular, em Pernambuco. A expansão do cultivo para essas áreas, onde predominam solos arenosos, reduziu a produtividade e favoreceu o acúmulo de problemas sanitários, especialmente devido a ocorrência e parasitismo de algumas espécies de fitonematoides muito prejudiciais à cultura (MOURA et al., 1999).

Nessas condições e na maioria das condições brasileiras onde é cultivada a cana-de-açúcar, três espécies de nematoides são economicamente importantes em função dos danos que causam à cultura: os endoparasitos sedentários *Meloidogyne javanica* e *M. incognita* e o endoparasito migrador *Pratylenchus zaeae*. Altas populações de pelo menos uma dessas espécies são encontradas em muitos canaviais pouco desenvolvidos (DINARDO-MIRANDA et al., 1995).

As distribuições dos nematoides nos campos mostram-se geralmente agrupadas (BEEN; SCHOMAKER, 2006) em consequência da estratégia de reprodução e mecanismos de dispersão do parasito (GUZMAN-PLAZOLA et al., 2006). Este tipo de arranjo espacial implica em dependência espacial dos dados, o que torna a estatística convencional geralmente inadequada para descrevê-lo quando estes estão espacialmente correlacionados (WALLACE; HAWKINS, 1994).

Com a geoestatística, é possível caracterizar a estrutura da dependência espacial entre os parâmetros que definem a distribuição espacial dos nematoides no solo. Uma vez detectada a dependência espacial entre as observações, o processo de “krigagem” permite

estimar valores em locais não amostrados (VIEIRA 2000). Pelo mapeamento há a possibilidade de visualização espacial das reboleiras nas áreas infestadas, e, por essa razão, mostra-se como uma ferramenta importante de auxílio no manejo de populações desses patógenos (PINHEIRO et al. 2008).

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da irrigação na distribuição espacial de *Meloidogyne* sp .nas amostras de raízes e *Pratylenchus* sp. nas amostras de raízes e solos, em tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar, utilizando ferramentas geoestatísticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de estudo

Os estudos foram realizados nas Usinas Santa Tereza (7°33'38" S e 35°00'09" W), em área de tabuleiro não irrigado cultivado com a variedade SP71-6949, e Usina Cruangi II (7°33'29,9" S e 35°16'29,6"W), em área de tabuleiro irrigado cultivado com a variedade RB863129, ambas localizadas em Goiana, na Mesorregião da Mata Norte do estado de Pernambuco.

O clima da região, de acordo com a classificação climática de (KÖPPEN, 1948) é do tipo Tropical Chuvoso tipo As' ou "pseudotropical", que se caracteriza por ser quente e úmido com chuvas que se concentram entre os meses de março a agosto. O regime pluviométrico mensal e acumulado obtido através da estação meteorológica próxima às áreas de estudo encontra-se na Figura 1. As temperaturas médias anuais variam em torno de 24°C, com amplitude térmica anual fraca de 3°C e isoietas de 1932,3 a 975,6 mm anuais. O solo foi caracterizado como de textura arenosa. A composição textural encontra-se na Tabela 1, enquanto que a Tabela 2 apresenta a caracterização química do solo.

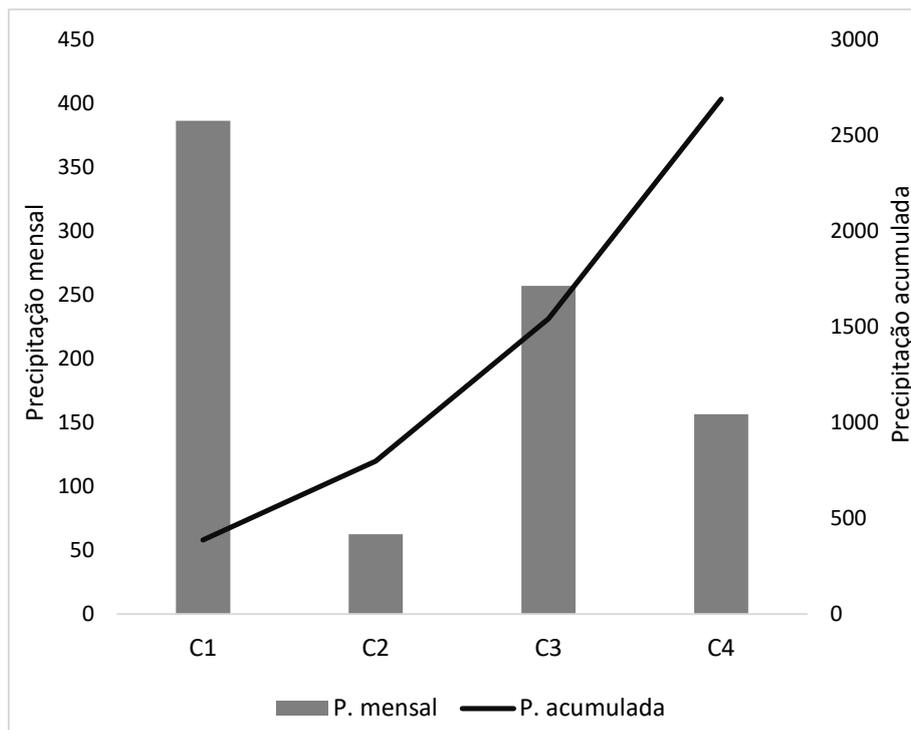


Figura 1. Precipitação mensal e acumulada referente aos períodos de coletas. C1-Coleta antes do plantio; C2-Coleta realizada aos 4 meses após o plantio; C3- Coleta realizada aos 9 meses após o plantio e C4-Coleta realizada após os 14 meses de plantio.

Tabela 1. Caracterização física dos solos de tabuleiro irrigado e não irrigado das áreas de estudo

Área	Composição Granulométrica (%)					¹ GF (%)	Densidade (g/cm ³)	² P (%)	Umidade (%)	³ CH (cm/h)	
	Areia	Argila	Silte	Silte/Argila	Argila/Nat						Classif. Textural
Tabuleiro não irrigado	93,90	4,10	2,00	0,49	1,60	Areia	60,97	1,56	41,57	1,77	217,85
Tabuleiro irrigado	89,40	6,60	4,00	0,61	2,60	Areia	60,61	1,48	43,08	2,30	30,24

¹Grau de flocculação; ²P – Porosidade; ⁴CH – Condutividade Hidráulica

Tabela 2. Caracterização química dos solos de tabuleiro irrigado e não irrigado das áreas de estudo

Áreas	1pH	2P	3Na+	4K+	5Ca+2 + Mg+2	6Ca+2	7Al+3	8H + Al	9C.O.	10M. O.
	(água 1:2,5)	(mg/dm ³)	_____ (cmol0/ dm ³)_____			_____		(cmol0/ dm ³)	_____ g/kg _____	
Tabuleiro não irrigado	6,1	52	0,02	0,07	4,00	2,50	0,10	2,58	5,39	9,28
Tabuleiro irrigado	6,4	22	0,04	0,12	3,40	2,20	0,10	2,93	7,02	12,11

¹ Potencial hidrômetro; ²P – Fósforo; ³Na⁺ – Sódio; ⁴K⁺ – Potássio; ⁵Ca⁺² + Mg⁺² – Cálcio + Magnésio; ⁶Ca⁺² – Cálcio; ⁷Al⁺³ – Alumínio; ⁸H + AL – Hidróxido + Alumínio; ⁹C.O. – Carbono Orgânico; ¹⁰M.O. – Matéria Orgânica

Coleta das amostras

As densidades populacionais dos fitonematoides foram determinadas um mês antes do plantio da cana-de-açúcar, por ocasião da renovação, e aos 4, 9 e 14 meses após o plantio. As amostras de solo foram coletadas em pontos alternados em linhas de cultivo da cana-de-açúcar, formando uma malha quadrangular de 5.625 m² (75 × 75 m) com 36 pontos, com distância entre pontos de 12,5 × 12,5 m, por área (Figura 2). Para a coleta utilizou-se um enxadeco, retirando-se aproximadamente 1 kg de solo e raiz a 25 cm profundidade. No total foram coletadas 144 amostras de solo e 144 amostras de raiz por área. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em duplos sacos plásticos, etiquetadas e encaminhadas ao Laboratório de Fitonematologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

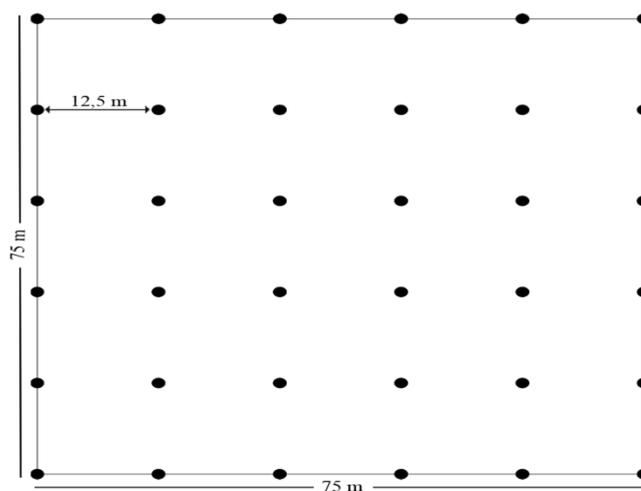


Figura 2. Malha de amostragem para coleta de solo e raiz

Análises nematológicas

Para as análises nematológicas, as amostras foram homogeneizadas e processadas imediatamente para extração, a partir de 300 cm³ de solo e 10 g de raiz utilizando-se o método da flotação centrífuga (JENKIS, 1964). As raízes foram processadas utilizando-se a associação da técnica da maceração rápida em liquidificador, por 20 segundos em velocidade média, associada à flotação centrífuga (JENKIS, 1964; NOVARETI, 1997).

