

**LARISSA DE BRITO CAIXETA**

**DINÂMICA DA NEMATOFUNA EM RESPOSTA AO CORTE DA CANA-DE-  
AÇÚCAR E FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA**

**RECIFE**  
**Fevereiro 2011**

**LARISSA DE BRITO CAIXETA**

**DINÂMICA DA NEMATOFAUNA EM RESPOSTA AO CORTE DA CANA-DE-  
AÇÚCAR E FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Fitopatologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como partes dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Fitopatologia.

**RECIFE**  
**Fevereiro 2011**

## Ficha Catalográfica

C133d Caixeta, Larissa de Brito

Dinâmica da nematofauna em resposta ao corte da  
cana-de-açúcar e fertirrigação com vinhaça / Larissa de Brito  
Caixeta. -- 2011.

98 f. : il.

Orientadora: Elvira Régis Pedrosa.

Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) –  
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento  
de Agronomia, Recife, 2011.

Referências.

1. Nematóide 2. *Saccharum* sp. 3. Diversidade trófica

I. Pedrosa, Elvira Régis, Orientadora II. Título

CDD 632.65182

**DINÂMICA DA NEMATOFUNA EM RESPOSTA AO CORTE DA CANA-DE-  
AÇÚCAR E FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA**

**LARISSA DE BRITO CAIXETA**

Dissertação defendida e aprovada pela banca Examinadora em 18/02/2011

**ORIENTADORA:**

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Elvira Maria Régis Pedrosa

**EXAMINADORES:**

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Sônia Maria Alves de Oliveira (UFRPE)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Elineide Barbosa da Silveira (UFRPE)

---

Dr<sup>a</sup>. Lilian Margarete Paes Guimarães (UFRPE)

**RECIFE-PE**  
**Fevereiro 2011**

Aos meus pais, Luiz Sérgio e Maria  
Angélica, que tem sido a grande razão e  
incentivo do meu aperfeiçoamento.

**DEDICO**

Aos meus familiares e amigos,  
pela amizade, amor e incentivos constantes.

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar caminho nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades.

A minha orientadora, **Prof<sup>a</sup>. Dra. Elvira Maria Régis Pedrosa**, pela seriedade, competência, orientação e amizade;

A FACEPE pelo apoio financeiro;

Ao **Técnico Agrícola José Carlos** pelo apoio dado durante os trabalhos em campo;

Aos meus amigos **Felipe Colares, Marília Marques, Nelson Bernardi e Carine Naue** e ao meu namorado **Martin Duarte**, meu agradecimento especial pelo apoio, amizade e carinho em todos os momentos dessa longa jornada;

Aos amigos, **Natália Barbosa, Jefferson Serpa, Lílian Guimarães, Jeane Medeiros, Maurício Estolano, Thais Vicente, Cícero Costa, Ana Karina, Anailda Souza, Diego Leitão e Nelson Julierme** meus agradecimentos pela excelente ajuda e companheirismo na realização dos trabalhos práticos de campo e laboratório;

Aos colegas de departamento **Cristiane Lima, Kátia Felix, Maria Santana, Leilson Lopes, Jeferson Araújo, Marcelo Garcia, Hailson Alves, Francisco Câmara, Emmanuelle Rodrigues, Amanda Melo, Mônica Freitas, Francisco Gonçalves, Kamila Câmara, Maruzanete Pereira e Paulo César Santos** pela amizade e bons momentos vividos;

Aos **trabalhadores de campo da Usina Santa Tereza**, que tanto nos ajudou nas coletas das amostras;

Aos **Professores do curso de Pós-graduação em Fitopatologia**, pelos ensinamentos, atenção e amizade;

Aos funcionários do Setor de Conservação de Veículos, em especial a **Antônio José Melo (Zeca)**;

A todos os funcionários da Área de Fitossanidade que direta ou indiretamente ajudaram na realização do presente trabalho;

Aos meus pais, **Luiz Sérgio e Maria Angélica** pelas orações, amor e apoio incondicional a fim de me dar sempre o melhor, meus sinceros e especiais agradecimentos.

Ao meu irmão **Luis Augusto**, meus avós **Sebastião e Joana Aparecida** (*in memoriam*), aos meus **tios e familiares**, obrigada pela torcida e incentivo.

A todos aqueles que direta ou indiretamente se fizeram presentes para a realização deste trabalho, agradeço profundamente e dedico o resultado deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Folha
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	4
<b>RESUMO</b> .....	7
<b>ABSTRACT</b> .....	9
<b>CAPÍTULO I- INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	11
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	24
<b>CAPÍTULO II - AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E DA ESTRUTURA TRÓFICA DA NEMATOFUNA EM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR APÓS O CORTE E FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA</b> .....	34
Abstract.....	35
Resumo.....	37
Introdução.....	38
Material e Métodos.....	40
Resultados e Discussão.....	42
Literatura Citada.....	47
<b>CAPÍTULO III - DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DA NEMATOFUNA APÓS O CORTE DA CANA-DE-AÇÚCAR E FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA</b> .....	57
Abstract.....	58
Resumo.....	59
Introdução.....	60
Material e Métodos.....	62
Resultados e Discussão.....	64
Literatura Citada.....	69
<b>CAPÍTULO IV - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE FITONEMATÓIDES EM ÁREA CULTIVADA COM CANA-DE-AÇÚCAR E FERTIRRIGADA COM VINHAÇA</b> .....	79
Abstract.....	80
Resumo.....	81
Introdução.....	82
Material e Métodos.....	84
Resultados e Discussão.....	86
Literatura Citada.....	88
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	95

## RESUMO

O emprego de matéria orgânica tem sido preconizado com destacada eficiência para controle de fitonematóides, contribuindo para a redução do uso de produtos químicos e os conseqüentes impactos ao meio ambiente. Nesse contexto, a vinhaça apresenta grande potencial no manejo alternativo destes fitopatógenos, devido ao grande aporte de matéria orgânica em sua composição. Os objetivos do presente estudo foram avaliar as comunidades de nematóides no solo e raízes, correlacionando variações nos atributos físicos e químicos do solo e nas comunidades de nematóides em função da fertirrigação com vinhaça; avaliar o efeito da fertirrigação na distribuição vertical da nematofauna do solo e na variabilidade espacial dos fitonematóides. As avaliações fundamentaram-se em atributos físicos (umidade, densidade, porosidade, granulometria, resistência do solo a penetração e densidade de partícula) e químicos (pH, H, Al, P, Ca, Mg, Na, K e evolução C-CO<sub>2</sub>) do solo e caracterização da nematofauna, efetuadas 30 dias antes e 30 e 90 dias após o corte da cana e aplicação de vinhaça. Houve redução no número total de nematóides após a fertirrigação com vinhaça. A densidade do solo e o nível de Ca<sup>++</sup> correlacionaram-se significativamente com o total de nematóides e, em particular, com os fitoparasitos. A matéria orgânica correlacionou-se negativamente com nematóides de vida livre, fitoparasitos e nematóides totais do solo, mas apresentou correlação positiva com os endoparasitos encontrados nas raízes. A evolução de C-CO<sub>2</sub> não variou significativamente entre os períodos nem apresentou correlações com os *taxa* ou grupos tróficos. O efeito vertical da fertirrigação no solo foi constatado apenas nas distribuições de *Pratylenchus* e Dorylaimidae e na densidade do solo. As maiores variações nas densidades populacionais de nematóides no solo ocorreram nas camadas de 10 e 20 cm. A distribuição dos endoparasitos ajustou-se ao modelo esférico 30 dias antes e após a aplicação de vinhaça. Já os ectoparasitos, ajustado ao modelo esférico antes da