Análises estatísticas dos dados

Foi realizada estatística descritiva dos dados para valores de máximo mínimo, média, mediana, coeficiente de variação, desvio padrão e curtose segundo o teste de Kolmogorov- Smirnov, ao nível de 5% de significância. Os dados foram analisados para verificação do comportamento quanto à variabilidade. Conforme valores do coeficiente de variação (CV), a variabilidade foi classificada em baixa (CV ≤ 12%), média (12 < CV ≤ 60%) e alta (CV > 60%) (WARRICK; NIELSEN, 1980).

Com o auxílio da ferramenta GEO-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software) (ENGLUND; SPARKS, 1991), a análise da dependência espacial foi realizada por meio do ajuste do semivariograma clássico construído a partir da estimativa das semivariâncias (JOURNEL, 1989), como descrito na equação abaixo:

Eq. 1

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

onde:

$\gamma(h)$ - Valor estimado da semivariância dos dados experimentais;

$Z(x_i + h)$ e $Z(x_i)$ - Valores das amostras nas posições x_i e x_{i+h} respectivamente.

$N(h)$ - Número de pares de observações;

h - distância entre pontos (LANDIM, 2003).

Verificada a existência de tendência dos dados, uma superfície residual foi construída pela diferença entre uma superfície polinomial ajustada e os dados originais. Os resíduos passam a ser a variável regionalizada que possui, localmente, médias iguais a zero (LANDIM, 2003), sendo assim ajustados semivariogramas experimentais aos resíduos.

Após a geração dos semivariogramas experimentais, procedeu-se o ajuste dos dados a um modelo teórico, testando-se os mais comuns: exponencial, gaussiano e esférico, conforme equações (2, 3 e 4) abaixo:

Modelo exponencial:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] \quad h \geq 0 \quad (2)$$

Modelo Gaussiano:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \exp\left[-\left(\frac{h}{a}\right)^2\right] \right\} \quad h \geq 0 \quad (3)$$

Modelo Esférico:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \times \left[\frac{3h}{a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a}\right)^3 \right] & 0 \leq h \leq a \\ C_0 + C_1 & h \geq a \end{cases} \quad (4)$$

Os parâmetros do semivariograma teórico foram representados nos gráficos definidos através do alcance (a), patamar (C) e efeito pepita (C₀), ajustados de modo a minimizar os erros quadráticos médios. Os ajustes dos modelos foram escolhidos em função dos parâmetros dos semivariogramas, coeficientes de determinação (R²) e autovalidação ('Jack-Knifing'), nesta técnica, em que cada um dos valores medidos é interpolado pelo método da krigagem eliminam-se, sucessivamente, os valores medidos, os quais são substituídos pelas estimativas calculando-se, em seguida, a distribuição dos erros padronizados (MONTENEGRO; MONTENEGRO, 2006).

O grau dependência espacial foi avaliado a partir da classificação proposta por Cambardella et al. (1994), na qual um determinado atributo pode exibir forte, moderada ou fraca dependência espacial, em função da relação entre o efeito pepita e o patamar de seu semivariograma ajustado. Com valores inferiores a 25% caracterizando forte dependência espacial, entre 25% e 75% moderada, enquanto que acima de 75% fraca dependência.

Os parâmetros da função de semivariância com ajuste dos modelos teóricos foram usados na construção de mapas de isolinhas das propriedades estudadas pelo processo de krigagem, visando definir zonas de variabilidade semelhantes e dividir a área por sub-regiões mais homogêneas. Para fins de avaliar o efeito da irrigação na distribuição

espacial de *Pratylenchus* sp. e *Meloidogyne* sp. foram confeccionados mapas de krigagem nas áreas por meio do software Surfer (GOLDEN SOFTWARE, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Precipitação

A precipitação pluviométrica exerce sobre os nematoides efeitos diretos e indiretos, a presença de água no solo é essencial à sobrevivência e movimentos dos nematoides, indiretamente este fator afeta a população de nematoides por atuarem no crescimento das raízes, servindo como fator de alimentação (DINARDO-MIRANDA; SPIRONELLO; MARTINS, 1997). Solos com nematoides e irrigados, apresentam formas de disseminação a curtas distâncias e favorecem os aumentos das reboleiras. Segundo Laughlin & Lordello (1977), as densidades populacionais de nematoides, são influenciadas pela precipitação e temperatura (Figura 1).

Alcance da dependência espacial e semivariogramas

Os parâmetros do semivariograma teórico, o grau de dependência espacial e a validação cruzada segundo a classificação de Cambardella et al. (1994) são apresentadas nas Tabelas 3 e 4. Tomando por base as semivariâncias obtidas, antes do plantio a distribuição de *Pratylenchus* sp. ajustou-se ao modelo esférico na área, entretanto, 14 meses após a distribuição desse nematoide ajustou-se ao modelo Gaussiano (Tabela 3). Na área não irrigada, o modelo esférico promoveu melhor ajuste para *Pratylenchus* sp. aos 4 e 9 meses após o plantio, corroborando com Maranhão, 2008 que estudando a dependência espacial de *Pratylenchus* sp. em raízes de cana-de-açúcar em tabuleiros costeiros, encontrou o modelo esférico o melhor ajuste para os seus dados. Matos, 2010 teve o modelo Gaussiano o melhor ajuste para o semivariograma experimental.

Vários pesquisadores (TRANGMAR et al., 1985; SOUZA, 1992; WALLACE e HAWKINS, 1994; CAMBARDELLA et al., 1994; SALVIANO et al., 1995; PAZ et al., 1996) reportam o modelo esférico como o mais adaptado para descrever o comportamento de semivariogramas de atributos de plantas e de solos. Neste modelo, o patamar e o alcance são claramente identificados e geralmente o efeito pepita é pequeno em relação a este patamar (LAMPARELLI et al., 2001). Entretanto, de acordo com Silva (2007), embora os modelos esféricos e exponencial sejam obtidos com maiores frequências, o gaussiano é obtido ao modelar fenômenos contínuos.

Nas demais coletas, em ambas as áreas, *Pratylenchus* sp. apresentou efeito pepita puro, não havendo ajuste de qualquer modelo. *Meloidogyne* sp apresentou efeito pepita puro aos 9 meses após o plantio no tabuleiro irrigado e no não irrigado aos 9 e 14 meses após o plantio caracterizando uma distribuição aleatória. Esta aleatoriedade pode estar relacionada ao espaçamento entre pontos que não permitiu a identificação de padrão de distribuição espacial (ANDRIOTTI, 2013). Em estudos envolvendo insetos, Liebhold et al. (1993) relataram que a ocorrência de um efeito pepita puro é bastante comum e é principalmente atribuída ao fato de que a dependência espacial ocorre numa escala espacial menor do que a escala de amostragem que muitas vezes é adotada. Então, podemos inferir que o mesmo pode ocorrer em estudos envolvendo nematoides. (CARDOSO et al., 2012; VIKEFORT, 2013; OLIVEIRA, 2014) também encontram efeito pepita puro em estudos com estes nematoides.

Nas raízes (Tabela 4) *Meloidogyne* sp. apresentou de maneira geral dependência espacial forte em tabuleiro irrigado e moderado em tabuleiro não irrigado, enquanto o grau de dependência espacial de *Pratylenchus* sp. foi forte aos 9 meses após o plantio em tabuleiro irrigado e antes do plantio em tabuleiro não irrigado e fraca aos 4 meses após o plantio em tabuleiro não irrigado.

Os semivariogramas teóricos para *Pratylenchus* sp. no solos encontra-se nas Figuras 3 e 4 e na raiz nas Figuras 5 e 6. Os semivariogramas para *Meloidogyne* sp. na raiz encontram-se nas Figuras 7 e 8. Os nematoides que apresentaram dependência espacial foram ajustados a modelos esférico e gaussiano (Tabelas 3 e 4). O gráfico do modelo efeito pepita pura é representado por uma reta paralela ao eixo das abscissas, com alcance nulo (SHABAZI et al., 2013). O alcance é definido como o raio máximo para o qual amostras vizinhas são usadas para interpolação por técnicas de krigagem (TRANGMAR et al., 1985). O alcance é um atributo importante dos semivariogramas e estabelece o limite de dependência espacial entre as amostras (SANTOS et.al., 2012; MACHADO et.al., 2007).

Leitão, 2015 estudando a dinâmica espaço-temporal da nematofauna também verificou o modelo esférico para o *Meloidogyne* sp. e encontrou o ajuste de efeito pepita puro para o *Pratylenchus* sp. Talvez o espaçamento não quantificasse a caracterização espacial dos nematoides, seria melhor a utilização de menores distâncias entre pontos. Jiang et al., 2011, observaram efeito pepita puro para espaçamentos de 2m. (CARDOSO et al., 2012; OLIVEIRA 2014) em seus estudos, o modelo esférico foi o mais bem

ajustado. Vikefort (2013) também encontrou efeito pepita puro em estudos com estes nematoides. O modelo esférico é o ajuste mais comum para variáveis nematológicas (CARDOSO et al., 2012; DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2009).

No presente estudo, foram observados alcances acima de 3 m para os nematoides que apresentaram dependência espacial. Dentre os nematoides *pratylenchus* sp. em amostras de solos o alcance mínimo foi de 3.7 m aos 4 meses após o plantio na área não irrigada e o alcance máximo foi de 13.25 m antes do plantio na área irrigada. Estudando as densidades populacionais de *Pratylenchus* + *Meloidogyne* em tabuleiros costeiros Barros (2010) encontrou alcance de 11 m.

Os valores de alcance podem influenciar na qualidade das estimativas, uma vez, que determina o número de valores usados na interpolação; assim, as estimativas realizadas com interpolação por krigagem ordinária utilizando valores de alcances maiores tendem a ser mais confiáveis, apresentado mapas bem representativos da realidade (CORÁ et al., 2004)

Tabela 3. Parâmetros de semivariogramas teóricos, grau de dependência espacial (GDE) e modelos de *Pratylenchus* sp. em amostras de solos de tabuleiro irrigado e não irrigado

Coleta	Modelo	C ₀	C ₁	a (m)	R ²	C ₀ /(C ₀ +C ₁) (%)	GDE	Jack-Knifing	
								Média	DP
Tabuleiro Irrigado									
1	Esf.	493,64	1115,40	13,26	0,96	30,68	Mod.	-0,007	1,421
2	Efeito Pepita puro								
3	Efeito Pepita puro								
4	Gauss.	584,46	283,75	10,12	0,90	67,32	Mod.	-0,022	0,982
Tabuleiro não irrigado									
1	Efeito Pepita puro								
2	Esf.	812,29	1412,28	3,79	0,30	36,51	Mod.	0,045	1,052
3	Esf.	201,14	831,23	5,04	0,64	19,48	Forte	0,024	1,198
4	Efeito Pepita puro								

C₀ = Efeito pepita, (C₀+ C₁)= patamar, a (m) = Alcance, R² =coeficiente de determinação, GDE= Grau de dependência espacial, C₀/(C₀+ C₁) = efeito pepita em relação ao patamar. C₀ / C₀+C ≤ 0,25 = forte dependência espacial; 0,25 ≤ C₀ / C₀+C ≤ 0,75 = moderada dependência espacial; 0,75 < C₀ / C₀+C < 1,00 = fraca dependência espacial; C₀ / C₀+C = 1,00 = variável independente espacialmente (efeito pepita puro) (Esf – Modelo Esférico; Gauss – Modelo Gaussiano)

Tabela 4. Parâmetros de semivariogramas teóricos, grau de dependência espacial (GDE) e modelos de *Meloidogyne* sp. (M) e *Pratylenchus* sp. (P) em amostras de raízes de cana-de-açúcar em tabuleiro irrigado e não irrigado

Nematoide	Coleta	Modelo	C ₀	C ₁	a (m)	R ²	C ₀ /(C ₀ +C ₁) (%)	GDE	Jack-Knifing	
									Média	DP
Tabuleiro irrigado										
M	1	Esf.	1002,7700	9385,3300	4,0101	0,9726	9,6531	Forte	0,023	0,982
	2	Esf.	159356,0000	527774,0000	4,2417	0,4913	23,1915	Forte	0,070	0,942
	3 ^{RT}	Efeito Pepita puro								
	4	Esf.	1331,4400	4658,8000	8,2287	0,9446	22,2268	Forte	-0,002	1,077
P	1	Efeito Pepita puro								
	2	Efeito Pepita puro								
	3 ^{RT}	Esf.	6695,2100	26310,2000	5,6572	0,8003	20,2852	Forte	-0,036	1,394
	4 ^{RT}	Efeito Pepita puro								
Tabuleiro não irrigado										
M	1	Gauss.	38916,8000	15537,8000	8,9505	0,9021	71,4665	Mod.	-0,026	1,053
	2	Esf.	376,1100	610,5510	5,5493	0,8634	38,1195	Mod.	0,002	1,027
	3 ^{RT}	Efeito Pepita puro								
	4 ^{RT}	Efeito Pepita puro								
P	1	Esf.	766,8280	6166,5300	5,3598	0,9258	11,0600	Forte	0,018	1,250
	2	Gauss.	14722,6000	3592,9900	5,6427	0,8827	80,3829	Fraco	0,012	1,038
	3 ^{RT}	Efeito Pepita puro								
	4 ^{RT}	Efeito Pepita puro								

C₀ = Efeito pepita, (C₀+ C₁)= patamar, a = Alcance, R² =coeficiente de determinação, C₀/(C₀+ C₁) = efeito pepita em relação ao patamar. C₀ / C₀+C ≤ 0,25 = forte dependência espacial; 0,25 ≤ C₀ / C₀+C ≤ 0,75 = moderada dependência espacial; 0,75 < C₀ / C₀+C < 1,00 = fraca dependência espacial; C₀ / C₀+C = 1,00 = variável independente espacialmente (efeito pepita puro) (Esf – Modelo Esférico; Gauss – Modelo Gaussiano).