fertirrigação, mudou para exponencial 30 dias após a aplicação de vinhaça. Os ectoparasitos apresentaram dependência espacial moderada antes e após a irrigação com vinhaça e, os endoparasitos, moderada antes e fraca 30 dias após a irrigação. Aos 90 dias após a irrigação, os endoparasitos e ectoparasitos não apresentaram correlações entre os pontos amostrados, revelando efeito pepita puro.

**Palavras-chave:** Diversidade trófica, nematóide, manejo, *Saccharum* sp., variabilidade espacial

## ABSTRACT

The application of organic matter has been recognized as an efficient strategy for plant parasite nematode control, contributing for reduction of chemical products and their environmental impacts. In this context, the vinasse presents a high potential for use in alternative management of these important parasites due to the high volume of organic matter. The objectives of the present study were to evaluate nematode communities in soil and roots, correlating changes in physical and chemical soil attributes and nematode communities in function of irrigation with vinasse; evaluate the fertirrigation effect in vertical distribution of nematode communities in soil and in the spatial variability of the plant parasitic nematodes. Evaluations based on physical (soil humidity, density, porosity, granulometry, penetration resistance (MPa) and particle density) and chemical (pH, H, Al, P, Ca, Mg, Na, K and C-CO<sub>2</sub> evolution) soil attributes and nematode community in soil and roots, carried out 30 days before and 30 and 90 days after sugarcane cut and vinasse application. There was reduction in total amount of nematode after vinasse irrigation. Soil density and Ca<sup>++</sup> level correlated positively with the total amount of nematode and, in particular, the plant parasitic nematodes. Inversely, the organic matter correlated negatively with the free-living nematodes, plant parasitic nematodes and consequently the total amount of nematodes in soil, but presented positive correlation with endoparasites in roots. Changes in time on C-CO<sub>2</sub> evolution were not significant neither the correlation with the *taxa* or trophic groups. The vertical irrigation effect on soil was signalized on *Pratylenchus* and Dorilamidae distribution and soil density. The higher changes in nematode densities in soil were attributed to depth, being layers of 10 and 20 cm the most crowded. According to semivariograms, endoparasite distribution fitted to spherical before and 30 days after and before vinasse application. However, ectoparasite distribution, fitted to spherical

model before irrigation, shifted to exponential 30 days before vinasse application. Spatial dependence of ectoparasites was moderate after and before irrigation. Endoparasites presented moderate dependence before and weak after irrigation. At 90 days after irrigation, endo and ectoparasites did not present correlation among points sampled showing pure nugget effect.

**Key-word:** Nematode, management, *Saccharum* sp., spatial variability, trophic diversity

---

# *Capítulo I*

---

## **Introdução Geral**

## INTRODUÇÃO GERAL

### 1. Cana-de-açúcar: características e importância econômica

A cana-de-açúcar, híbridos *Saccharum* spp. L., pertence à divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, subclasse Commelinidae, ordem Cyperales, família Poaceae, tribo Andropogonae e subtribo Saccharinae (LUCCHESI, 2001). Há evidências de que a domesticação da cana iniciou-se por volta de 6.000 A.C. na China e Índia. Durante o processo de evolução, o homem selecionou plantas que continham caldo mais açucarado e menos fibra. As canas nobres (*S. officinarum* L.) surgiram na Nova Guiné a partir de *S. robustum* Jesw. e posteriormente foram levadas para Ásia (Índia e China) no século 15 e 16 e para as Ilhas da Polinésia (pacífico) na metade do século 18 (MOZAMBANI, et al. 2006).

A cana-de-açúcar chegou ao Brasil por volta do ano de 1530 trazida para a capitania de São Vicente, atual estado de São Paulo, por Martim Afonso de Souza, nas expedições portuguesas. Logo encontrou as condições propícias para seu pleno desenvolvimento possibilitando o estabelecimento em grandes propriedades fundiárias, tornando-se então a primeira cultura de grande importância econômica para o país. Dois anos após a sua introdução no Brasil, foi levada para a Capitania de Pernambuco, por Duarte Coelho Pereira (ANDRADE, 1985).

A cana-de-açúcar tornou-se destaque nas atividades agrícolas de expressão sócio-econômica tanto para comércio interno como exportações desde a sua introdução no Brasil, atingindo índices máximos após a implantação de Programa Nacional do Alcool (Proálcool), que proporcionou significativo aumento na área de produção em todo o país (ANDRADE, 1985). O Brasil atualmente é o maior produtor mundial no complexo sucroalcooleiro, exercendo liderança em todos os segmentos: cana-de-açúcar, açúcar e álcool (IBGE, 2010).

Em 2010 a produção nacional foi de 730 milhões de toneladas e a área plantada em todo território foi de 10,2 milhões de hectares. A região Nordeste detém 10% da produção nacional, apresentando grande diferença em produtividade quando comparada com a região Sudeste, Sul e Centro-Oeste. Atualmente o maior produtor nacional de cana-de-açúcar é o estado de São Paulo com aproximadamente 58% da produção nacional, alcançando produção média de 427,9 milhões de toneladas seguida por Minas Gerais (61,3), Paraná (55,3), Goiás (47,5), Mato Grosso do Sul (34,8), Alagoas (25,7) e Pernambuco (23,1) (IBGE, 2010).

## **2. Interações fitonematóides – cana-de-açúcar**

A produção de cana-de-açúcar em Pernambuco vem diminuindo safra a safra devido, principalmente, às intempéries climáticas, degradações do solo, topografia irregular e ataque de fitopatógenos, repercutindo penosos reflexos sócio-econômicos. Dentre os problemas fitossanitários, destacam-se as fitonematoses, que contribuem de forma significativa para uma baixa produtividade agrícola na região (MOURA, 2000).

Fitonematóides são parasitos obrigatórios, que necessitam de nutrientes do citoplasma de células vivas da planta hospedeira para o seu desenvolvimento e reprodução. A interação entre nematóides e planta hospedeira é complexa e dinâmica, podendo envolver estímulo à eclosão, atração até o hospedeiro, penetração e migração dentro dos tecidos, reconhecimento do tecido adequado para alimentação e a modificação das células hospedeiras. O ataque dos nematóides à cana-de-açúcar restringe-se às raízes, de onde extraem nutrientes para o crescimento e desenvolvimento e, para isso, injetam toxinas no sistema radicular, resultando em deformações nas raízes (DINARDO-MIRANDA, 2006).

Estes fitoparasitos, quando em altas densidades populacionais, causam severos danos ao sistema radicular, que se torna pouco eficiente, diminuindo o desenvolvimento da cana-de-açúcar e conseqüentemente a produtividade agrícola (LORDELLO, 1984). Segundo Chaves; Pedrosa e Moura (2002), por se tratar de uma cultura com monocultivo contínuo, as populações de nematóides em cana-de-açúcar são favorecidas por não ter, quase sempre, pousio entre um cultivo e outro e desta forma sempre haverá planta hospedeira mantendo a população dos fitoparasitos. Dinardo-Miranda; Menegatti (2003) estimaram que na cultura da cana-de-açúcar os danos causados pelos nematóides em geral sejam superiores a 20% da produção. Apenas para as espécies de *Meloidogyne* Goeldi, estes prejuízos foram estimados em 15%, podendo atingir até 60% em áreas com métodos precários de controle fitossanitário (CADET; SPAULL, 2005).

Tabuleiros nordestinos registram os mais altos índices de perdas ocasionadas pelas nematoses em cana-de-açúcar. Nestes locais, os níveis populacionais de fitonematóides são altos, predominando os gêneros *Pratylenchus* Graham, *Meloidogyne* e *Helicotylenchus* Steiner (CHAVES; PEDROSA; MOURA, 2004). Cruz; Silva e Ribeiro (1986), em levantamento populacional de nematóides em cana-de-açúcar em cinco unidades produtoras de Alagoas e Sergipe, observaram índices elevados dos gêneros *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* e *Criconemella* De Grisse e Loof, em contraste com baixos índices de *Meloidogyne* e *Trichodorus* Cobb. Por outro lado, Moura et al. (2000), trabalhando com 1.097 amostras compostas de solo e raízes, coletadas em diversas áreas produtoras de cana-de-açúcar no Nordeste, relataram os gêneros *Meloidogyne* e *Pratylenchus*, como os mais freqüentes da região.

Segundo NOVARETTI (1974), dentre as 275 espécies de 48 gêneros já registradas associadas a essa gramínea, os ectoparasitos são os mais abundantes e freqüentes. Experimentos conduzidos na África do Sul relataram que *Trichodorus* e

*Paratrichodorus* Siddiqui diminuíram a absorção de água pelas raízes, limitando o crescimento dos colmos em cana-planta. No Oeste da África, em Burkina Faso, observou-se menor efeito, em virtude da cana ser irrigada. No mesmo local, em socarias, as perdas foram ocasionadas devido à presença de *Xiphinema* Cobb. e *Paratrichodorus* (CADET, 1985). No Brasil, a patogenicidade dos ectoparasitos ainda não foi pesquisada, muito embora existam estudos mostrando associações quase permanentes entre cana-de-açúcar e os gêneros *Helicotylenchus* Steiner, *Paratrichodorus*, *Trichodorus*, *Tylenchorhynchus* Cobb, *Hemicycliophora* De Man, *Xiphinema* e *Criconemella* (CRUZ; SILVA; RIBEIRO, 1986; MOURA et al., 1999; MOURA, 2000 e MOURA et al., 2000, MOURA 2005). Segundo Chaves; Pedrosa; Moura (2002), apesar da ocorrência de ectoparasitos no Nordeste ser frequente, pouca influência é observada na produtividade da cana planta e na socaria.

A ocorrência de fitonematoses na região Nordeste está frequentemente associada aos endoparasitos *Meloidogyne* e *Pratylenchus* (CHAVES; PEDROSA; MOURA, 2002). Os problemas ocasionados por espécies endoparasitas na região foram agravados pela expansão do cultivo da cana-de-açúcar para tabuleiros costeiros, locais em que a ocorrência de estações secas prolongadas e solos arenosos são comuns, possibilitando maior sobrevivência destas espécies que estão protegidas no interior das raízes.

Segundo Moura (2000), depois de *Meloidogyne* e *Pratylenchus*, os nematóides pertencentes aos gêneros *Helicotylenchus*, *Paratrichodorus*, *Trichodorus*, *Tylenchorhynchus*, *Hemicycliophara*, *Xiphinema*, *Radopholus* Thorne, *Longidorus* Thorne e Swanger e *Rotylenchulus* Lindord e Oliveira seguem em sequência de ocorrência em canaviais na região do Nordeste.

Na tentativa de diminuir as densidades populacionais de fitonematóides, vários métodos de controle têm sido pesquisados nos últimos anos, visando uma integração

entre as técnicas disponíveis, para tornar o processo produtivo mais racional, eficiente e econômico (LOPES, 2007). O emprego de matéria orgânica tem sido preconizado com destacada eficiência pra controle desses organismos, contribuindo para a redução do uso de nematicidas e os conseqüentes impactos ao meio ambiente. Conforme Ferraz et al. (2010), a incorporação de matéria orgânica ao solo cria condições favoráveis para multiplicação de inimigos naturais desses organismos, principalmente fungos, além de promover formação de substâncias orgânicas, tais como ácidos graxos voláteis, que podem apresentar ação nematicida.

### **3. Vinhaça e modificações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo**

A vinhaça é um dos resíduos gerados na industrialização da cana-de-açúcar. Dos efluentes líquidos da indústria sucroalcooleira, a vinhaça é a que possui maior carga poluidora, apresentando demanda bioquímica de oxigênio (DBO) variando de 20.000 a 35.000 mg L<sup>-1</sup>. No Brasil, sua importância resulta não só pelo grande volume gerado, que chega a ser de 12 a 15 vezes o volume de álcool produzido, mas também da economia de insumos que se obtém com a prática do aproveitamento na forma de fertilizante e como condicionadora de solos cultivados com cana-de-açúcar. No geral a vinhaça é rica em matéria orgânica e em nutrientes minerais como o potássio (K<sup>+</sup>), o cálcio (Ca<sup>++</sup>) e o enxofre (S<sup>-</sup>), e possui uma concentração hidrogeniônica (pH) variando entre 3,7 e 5,0 (LUDOVICE, 1997; BARROS et al., 2010).