Tabuleiro não Irrigado

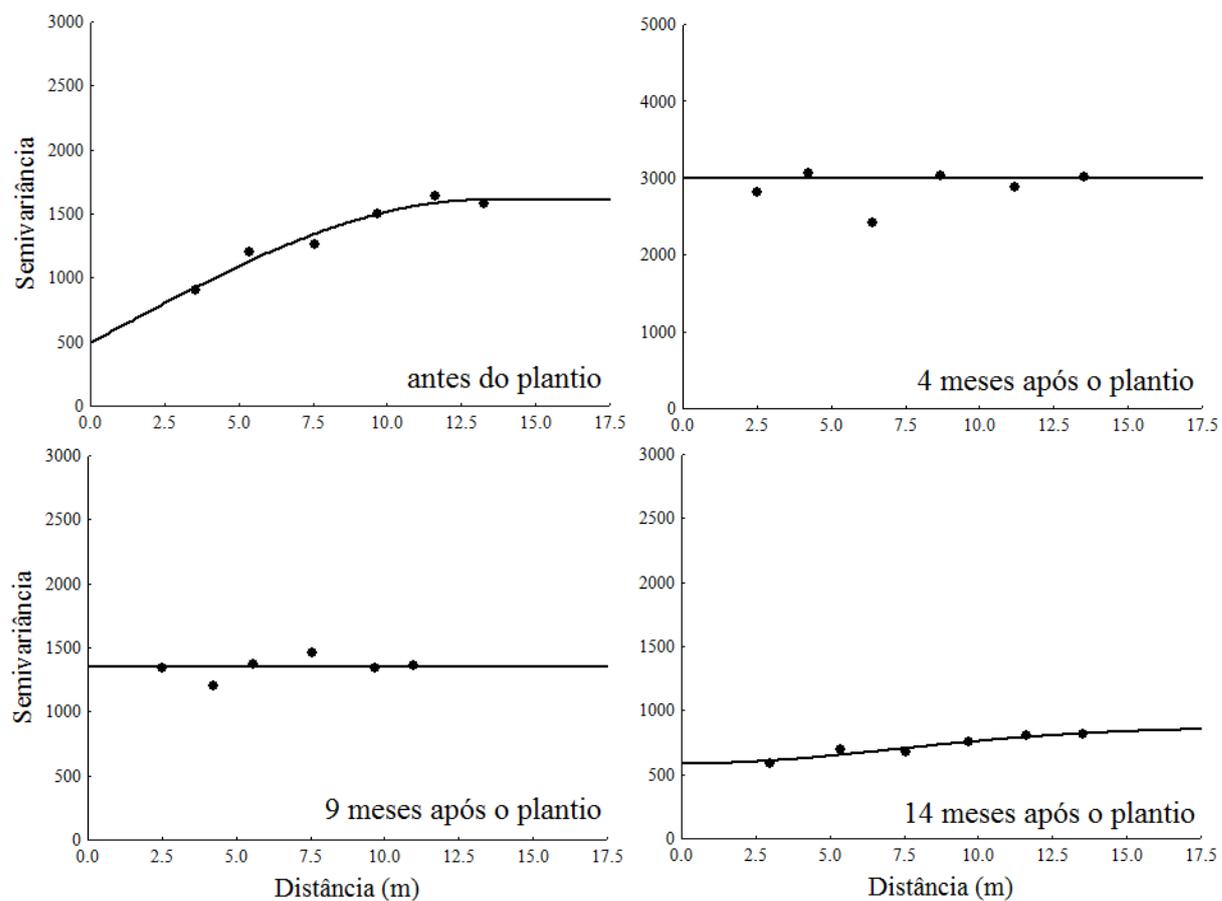


Figura 3. Semivariogramas teóricos e modelos ajustados para populações de *Pratylenchus* sp. em amostras de solos de tabuleiro não irrigado antes do plantio e aos 4, 9 e 14 meses após o plantio da cana-de-açúcar.

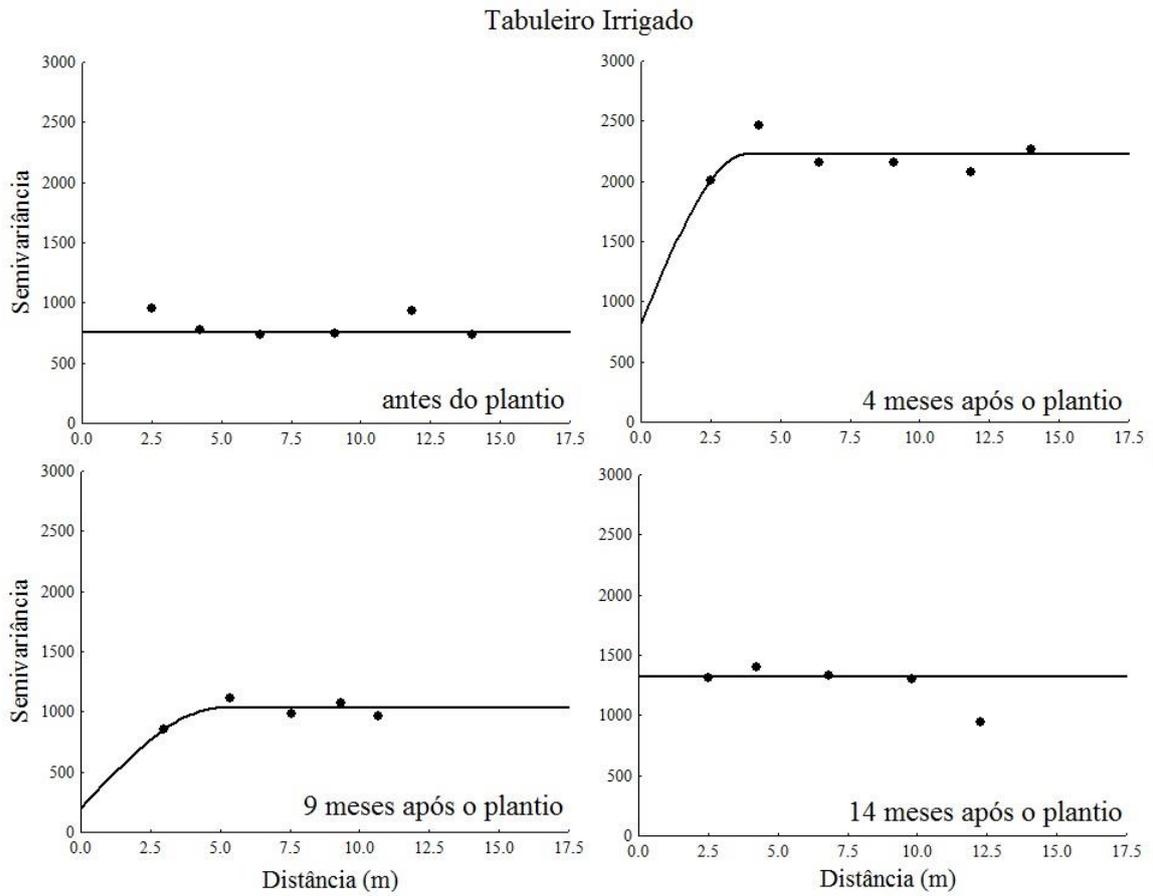


Figura 4. Semivariogramas teóricos e modelos ajustados para populações de *Pratylenchus* sp. em amostras de solos de tabuleiro irrigado antes do plantio e aos 4, 9 e 14 meses após o plantio da cana-de-açúcar.

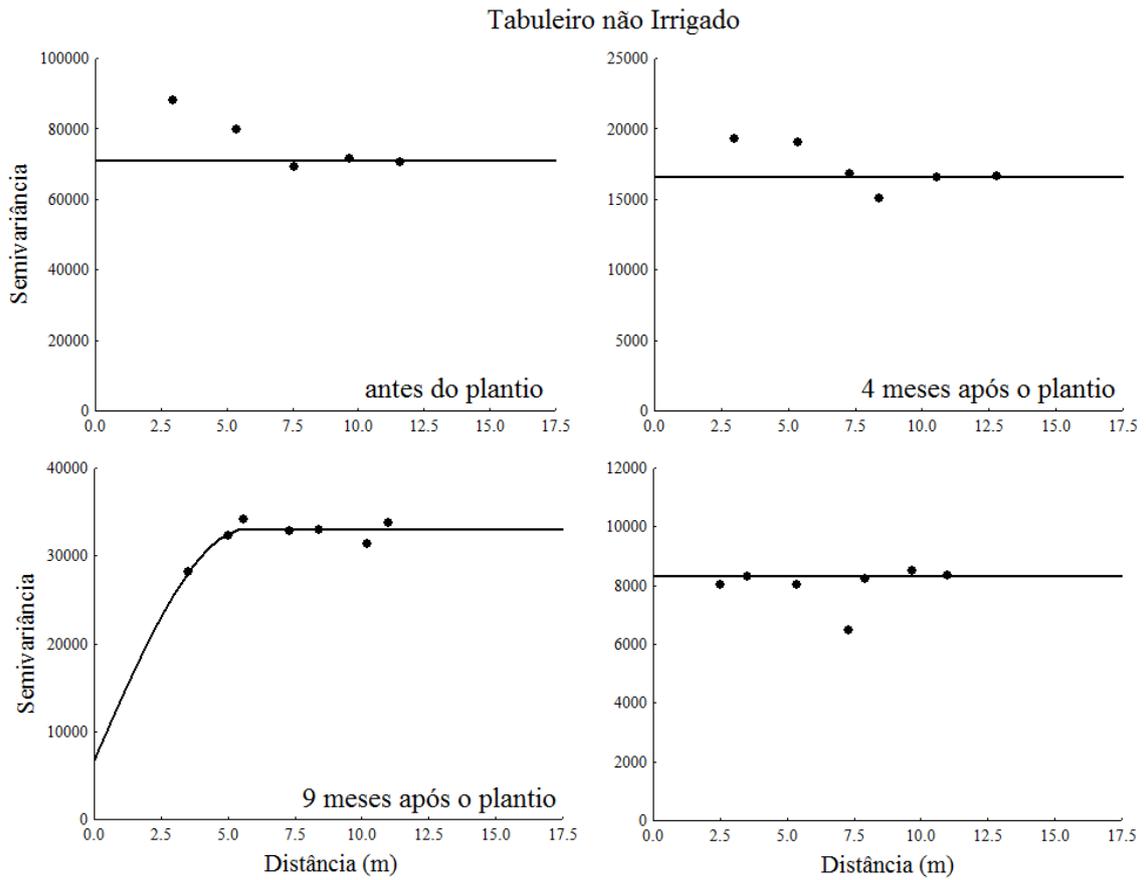


Figura 5. Semivariogramas teóricos e modelos ajustados para populações de *Pratylenchus* sp. em raízes em tabuleiro não irrigado antes do plantio e aos 4, 9 e 14 meses após o plantio da cana-de-açúcar.