A fertirrigação com vinhaça nos canaviais foi intensificada a partir das proibições de despejo desse subproduto nos cursos d'água. Além disso, essa prática de aplicação de vinhaça *in natura* ganhou espaço uma vez que requer pouco investimento, baixo custo de manutenção, não envolve uso de tecnologia complexa e possibilita uma rápida

eliminação de grandes quantidades desse material. A partir de então, alguns estudos indicaram a ação benéfica dessa prática em relação à recomposição de algumas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (NEVES; LIMA; DOBEREINER, 1983; CORTEZ; MAGALHÃES; HAPP, 1992; TENÓRIO et al. 2000).

Segundo Giachini (2009), a adição de vinhaça, juntamente com a incorporação de matéria orgânica, pode melhorar as condições físicas do solo e promover maior mobilização de nutrientes, em função da maior solubilidade proporcionada pelo resíduo líquido; todavia, quando usada para este fim, as quantidades não devem ultrapassar sua capacidade de retenção de íons, isto é, as dosagens devem ser mensuradas de acordo com as características de cada solo, uma vez que este possui quantidades desbalanceadas de elementos minerais e orgânicos, podendo ocorrer a lixiviação de vários desses íons, sobretudo do nitrato e do potássio (SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007; BRITO; ROLIM; PEDROSA, 2009). Atualmente, a visão ambiental vem sendo enfatizada e, em alguns casos, a aplicação de vinhaça tem sido contestada pelos efeitos no solo e nas águas subterrâneas.

A dinâmica dos constituintes da vinhaça no solo, focando os aspectos físicos e químicos e a possível poluição do lençol freático foi estudada por Cunha et al. (1987), concluindo que houve um risco pequeno do potássio e do nitrato poluir água subterrânea, visto que a lixiviação de íons abaixo da profundidade máxima de observação (1,20m) das unidades coletoras ocorreu em pequena quantidade. Por outro lado, em experimento de campo, Lyra; Rolim; Silva (2003) trabalhou em uma área de 12 ha fertirrigada com vinhaça, onde foram instalados 30 poços de monitoramento a uma profundidade de 3m; para o K ficou evidenciado que os solos estudados foram eficientes na remoção, uma vez que os valores no resíduo in natura utilizado foram muito mais elevados que os constatados no lençol freático.

Sengk; Ribeiro e Conde (1998) verificaram que os maiores acréscimos de bases trocáveis no complexo de troca ocorreram nos primeiros 10 cm de profundidade dos solos estudados e acrescentam que, além do volume aplicado e do tempo de incubação, características como adsorção de íons, maior ou menor migração das bases, facilidade de contato do soluto existente na vinhaça e a superfície de adsorção, dentre outras, variaram em função do tipo de solo e de suas características. Miranda (2009) e Brito; Rolim e Pedrosa (2009) constataram efeitos benéficos da vinhaça sobre as propriedades físicas e químicas dos solos, por levar a um aumento da capacidade de retenção de umidade, porosidade, nível de potássio e condutividade elétrica. Tenório et al., (2000) observou que além das características citadas anteriormente, houve também aumento nas atividades biológicas.

No momento em que a matéria orgânica contida na vinhaça é incorporada ao solo, ela é colonizada por fungos, os quais a transformam em húmus, neutralizando a acidez do meio preparando, deste modo, o caminho para proliferação bacteriana (FERRAZ et al. 2010); quando adicionada como fertilizante, favorece também o desenvolvimento desses microrganismos os quais atuam na mineralização e imobilização do nitrogênio e na sua nitrificação, desnitrificação e fixação biológica, bem como de microrganismos participantes dos ciclos biogeoquímicos de outros elementos.

Segundo Oka (2010), as populações de fitonematóides podem ser afetadas pela matéria orgânica. Estas alterações são devidas à ação dos mecanismos de liberação de compostos nematicidas preexistentes; produção de compostos nematicidas, como amônia e ácidos graxos, durante a degradação da matéria orgânica; introdução ou incremento de microrganismos antagonistas; aumento da tolerância e resistência das plantas ao ataque de patógenos; e alterações nas propriedades físicas do solo, que são prejudiciais ao comportamento do nematóide. Dijan; Ponchet e Cayrol (1994)

concluíram que a alta acidificação do solo, promovida pela alta concentração de matéria orgânica, forma moléculas de ácidos orgânicos não dissociadas que conseguem ultrapassar a cutícula dos nematóides com liberação de H<sup>+</sup> dentro do pseudoceloma, plasmolizando o fitoparasito. Segundo Ferraz et al. (2010), o sinergismo entre os mecanismos de ação da matéria orgânica pode ser responsável pela ação supressora sobre o patógeno, mais do que propriamente o efeito isolado de apenas um deles.

Pedrosa et al. (2005) estudou o efeito de supressividade de nematóides em cana-de-açúcar pela adição de vinhaça ao solo e avaliou que o efeito supressivo do resíduo foi diretamente proporcional ao volume da vinhaça adicionado e a dosagem equivalente a 500 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> foi a mais indicada para manejo de *M. incognita* em cana-de-açúcar.

A extensa literatura disponível relata efeitos da aplicação de vinhaça sobre as características e propriedades físico-químicas e mecânicas dos solos (NEVES; LIMA; DOBEREINER, 1983; CORTEZ; MAGALHÃES; HAPP, 1992; TENÓRIO et al. 2000; PEDROSA et al., 2005); no entanto, são poucas as informações relativas sobre os efeitos biológicos advindos da aplicação deste resíduo ao solo, principalmente sobre a atividade supressiva no controle de fitonematóides.

Mesmo considerando os relatos de redução nas populações de nematóides parasitos de planta após a fertirrigação com vinhaça em campos cultivados com cana-de-açúcar, existem poucos estudos acerca da ação direta desses resíduos sobre os principais nematóides fitoparasitos (PEDROSA et al., 2003). Entretanto, há fortes indícios de que a provável ação dos resíduos na redução populacional de fitonematóides é indireta e está associada à proliferação de inimigos naturais e à atividade e biodiversidade dos nematóides, fitoparasitos ou não, no ecossistema (ALBUQUERQUE; PEDROSA; MOURA, 2002). No primeiro caso, um aumento na proliferação de predadores e parasitos de nematóides tem sido relatado decorrente da incorporação de matéria

orgânica ao solo (KERRY, 1990; STIRLING, 1991). O segundo caso é mais complexo, envolvendo dinâmica de cadeia alimentar dos ecossistemas (NILES; FRECKMAN, 1998).

#### **4. Comunidades de nematóides no solo e seu uso como bioindicadores**

As comunidades de nematóides no solo incluem cinco principais grupos tróficos, os quais são os parasitos de plantas ou fitófagos, os bacteriófagos, os micófagos, predadores ou carnívoros e os onívoros (CARES, 2006).

Os fitoparasitos podem causar grandes perdas anuais na produção de alimentos. Os bacteriófagos contribuem para a regulação da quantidade de nitrogênio e fósforo e sua disponibilização para as plantas; podem influenciar a nodulação de raízes de leguminosas por bactérias fixadoras de nitrogênio; e também consumir e disseminar bactérias fitopatogênicas (CARES; HUANG, 2008). Alguns nematóides bacteriófagos, podem ser considerado indicadores de fertilidade do solo uma vez que são capazes de reproduzir e levar a uma explosão populacional em curtos períodos de tempo em condições de solos enriquecidos (FERRIS; BORGERS; GOEDE, 2001).

Os nematóides micófagos além de se alimentar de fungos saprofitos, parasitas ou benéficos podem se comportar como fitoparasitos. A maioria dos nematóides predadores são polívoros, alimentando-se de outros nematóides, protozoários, rotíferos, tardígrados, células bacterianas e esporos de fungos. Os nematóides onívoros podem utilizar de recursos alimentares diversos, incluindo fungos, bactérias, raízes de plantas, algas, nematóides e outros invertebrados. (CARES; HUANG, 2008).

Devido ao curto ciclo de vida, com aproximadamente um mês por ciclo, e aos diferentes hábitos alimentares, os nematóides de solo refletem fielmente as mudanças ambientais, alterando a estrutura e a composição da comunidade. Vários trabalhos têm

detectado diferenças na estrutura trófica em diferentes ecossistemas e tratamentos do solo (FERRIS; VINETTE; LAU, 1996; FRECKMAN; HUANG, 1998, CARES; HUANG, 2008; SILVA; OLIVEIRA; INOMOTO, 2008), confirmando os grupos funcionais como indicadores adequados para o manejo de sistemas agrícolas. Os grupos funcionais, parasitas de plantas, bacteriófagos e os micófitos constituem a maior parte dos nematóides na maioria dos ecossistemas (FRECKMAN; CASWELL, 1985, CARES; HUANG, 2008). Embora a densidade populacional de nematóides não tenha sido correlacionada com a diversidade encontrada, Goulart (2003) e Silva; Oliveira e Inomoto (2008) encontraram menor diversidade e maior abundância de nematóides em sistemas agrícolas intensivos em comparação com ecossistemas de vegetação nativa.

É geralmente aceito que quanto maior a diversidade de nematóides em uma comunidade, mais numerosas são as possibilidades de interação entre as espécies componentes da cadeia alimentar, favorecendo a sustentabilidade dos solos (CARES; HUANG, 2008). A estrutura da comunidade de nematóides é fortemente influenciada pelo tipo de vegetação. Cares e Huang (1991) observaram diferenças quanto à distribuição de táxons de nematóides entre a mata de galeria, campo gramíneo e campo sujo adjacentes. Os autores observaram que 45% dos gêneros se mantiveram associados a apenas um tipo de vegetação, 33% a dois tipos e apenas 23% aos três tipos. Desse modo, os nematóides com uma base alimentar mais ampla ou que independam de planta viva como fonte de alimento são dotados de maior plasticidade ambiental (CARES; HUANG, 2008).

Pesquisas sobre biodiversidade ainda são escassas no Brasil. Segundo Goulart (2003) o uso da biodiversidade em solos para o desenvolvimento de indicadores biológicos de qualidade ambiental em agroecossistemas é muito importante para identificar o efeito de vários sistemas de manejo sobre a biodiversidade dos solos; definir estratégias de

manejo mais sustentáveis; construir uma base de dados biológicos para subsidiar estudos sobre impacto de sistemas agrícolas nas propriedades físico-químicas, na ciclagem de nutrientes e na dinâmica da matéria orgânica em solos.

## **5. Distribuição espacial de fitonematóides e utilização da geoestatística**

O arranjo espacial de populações de fitonematóides no campo é definido por dois componentes: a distribuição vertical e horizontal destes organismos do solo. Estes componentes podem mudar com o tempo, devido aos diferentes aspectos da dinâmica da população, da redistribuição ativa e passiva, bem como das formas de disseminação destes fitopatógenos (BEEN; SCHOMAKER, 2006; MARANHÃO, 2008).

O padrão espacial horizontal de nematóides fitoparasitos é tipicamente agregado, podendo ser dividido em uma micro (dentro do campo) e uma macro (grandes regiões, países e parte de continentes) distribuição dos componentes. Já o padrão espacial vertical é limitado pela profundidade das camadas do solo acessível para as raízes das plantas hospedeiras e pelo enraizamento das plantas hospedeiras, que pode limitar a profundidade habitada pelas espécies de nematóides (BEEN; SCHOMAKER, 2006).

O conhecimento da distribuição espacial das infestações por nematóides permite direcionar as técnicas de controle apenas nas áreas onde os níveis normais se encontram acima dos níveis de tolerância (SILVA; GARCIA; MÔNICO, 2000). No entanto, segundo Wallace e Hawkins (1994), a distribuição espacial dos nematóides no campo é descrita como agregada e implica em dependência espacial de dados. Desta forma, a estatística convencional é geralmente inapropriada para descrevê-los, quando estes estão espacialmente correlacionados.

Para representar a dependência espacial nas amostragens utiliza-se a geoestatística. Esta ferramenta surgiu na década de 50, quando o engenheiro de minas Krige concluiu

que a análise de variância era insuficiente para trabalhar com dados de concentração de ouro. Seria então necessário levar em consideração a distância entre as observações, surgindo o conceito da geoestatística (FARIAS et al., 2002; SOARES, 2003).

A geoestatística consiste na variografia e Krigagem. A variografia usa semivariogramas para caracterizar e modelar a variância espacial dos dados (FARIAS, 2001). Enquanto que a krigagem permite que valores não amostrados na área possam ser estimados e na área com valores amostrados seja feito desenho preciso dos mapas (ROSSI; DELAVILLE; QUÉNEHÉRVÉ, 1996).

Wallace e Hawkins (1994), nos Estados Unidos, quantificaram a variabilidade espacial na distribuição de *Aglenchus agricola* (de Man), *Pratylenchus penetrans* (Cobb) Chitwood & Ofeita, *Heterodera trifolli* (Goffart), *Tylenchorhynchus* spp. Cobb, *Paratylenchus* spp. e *Criconemella* sp. geraram, através da “krigagem” ordinária, mapas de ocorrência destas espécies para a área estudada. No Brasil, Dinardo-Miranda e Fracasso (2009) afirmam ser viável o uso da geoestatística para avaliar a distribuição espacial de nematóides parasitos de planta em cana-de-açúcar, bem como para definir planos de amostragem visando implementação no programa de manejo integrado.

Diante do exposto, os objetivos do presente estudo foram avaliar o efeito da vinhaça nas comunidades de nematóides no solo e raízes; correlacionar as variações nos atributos físicos e químicos do solo e nas comunidades de nematóides em função da fertirrigação com vinhaça e avaliar o efeito da fertirrigação na distribuição vertical da nematofauna do solo e caracterizar a variabilidade espacial destes fitoparasitos 30 dias antes do corte da cana-de-açúcar e fertirrigação com vinhaça, 30 e 90 dias depois.

## Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, P. H. S.; PEDROSA, E. M. R.; MOURA, R. M. Relações nematóide-hospedeiro em solo infestado por *Meloidogyne* spp. e tratado com torta de filtro e vinhaça. **Nematologia brasileira**, Piracicaba, v. 26, p. 27-34, 2002.

ANDRADE, J. C. **Esforços históricos de antigas variedades de cana-de-açúcar**. Maceió: Indústria Gráfica Alagoana Ltda, 1985. 285 p.

BARROS, R. P.; ALMEIDA, P. R. V.; SILVA, T. L.; SOUZA, R. M.; L. B.; VIÉGAS, R. A.; M. C. V. B.; MELO A. S. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.40 n.3, p. 341-346, 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

BRITO, F. M.; ROLIM, M. M.; PEDROSA, E. M. R. Efeito da aplicação de vinhaça nas características químicas de solos da zona da mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.4 n.4, p. 456-462, 2009.

CADET, P. Incidence des nêmatodes sur les réponses de canne à sucre au Burkina Faso et em Côte d'Ivoire. **Revue Nématologie**, Orstom, v.8, p. 277-284, 1985.

CADET, P.; SPAULL, V. W. Nematodes parasites of sugarcane. In: LUC, M.; SIKORA, R. A.; BRIDGE, J. (Eds.). **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. 2. Ed. Wallingford: CABI International Publishing, 2005. p. 645-674.

CARES, J. E. Nematóides como indicadores ambientais de solo. In: congresso brasileiro de nematologia, Campos dos Goytacazes, 26, **Proceedings...** Brasília: SBN, 2006, p.14-16.

CARES, J. E.; HUANG, S. P. Comunidades de Nematóides sob Diferentes Sistemas na Amazônia e Cerrados Brasileiros. In: MOREIEA, A. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Eds.). **Biodiversidade de Solos em Ecossistemas Brasileiros**. UFLA-Lavras, 2008. p. 409-444.

CARES, J. H.; S. P. HUANG. Nematode fauna in natural and cultivated cerrados of Central Brazil. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.16, p.199-209, 1991.

CHAVES, A., PEDROSA, E. M. R. MOURA, M. Efeito de Carbofuran e torta de filtro sobre a densidade populacional de fitonematóides em áreas que apresentam síndrome do mau desenvolvimento da cana-de-açúcar em tabuleiros costeiros da Usina São José- PE. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 28 n.1, p. 101-103, 2004.

CHAVES, A.; PEDROSA, E. M. R.; MOURA, M. Efeitos da aplicação de terbufos sobre a densidade populacional de nematóides endoparasitos e cinco variedades de

cana-de-açúcar no Nordeste. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v.26 n.2, p. 167-176, 2002.

CORTEZ, L. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; HAPP, J. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. **Revista Brasileira de Energia**, Unicamp-Campinas, v.2(2), p. 111-146, 1992.

CRUZ, M. M., SILVA, S. M. S. & RIBEIRO, A. G. Levantamento populacional de nematóides em cana-de-açúcar em áreas de baixa produtividade nos Estados de Alagoas e Sergipe. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 10, p.27-28, 1986.

CUNHA, R. C. A.; COSTA, A. C. S.; MASET FILHO, B.; CASARINI, D. C. P. Effects of irrigation with vinasse and dynamics of its constituents in the soil: physical and chemical aspects. **Water Science Technology**, Colchester , v.19 (8), p.155-156, 1987.

DIJAN, C.; PONCHET, M.; CAYROL, J.C. Nematological properties of carboxylic acids and derivatives. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, New York, v.50, p.229-239, 1994.

DINARDO-MIRANDA, L. L. Manejo de nematóides na cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, S. N.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (Eds). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 281-292.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V. Spatial distribution of plant-parasitic nematodes in sugarcane fields. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66 n. 2, p. 188-194, 2009.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; MENEGATTI, C. C. Danos causados por nematóides a variedades de cana-de-açúcar em cana planta. **Nematologia Brasileira**, v. 27, p. 69-73, 2003.

FARIAS, P. R. S. A geostatística e a agricultura de precisão como ferramenta no controle de pragas e doenças. In: ROBERTO, S. R.; RALISCH, R. (Eds). **V Mostra acadêmica de trabalhos da agronomia**. Londrina: UEL, 2001. p. 9-18.

FARIAS, P. R. S.; BARBOSA, J. C.; VIEIRA, S. R.; SÁNCHEZ-VILA, X. FERRAZ, L. C. C. B. Geostatistical analysis of the spatial distribution of *Rotylenchulus reniformis* on cotton cultivated in crop rotation. **Russian Journal of Nematology**, Moscow, v.10, p. 1-9, 2002.

FERRAZ, S.; FREITAS, L. G.; LOPES, E. A.; DIAS-ARIEIRA, C. R. **Manejo Sustentável de Fitonematóides**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2010, 304p.

FERRIS, H.; BOGERS, T.; GOEDE, R. G. M. De. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. **Applied soil ecology**, Amsterdam, v.18, p. 13-29, 2001.

FERRIS, H.; VENETTE, R. C.; LAU, S. S. Dynamics of nematode communities in tomatoes grown in conventional and organic farming systems, and their impact on soil fertility. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.3 p. 161-175, 1996.

FRECKMAN, D. W.; CASWELL, E. P. The ecology of nematodes in agroecosystems. **Annual Review of Phytopatology**, Palo Alto. v. 23, p. 275-296, 1985.

FRECKMAN, D. W.; HUANG, S. P. Response of the soil nematode community in a shortgrass steppe to long-term and short-term grazing. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.9, p. 39-44, 1998.

GIACHINI, C. F., FERRAZ, M. V. Benefícios da utilização de vinhaça em terras de plantio de cana-de-açúcar - revisão de literatura. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. Disponível em: <[www.revista.inf.br/agro15/revisão/REVLITO1.pdf](http://www.revista.inf.br/agro15/revisão/REVLITO1.pdf)> acesso em 25 de outubro de 2010.

GOULART, A. M. C., MONTEIRO, A. R.; FERRAZ, L. C. B. Comunidade de nematóides em cerrado com vegetação original preservada ou substituída por culturas.2. Diversidade taxionomica. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v.27 n.2, p.129-137, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **SIDRA 97**: sistema IBGE de recuperação automática. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 jan. 2011.

KERRY, B. R. An assessment of progress toward microbial control of plant-parasitic nematodes. **Journal of Nematology**, Gainesville, v.22, p.621-631, 1990.