Tabuleiro Irrigado

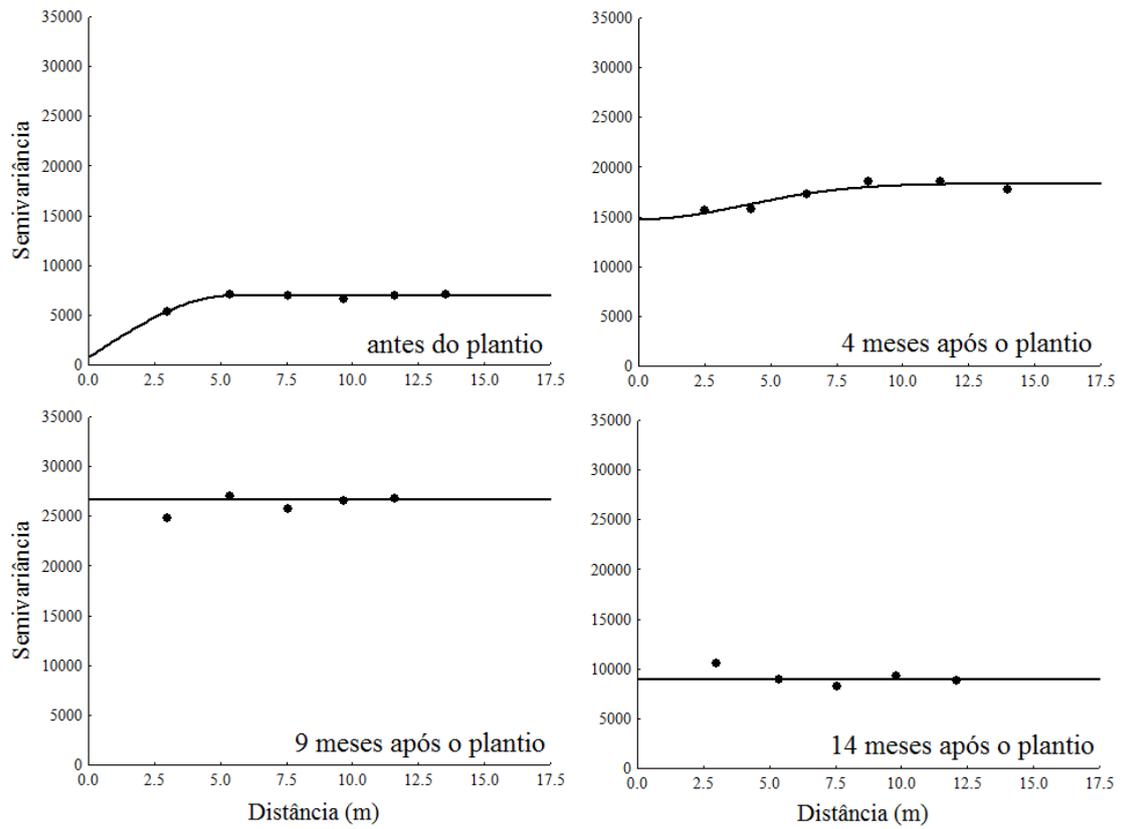


Figura 6. Semivariogramas teóricos e modelos ajustados para populações de *Pratylenchus* sp. em raízes em tabuleiro irrigado antes do plantio e aos 4, 9 e 14 meses após o plantio da cana-de-açúcar.

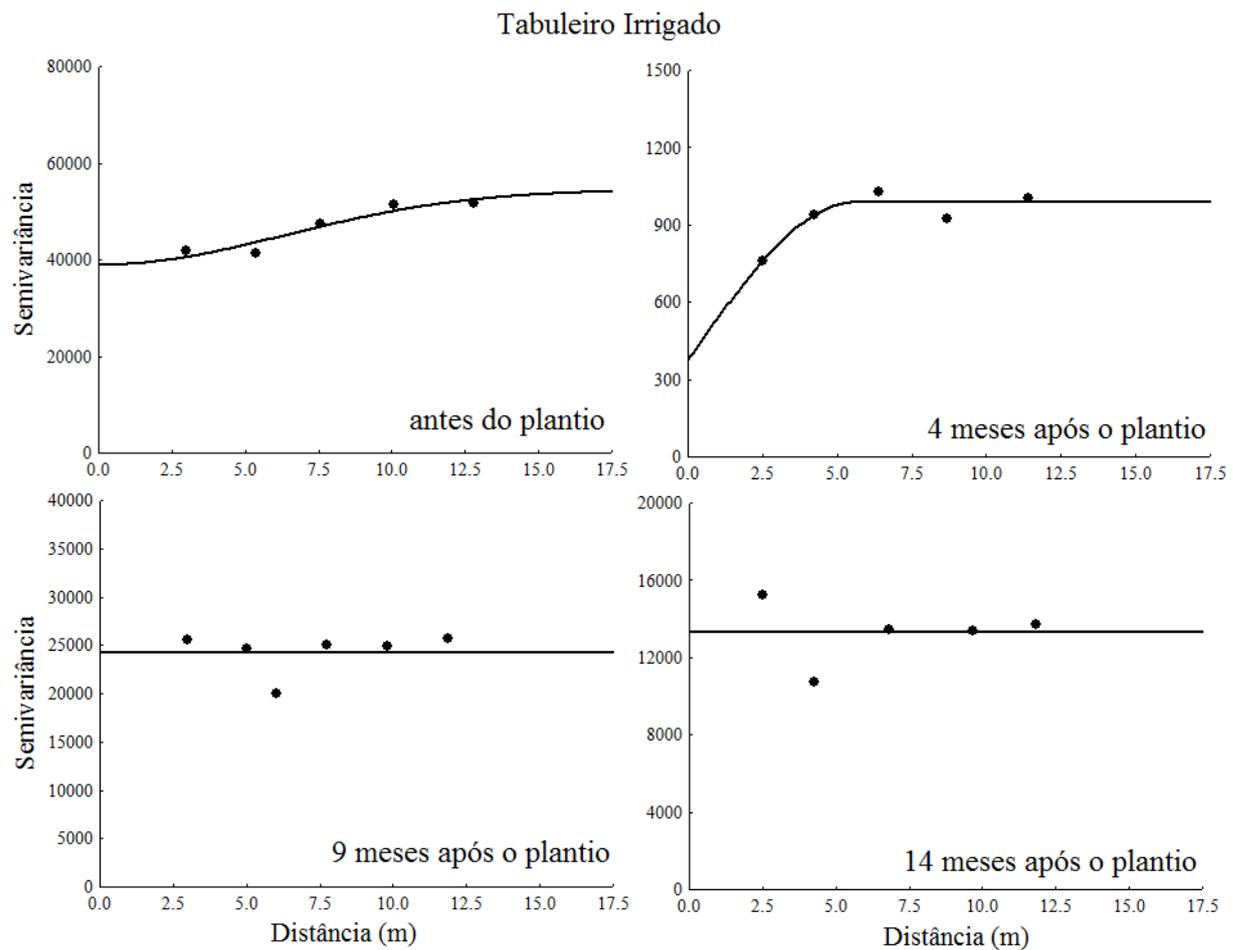


Figura 7. Semivariogramas teóricos e modelos ajustados para populações de *Meloidogyne* sp. em raízes em tabuleiro irrigado antes do plantio e aos 4, 9 e 14 meses após o plantio da cana-de-açúcar.