LOPES, E. A. **Formulação de condicionadores de solo com propriedades nematocidas** 2007, 99 f. (Tese de Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.

LORDELLO, L. G. E. **Nematóides das plantas cultivadas**. São Paulo: Nobel, 1984. p.81-123.

LUCCHESI, A. A. Cana-de-açúcar. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Eds.). **Ecofisiologia de culturas extrativistas: cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendezeiro e oliveira**. Piracicaba: Cosmópolis Stoller do Brasil, 2001. p. 13-45.

LUDOVICE, M. T. **Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático**. 1997, 117f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil), UNICAMP, Campinas.

LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Topossequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7 n.3, p. 525-532, 2003.

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

MIRANDA, T. L. **Relações entre atributos físicos e biológicos do solo após operações de colheita e aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar**. 2009, 81p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Água e Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

MOURA, R. M. Controle integrado dos nematóides da cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 22, 2000, Uberlândia. **Proceedings...** Brasília: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2000, p. 88-94.

MOURA, R. M. Nematóides de interesse agrícola assinalados na UFRPE no Nordeste do Brasil (1967-2005). **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 29 n.2, p.289-292. 2005.

MOURA, R. M.; PEDROSA, E. M. R.; MARANHÃO, S. R. V. L.; MACEDO, M. E. A.; MOURA, A. M.; SILVA, E. G.; LIMA, R. F. Ocorrência dos nematóides *Pratylenchus zae* e *Meloidogyne* spp. em cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.25, p.101-103, 2000.

MOURA, R. M.; PEDROSA, E. M. R.; MARANHÃO, S. R. V. L.; MOURA, A. M.; MACEDO, M. E. A.; SILVA, E. G. Nematóides associados à cana-de-açúcar no estado de Pernambuco, Brasil. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v. 23, p. 92-99, 1999.

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A. S.; SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, S. N.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (Eds.). **Atualizações em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 11-19.

NEVES, C. P.; LIMA, I. T.; DOBEREINER, J. Efeito da vinhaça sobre a microflora do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.7, p. 131-136, 1983.

NILES, R. K.; FRECKMAN, D. W. From the Ground up: Nematode Ecology in Bioassessment and Ecosystem Health. In: BARKER, K. R.; PEDERSON, G. A. AND WIDHAM, G. L. (eds.). **Plant and Nematode Interactions**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1998. p.65-85.

NOVARETTI, W. R. T.; ROCCIA, D.; LORDELLO, L. G. E.; MONTEIRO, A. R. Contribuição ao estudo dos nematóides que parasitam a cana-de-açúcar em São Paulo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA, 1., 1974, Piracicaba. **Proceedings ...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Nematologia, p. 27-32. 1974.

OKA, Y. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments – A review. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 44, p. 101-115, 2010.

PEDROSA, E. M. R.; MOURA, R. M.; MATOS, D. S. S.; PRADO, M.D.C.; MEDEIROS, J. E. Alterações biodinâmicas associadas à aplicação de vinhaça e torta de filtro e considerações para manejo de solos agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO

DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Salvador. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2003, CD Rom.

PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; ALBUQUERQUE, P. H. S.; CUNHA, A. C. Supressividade de nematóides em cana-de-açúcar por adição de vinhaça ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, p. 197-201, 2005.

ROSSI, J. P.; DELAVILLE, L.; QUÉNÉHERVÉ, P. Microspatial structure of a plant-parasitic nematode community in a sugarcane field in Martinique. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 3, p. 17-26, 1996.

SENGK, E.; RIBEIRO, A. C.; CONDE, A. R. Efeito da vinhaça em algumas propriedades de amostras de dois solos de viçosa (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.12, p.11-15, 1998.

SILVA, E. A.; GARCIA, A.; MONICO, J. F. V. Agricultura de precisão e o potencial de tecnologias inovadoras no manejo integrado de fitonematóides. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITONEMATOLOGIA, 22., 2000, **Proceedings...** Brasília, Sociedade Brasileira de Nematologia, 2000 p. 19-27.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P. G.; C. BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11 n.1, p.108-114, 2007.

SILVA, R. A.; OLIVIRA, C. M. G.; INOMOTO, M. M. Fauna de fitonematóides em áreas preservadas e cultivadas da floresta amazônica no estado de Mato Grosso. **Tropical Plant Pathology**, Brasil, v. 33 n.3, p. 204-208, 2008.

SOARES, A. F. Estudo de dados climáticos utilizando o módulo “análise” do spring (v. 3.6.02) In: CONGRESSO BRASILEIRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E AGROINDÚSTRIA (SBI-Agro), 4., 2003, Porto Seguro. **Proceedings...** Lavras: Sociedade Brasileira Aroinformática. 2003. p.11-15.

STIRLING, G. R. **Biological control of plant parasitic nematodes**. Brisbane: C.A.B. International, 1991. 274 p.

TENÓRIO, Z. CARVALHO, O. S.; SILVA, O. R. R. F.; MONTES, J. M. G.; LOPEZ, F. G. Estudio de la actividad biológica de los solos costeros del NE de Brasil enmendados com resíduos agrícolas: vinaza y torta de caña de azúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, p.70-74, 2000.

WALLACE, M. K.; HAWKINS, D. M. Applications of geostatistics in plant nematology. **Journal of Nematology**, Hanover, v. 26, p. 626-634, 1994.

## *Capítulo II*

---

**Avaliação dos atributos físicos, químicos e da estrutura trófica da nematofauna em solo cultivado com cana-de-açúcar após o corte e fertirrigação com vinhaça**

## **AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E DA ESTRUTURA TRÓFICA DA NEMATOFAUNA EM SOLO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR APÓS O CORTE E FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA<sup>1</sup>**

L. B. Caixeta<sup>2</sup>, E. M. R. Pedrosa<sup>3\*</sup>, D. A. H. S. Leitão<sup>4</sup>, N. M. R. Barbosa<sup>5</sup> and M. M. Rolim<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Parte da dissertação da primeira autora. <sup>2</sup>Aluna de Pós-graduação, Universidade Federal Rural de Pernambuco Departamento de Agronomia, Brasil. <sup>3</sup>Professor, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Brasil. <sup>4</sup>Aluno de graduação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Brasil. <sup>5</sup>Aluna de graduação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Brasil. <sup>6</sup>Professor, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Brasil. \*Autor para correspondência: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil, CEP: 52171-900, Phone: 55-81-85151222, Fax: 55-81-33206205, e-mail: elvira.pedrosa@dtr.ufrpe.br