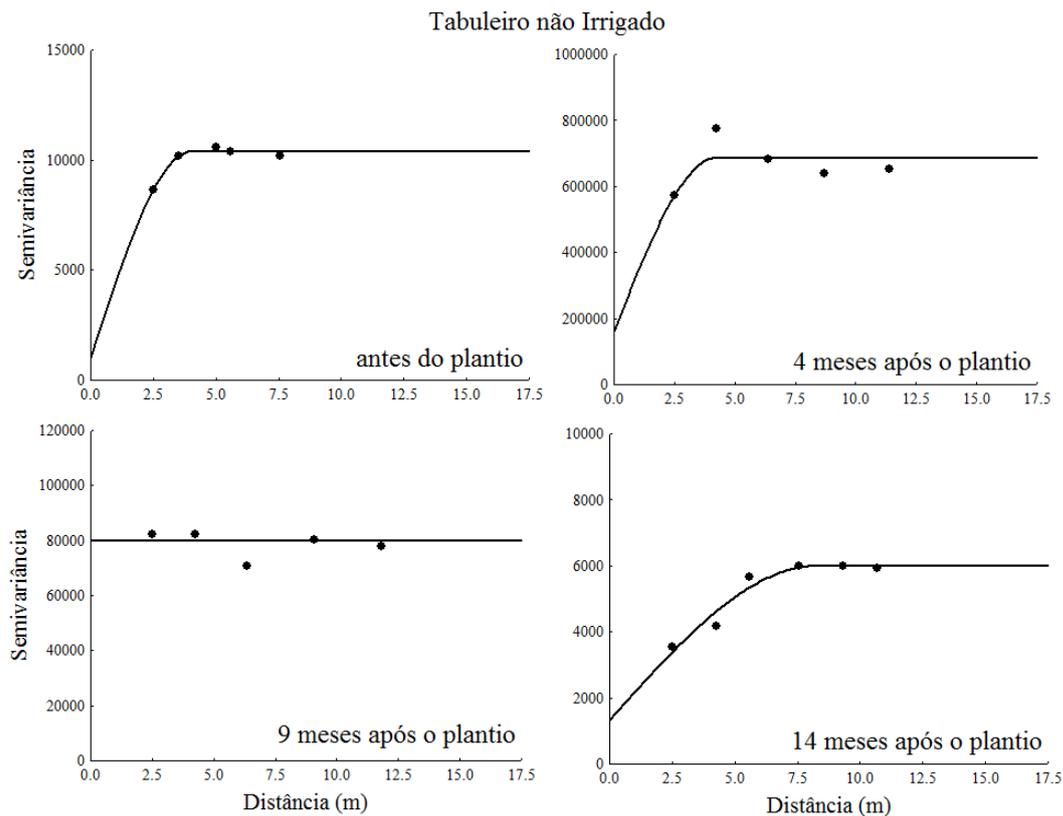


Figura 8. Semivariogramas teóricos e modelos ajustados para populações de *Meloidogyne* sp. em raízes em tabuleiro não irrigado antes do plantio e aos 4, 9 e 14 meses após o plantio da cana-de-açúcar.

Estatística Descritiva

Os resumos estatísticos descritivos para *Pratylenchus* sp. e *Meloidogyne* sp. em solo e raiz em tabuleiro irrigado e não irrigado encontram-se nas Tabelas 5, 6, e 7. De acordo com Cressie (1991) a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística. Entretanto, os valores do coeficiente de variação foram altos, indicando alta variabilidade (WARRICK; NIELSEN, 1980).

Os valores da média e da mediana não foram próximos, indicando uma distribuição assimétrica positiva das populações de nematoides (LIMPERT; STAHEL, 2011). Esta ocorrência é em relação à variabilidade dos dados, e da distribuição desuniforme, em forma de reboleiras, desses organismos no solo (CARVALHO et al. 2013).

Tabela 5. Resumo descritivo de *Pratylenchus* sp. em solo de tabuleiro irrigado e não irrigado

Coleta	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Curtose	C.V. (%)	DP	KS
Tabuleiro irrigado								
1	270,0000	0,0000	34,6111	0,0000	5,0105	183,3252	63,4509	ns
2	243,0000	0,0000	105,8333	100,0000	0,5972	50,5215	53,4685	*
3	130,0000	0,0000	30,4167	0,0000	0,1282	121,8667	37,0678	ns
4	81,0000	0,0000	19,3889	0,0000	-0,4060	136,8868	26,5408	ns
Tabuleiro não irrigado								
1	160,0000	0,00000	35,0278	31,5000	5,5366	92,3057	32,3326	ns
2	225,0000	0,00000	59,3056	50,0000	2,2992	87,6924	52,0065	*
3	110,0000	0,00000	19,7222	0,0000	1,3163	152,5881	30,0938	ns
4	135,0000	0,00000	41,4167	47,5000	-0,0998	85,0530	35,2261	ns

CV – Coeficiente de variação; DP – Desvio Padrão; KS – Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade; ns– não significativo; * - significativo

Tabela 6. Resumo descritivo do *Pratylenchus* sp. em raízes de cana-de-açúcar em tabuleiro irrigado e não irrigado

Coleta	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Curtose	C.V. (%)	DP	KS
Tabuleiro irrigado								
1	-	30,0000	-	-	1,0844	74,05021	-	ns
2	495,0000	30,0000	-	-	1,2159	83,43942	-	ns
3	-	0,0000	-	-	3,1584	81,00736	-	*
4	486,0000	0,0000	-	-	1,3953	79,02132	-	*
Tabuleiro não irrigado								
1	400,0000	0,0000	-	-	3,7664	76,26652	81,2662	ns
2	516,0000	0,0000	-	-	0,3919	85,28422	-	*
3	-	90,0000	-	-	5,1101	68,82442	-	ns
4	570,0000	30,0000	-	-	3,3510	59,7137	-	ns

CV – Coeficiente de variação; DP – Desvio Padrão; KS – Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade; ns– não significativo; * - significativo

Tabela 7. Resumo descritivo do *Meloidogyne* sp. em raízes de cana-de-açúcar em tabuleiro irrigado e não irrigado

Coleta	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Curtose	C.V. (%)	DP	KS
Tabuleiro irrigado								
1	360,0000	0,0000	98,6111	69,0000	0,4145	98,5941	97,2247	ns
2	3540,0000	0,0000	452,3889	197,5000	10,1499	176,0756	796,5463	ns
3	1596,0000	0,0000	390,0556	266,0000	1,9558	95,7675	373,5463	ns
4	250,0000	0,0000	79,4444	60,0000	-0,0889	90,4231	71,8361	*
Tabuleiro não irrigado								
1	945,0000	0,0000	174,1667	78,0000	4,4364	124,4816	216,805	ns
2	111,0000	0,0000	20,8056	0,0000	1,8182	150,5557	31,3239	ns
3	900,0000	0,0000	179,9722	147,0000	5,7773	104,7544	188,5288	ns
4	798,0000	0,0000	121,5000	60,0000	7,7547	136,6681	166,0517	ns

CV – Coeficiente de variação; DP – Desvio Padrão; KS – Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade; ns– não significativo; * - significativo

Mapeamento das áreas experimentais

Os mapas de isolinhas para *Pratylenchus* sp. e *Meloidogyne* sp. são apresentados nas Figuras 9 e 10, estes mapas mostraram a avaliação da distribuição espacial com a irrigação. Linhas fechadas e próximas para este tipo de mapa caracterizam a área com maior variabilidade, enquanto a presença de linhas com espaços é um requisito de menor variabilidade (MENDES et al., 2012).

Através das imagens apresentadas (Figura 9) observa-se que em tabuleiro irrigado, embora tenha ocorrido redução ao longo do tempo na densidade populacional de *Pratylenchus* sp. no solo, a densidade populacional aumentou no interior das raízes, com picos populacionais de até 800 espécimes por 300 cm³ de solo aos nove meses após o plantio nos pontos que apresentaram maior densidade do nematoide no solo antes do plantio.

A densidade populacional de *Meloidogyne* sp. na raiz mostrou picos de até 250 espécimes por 10 g de raiz antes do plantio. Entretanto, quatro meses após o plantio da cana-de-açúcar detectou-se reboleira com pico de 2000 espécimes por 10 g de raiz que ao longo do tempo na área irrigada apresentou-se mais espalhada e com menor densidade populacional do nematoide. A densidade populacional nas raízes será mais alto que nos solos. (DINARDO-MIRANDA;FRACASSO,2009) também encontraram dificuldades em seu estudo de variabilidade espacial em áreas de cultivo de cana-de-açúcar com

Meloidogyne, uma vez que não foi possível o mapeamento da coleta 3 (Figura 9) e coleta 3 e 4 (Figura 10).

No tabuleiro não irrigado (Figura 10), a densidade populacional de *Pratylenchus* sp. no solo diminuiu dos quatro para os nove meses após o plantio, entretanto, mostrou-se mais agregada, com apenas um pico populacional que alcançou até 70 espécimes por 300 cm³ de solo, decrescendo até não haver detecção do nematoide em boa parte da área. Nas raízes, os picos populacionais foram mais altos, chegando a 300 espécimes de *Pratylenchus* sp. por 10 g de raiz, antes do plantio e quatro meses após, mas em áreas diferentes. Para *Meloidogyne* sp. o pico populacional também atingiu 300 espécimes por 10 g de raiz antes do plantio da cana-de-açúcar, entretanto, quatro meses após, a densidade populacional caiu drasticamente, chegando a não ser detectada em praticamente toda a área. Esse comportamento deve estar associado às altas temperaturas e baixos teores de umidade do solo da área não irrigada.

A umidade do solo exerce efeitos diretos e indiretos sobre os nematoides, sendo a presença de água no solo essencial à sobrevivência e movimentação desses parasitas (DINARDO-MIRANDA; SPIRONELLO; MARTINS, 1997). No presente estudo, a despeito da redução na densidade populacional de *Pratylenchus* sp. no solo, o cultivo em sequeiro mostrou tendência a manter a população mais concentrada em determinado ponto enquanto a irrigação favoreceu uma distribuição mais uniforme do nematoide no solo. Dessa forma, apesar dos efeitos positivos da irrigação sobre o desenvolvimento da cultura e, conseqüentemente, do sistema radicular favorecendo a alimentação do nematoide, a irrigação também favoreceu a disseminação de *Pratylenchus* sp. no solo a curtas distâncias.

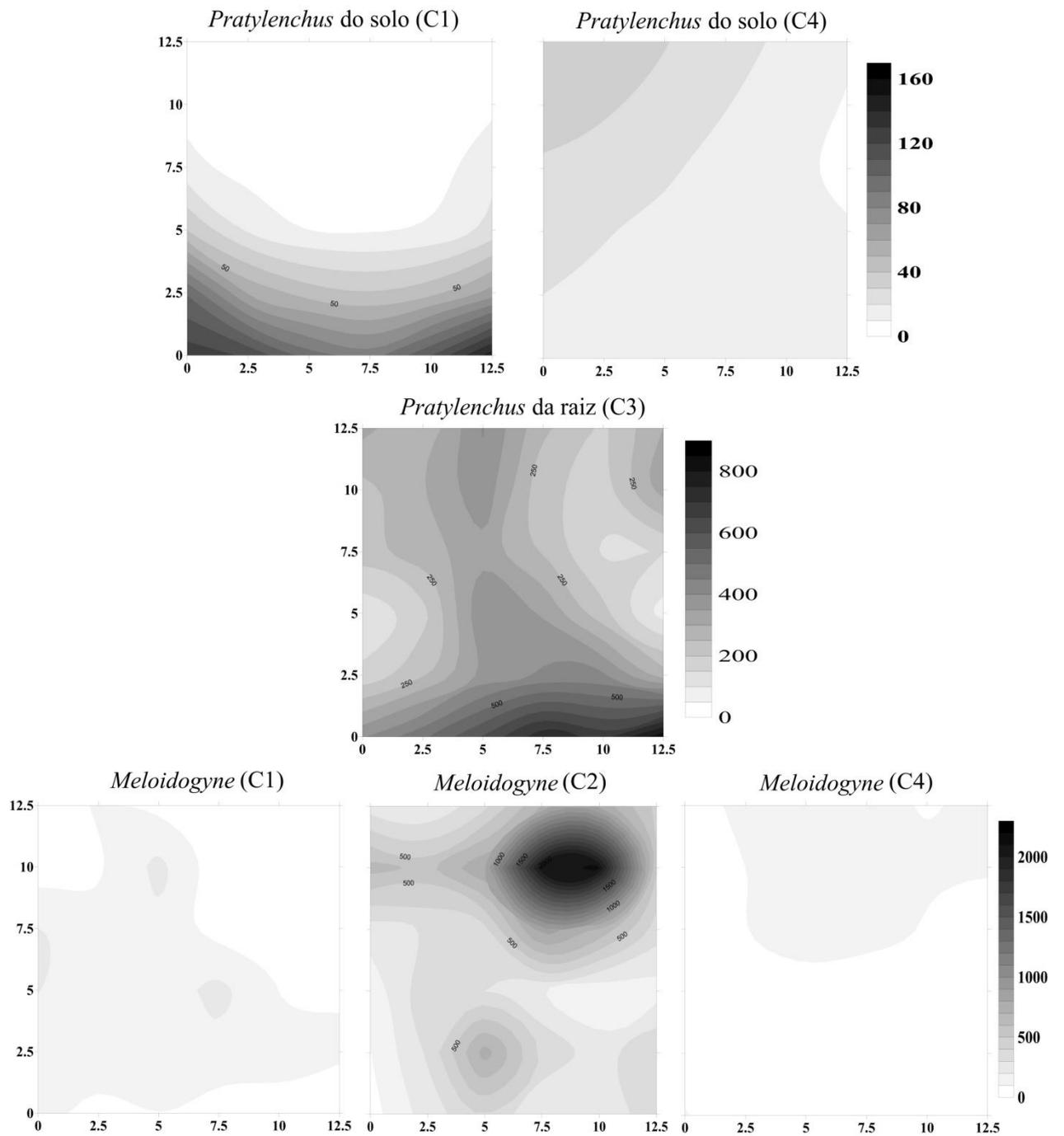


Figura 9. Mapas de isolinhas da variabilidade espacial de *Pratylenchus* sp. em solo e raiz de cana-de-açúcar e *Meloidogyne* sp. em raiz de cana-de-açúcar em tabuleiro irrigado.

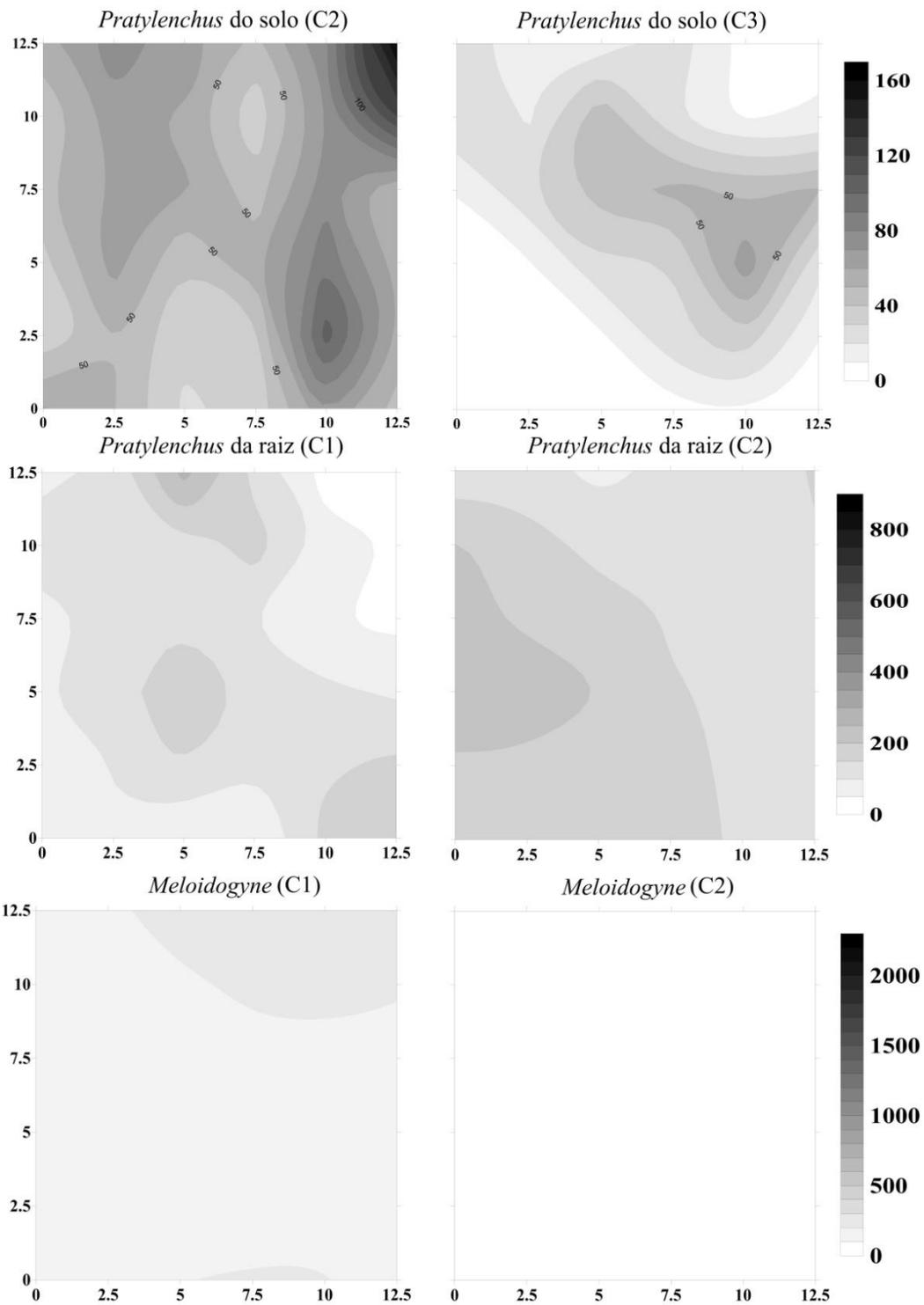


Figura 10. Mapas de isolinhas da variabilidade espacial de *Pratylenchus* sp. em solo e raiz de cana-de-açúcar e *Meloidogyne* sp. em raiz de cana-de-açúcar em tabuleiro não irrigado.

CONCLUSÕES

A irrigação da cana-de-açúcar na área de tabuleiro aumentou a disseminação de *Pratylenchus* sp. no solo promovendo uma distribuição mais uniforme do nematoide, ao contrário da área não irrigada, que mostrou tendência a manter a população do nematoide mais agregada na área de cultivo da cana-de-açúcar. No entanto, os resultados não foram conclusivos quanto ao comportamento das populações de *Meloidogyne* sp. nas condições do experimento.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior (Capes) pela concessão de bolsa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q.; DUARTE, J. A. L.; BRAGA, D. L.; NOLETO, D. H. **Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.47, p.76-84, 2012.
- ANDRIOTTI, J. L. S. Fundamentos de Estatística e Geoestatística. São Paulo: UNISINOS, 2013.
- BARROS, P. A. **Variabilidade espacial de atributos químicos e biológicos do solo sob cultivo de Cana-de-Açúcar**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.
- BEEN, T. H.; SCHOMAKER, C. H. **Distribution patterns and sampling**. In: PERRY, R. N.; MOENS, M. (Eds.). Plant Nematology. Wallingford: CAB International, 2006. P. 302-326.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CARDOSO, M. O.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; SILVA, E. F. F.; BARROS, P. Â. Effects of soil mechanical resistance on nematode community structure under conventional sugarcane and remaining of Atlantic Forest. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 6, p. 3529-3544, 2012.

CARVALHO, C. de; FERNANDES, C. D.; SANTOS, J. M.; MACEDO, M. C. M. Densidade populacional de *Pratylenchus* spp. em pastagens de *Brachiaria* spp. e sua influência na disponibilidade e na qualidade da forragem. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 60, n. 1, p. 30-37, 2013.

CONAB, 2016. **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar**, terceiro levantamento, dezembro 2015/2016 – Companhia Nacional de Abastecimento. Conab, Brasília. “Disponível em: <http://www.conab.gov.br> Acesso em: 10 jan. 2016.”

CORÁ, J. E. *et al.* Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.

CRESSIE, N. Statistics for spatial data. New York: John Wiley, p. 900, 1991.

DALRI, A.B.; CRUZ, R.L.; GARCIA, C.J.B.; DUENHAS, L.H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga**, v.13, p.1-11, 2008.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V. Spatial distribution of plant-parasitic nematodes in sugarcane fields. **Scientia Agricola**, v. 66, p. 188-194, 2009.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; SPIRONELLO, A.; MARTINS, A.L.M. **Dinâmica populacional de nematoides fitoparasitos na cultura do abacaxi**. Nematologia Brasileira, v.21, p. 49-59, 1997.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; NOVARETTI, W. R. T.; MORELLI, J. L.; NELLI, E. J. **Comportamento de variedades de cana-de-açúcar em relação a *Meloidogyne javanica*, em condições de campo**. Nematologia Brasileira, v. 19, p. 60-66, 1995.

ENGLUND, E.; SPARKS, A. **Geo-EAS – Geostatistical Enviromental Assessment Software**. Las Vegas, U.S: Enviromental Protency Agency, 1991.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer 7.0 - user's guide**. New York: Golden Software, 1999. 619p.

GUZMAN-PLAZOLA, R. A.; DE RIOS JARABA NAVAS, J.; CASWELL-CHEN, E.; ZAVALETA-MEJIA, E.; DEL PRADO-VIEIRA, I. C. **Spatial distribution of *Meloidogyne* species and races in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) producing region of Morelos, Mexico**. **Nematropica** , Bradenton , v. 36, n. 2, p. 215-229, 2006.

INMAN-BAMBER, N.G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, v.89, p.107-122, 2004.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil, St.Paul, **Plant Disease Reporter**, v. 48, p. 692, 1964.

JIANG, X.; WRIGHT, A. L.; WANG, J.; LI, Z. Long-term tillage effects on the distribution patterns of microbial biomass and activities within soil aggregates. **Catena**, Gießen, v. 87, n. 2, p. 276-280, 2011.

JOURNEL, A. G. **Fundamentals of geostatistics in five lessons**. Washington: American Geophysical Union, 1989. 40p.

KOPPEN, W. **Climatologia**. México: Fundo de cultura Venezuelana, 1948. 278 p.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: UNESP, 2003. 226 p.

LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E. Geoprocessamento e agricultura de precisão. 1. ed. Guaíba: Agropecuária, 2001. 118 p.

LAUGHLIN, C.W. & L.G.E. LORDELLO. 1977. Sistemas de manejo de nematóides: relações entre a densidade de população e os danos à planta. **Sociedade Brasileira de Nematologia**, 2: 15-24.

LEITÃO, D. A. H. S. **Dinâmica espaço-temporal da nematofauna, atributos edáficos e crescimento de goiabeiras sob manejo com torta de nim**. 2015. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2015.

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

LIMPERT, E.; STAHEL, W. A. Problems with using the normal distribution – and ways to improve quality and efficiency of data analysis. **PLoS ONE**, v. 6, n. 7, p. e21403, 2011.

MACHADO, L. O; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 591-599, 2007.

MARANHÃO, S. R. V. L., **Comunidade, dinâmica populacional e variabilidade espacial de nematóides em área de cultivo da cana-de-açúcar sob diferentes condições edafoclimáticas**. 2008, 126 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

MATOS, D. S. S. **Amostragem e efeito da vinhaça sobre a distribuição de nematóides associados a cana-de-açúcar em áreas de encostas e tabuleiro da mata norte de Pernambuco**. 2010, 90 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

MENDES, F. L.; ANTONIO, S. F.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; SILVA, J. F. V. Manejo cultural do nematoide das lesões

radiculares durante a entressafra da soja no Mato Grosso. Reação de cultivares de Soja a *Pratylenchus brachyurus*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 6., 2012, Cuiabá. **Anais eletrônicos...** Londrina: Embrapa Soja, 2012. CD-ROM.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 30-37, 2006.

MOURA, R.M., E.M.R. PEDROSA, S.R.V.L. MARANHÃO, A.M. MOURA, M.E.A. MACEDO & E.G. SILVA. 1999. **Nematoides associados à cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco**, Brasil. *Nematologia Brasileira*, 23 (1): 92-99.

NOVARRETTI, W. R. T. **Controle de *Meloidogyne incógnita* e *Pratylenchus Zeae* (Nemata: Tylenchoidea) em cana-de-açúcar com nematicidas, associados ou não à matéria orgânica**. 1997, 51f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade de São Paulo/ Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1997.

OLIVEIRA, A. K. S. **Crescimento do pimenteiro e variabilidade espacial de nematoides e atributos do solo após incorporação da torta de nim**. 2014. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.

PAZ, A.; TABOADA, M.T. & GOMEZ, M.J. **Spatial variability in topsoil micronutrient contents in a one-hectare cropland plot**. *Comm. Soil Sci. Plant Anal*, 3:479-503, 1996.

PINHEIRO, J. B.; POZZA, E. A.; ALEXANDRE POZZA, A. A.; MOREIRA, A. S.; ALVES, M. C.; CAMPOS, V. P. Influência da nutrição mineral na distribuição espacial do nematóide de cisto da soja. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 32, n. 4, p. 270-278, 2008.

SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R. & SPAROVEK, G. **Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* (L) em área severamente erodida**. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:115-122, 1998

SANTOS, K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; ALMEIDA, B. G.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANDRADE, T. S.; FONTES JÚNIOR, R.V.P. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 828-835, 2012.

SANTOS, M. A. L.; FRIZZONE, J. A. (2006). **Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum ssp*) colhida no mês de janeiro: um modelo de análise de decisão para o litoral sul do Estado de Alagoas**. *Irriga*, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 339-355.

SHAHBAZI, F.; ALIASGHARZAD, N.; EBRAHIMZAD, S. A.; NAJAFI, N. Geostatistical analysis for predicting soil biological maps under different scenarios of land use. **European Journal of Soil Biology**, Londres, v. 55, p. 20-27, 2013.

SILVA, C. R. S. **Estudo das características físico-químicas do solo em plantio de erva-mate (ilex paraguariensis st. hil.) através da geoestatística e do geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007, 113 p.

SOUZA, L. S. Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo. 1992. 162 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S. & UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Adv. Agron.*, 38:45-93, 1985.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. (Ed.). *Tópicos em ciências do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54.

VIKETOFT, M. Determinants of small-scale spatial patterns: Importance of space, plants and factors for soil nematodes. **Soil Biology & Biochemistry**, Brisbane, v. 62, p. 92-98, 2013.

WALLACE, M. K.; HAWKINS, D. M. Applications of Geostatistics in Plant Nematology. *Journal of Nematology*, Lawrence, v. 26, p. 626-634, 1994.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLED, D. (Ed). **Application of soil physics**. Nova Iorque: Academic Press, 1980, p. 319-344.

YEATES, G. W.; BONGERS, T.; de GOEDE, R. G. M.; FRECKMAN, D. W.; GEORGIEVA, S. S. Feeding habits in soil nematode families and genera - an outline for soil ecologists. **Journal of Nematology**, Florida, v. 25, n. 3, p. 315–331, 1993.