### **ABSTRACT**

Many researches indicate advantage in using vinasse in the sugarcane irrigation, standing out rearrangement of some physical, chemical and biological soil properties which are detrimental to nematode development in field. The objectives of the present study were to evaluate nematode communities in soil and roots, correlating changes in physical and chemical soil attributes and nematode communities in function of irrigation with vinasse; evaluate the fertirrigation effect in vertical distribution of nematode communities in soil and in the spatial variability of the plant parasitic nematodes. Experiments were carried out in costal table area cultivated longer than 20 years with sugarcane. Horizontally, samples were collected in 49 points within a 60×60 m square net. Vertically, in each point, samples were collected 0-10, 10-20, 20-30, 30-

40, 40-50 cm deep. Evaluations based on physical (soil humidity, density, porosity, granulometry, penetration resistance (MPa) and particle density) and chemical (pH, H<sup>+</sup>, Al, Ca, Mg, Na, K, P and C-CO<sub>2</sub> evolution) soil attributes and nematode community in soil and roots, carried out 30 days before and 30 and 60 days after sugarcane cut and vinasse application. Experiments were carried out in costal table area cultivated longer than 20 years with sugarcane. Horizontally, samples were collected in 49 points within a 60×60 m square net. Vertically, in each point, samples were collected 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm deep. Evaluations based on physical and chemical and C-CO<sub>2</sub> evolution soil attributes and nematode community in soil and roots, carried out 30 days before and 30 and 60 days after sugarcane cut and vinasse application. The linear correlation grade between physical and chemical soil attributes and nematode *taxa* was determined through Pearson's correlation coefficient at 5% of probability. There was reduction in total amount of nematode after vinasse irrigation. Soil density and Ca<sup>++</sup> level correlated positively with the total amount of nematode and, in particular, the plant parasitic nematodes. Inversely, the organic matter correlated negatively with the free-living nematodes, plant parasitic nematodes and consequently the total amount of nematodes in soil, but presented positive correlation with endoparasites in roots. Changes in time on C-CO<sub>2</sub> evolution were not significant neither the correlation with the *taxa* or trophic groups, indicating that in the present study the effect of organic matter on nematode populations may be more directly evolved to toxic compound liberation.

**Key-word:** Nematode, management, *Saccharum* sp., trophic diversity

## RESUMO

Várias pesquisas indicam os benefícios do aproveitamento da vinhaça na fertirrigação da cana-de-açúcar, destacando a recomposição de algumas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que são detrimenais ao comportamento do nematóide no campo. O objetivo do presente estudo foi avaliar as comunidades de nematóides no solo e raízes, correlacionando as variações nos atributos físicos e químicos do solo e nas comunidades de nematóides em função da fertirrigação com vinhaça. Os experimentos foram conduzidos em área de tabuleiro costeiro cultivado com cana-de-açúcar há mais de 20 anos. Horizontalmente, as amostras foram coletadas em malha de 60×60 m, em 49 pontos. Verticalmente, em cada ponto, foram retiradas amostras nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm. As avaliações fundamentaram-se em atributos físicos (umidade, densidade, porosidade, granulometria, resistência do solo a penetração e densidade de partícula) e químicos (pH, H<sup>+</sup>, Al<sup>+++</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> e evolução C-CO<sub>2</sub>) do solo e caracterização da nematofauna, efetuadas 30 dias antes e 30 e 90 dias após o corte da cana e aplicação de vinhaça. Foi determinado o grau de correlação linear simples entre os pares de dados obtidos pelo coeficiente de correlação de Pearson a 5% de probabilidade entre as variáveis físicas e químicas do solo e populações de nematóides. Houve redução no número total de nematóides após a fertirrigação com vinhaça. A densidade do solo e o nível de Ca<sup>++</sup> correlacionaram-se significativamente com o total de nematóides e, em particular, com os fitoparasitos. A matéria orgânica correlacionou-se negativamente com nematóides de vida livre, fitonematóides e nematóides totais do solo, mas apresentou correlação positiva com os endoparasitos encontrados nas raízes. A evolução de C-CO<sub>2</sub> não variou significativamente entre os períodos nem apresentou correlações com os *taxa* ou grupos tróficos, indicando que no presente estudo o provável efeito da matéria orgânica sobre

as populações de nematóides está envolvido mais diretamente à liberação de compostos tóxicos.

**Palavras-chave:** Diversidade trófica, nematóide, manejo, *Saccharum* sp., variabilidade espacial

## INTRODUÇÃO

Em função dos danos que causam à cultura da cana-de-açúcar, os gêneros de nematóides de maior importância são *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood, *M. incognita* (Kofoid & White) Chitwood e *Pratylenchus zaei* Graham (Dinardo-Miranda, 2006). Estes organismos vêm assumindo papel de destaque, devido às limitações das técnicas de controle em diminuir de forma drástica e prolongada as populações em áreas infestadas, ocasionando elevadas perdas (Barros *et al.*, 2002; Chaves *et al.*, 2002).

O ataque dos nematóides à cana-de-açúcar restringe-se às raízes, de onde extraem nutrientes para o seu crescimento e desenvolvimento. Além do dano causado pela utilização de nutrientes da planta, estes parasitos injetam toxinas no sistema radicular causando deformações nas raízes (Dinardo-Miranda and Menegatti, 2003). Nematóides dos gêneros *Criconemella* De Grisse e Loof, *Helicotylenchus* Steiner, *Paratrichodorus* Siddiqi e *Trichodorus* Cobb estão constantemente associados aos canaviais nordestinos, porém sem nenhuma evidência de patogenicidade à cana-de-açúcar (Lordello, 1992; Spaul and Cadet, 2005).

Os danos causados por nematóides endoparasitos podem ser superiores a 20% (Dinardo-miranda and Menegatti, 2003). Apenas para as espécies de *Meloidogyne*, estes prejuízos foram estimados em 15%, podendo atingir até 60% em áreas com métodos precários de controle fitossanitário (Cadet and Spaul, 2005).

Dada a ausência de variedades comerciais resistentes a uma ou a mais espécies de nematóides, o manejo de áreas infestadas, atualmente, tem se baseado principalmente no

uso de nematicidas químicos aplicados no plantio e/ou nas soqueiras (Dinardo-Miranda *et al.*, 1998). Contudo, o benefício do uso de nematicidas é inconstante, uma vez que a amplitude do seu efeito depende do tipo e da quantidade de resíduo usado, da variedade da planta hospedeira, das condições ambientais, da espécie de nematóide e da microbiota dominante no solo (Stirling *et al.*, 2003), além de causar impactos negativos ao meio ambiente (Barros *et al.*, 2006). Somam-se a estes fatores os altos custos e a eficiência temporária de alguns produtos (Kerry, 2001).

A incorporação de matéria orgânica pode ser utilizada como método de controle alternativo, por proporcionar condições favoráveis para multiplicação de inimigos naturais dos fitonematóides, principalmente fungos, além de promover formação de substâncias orgânicas, tais como ácidos graxos voláteis, que podem apresentar ação nematicida (Ferraz *et al.*, 2010).

Várias pesquisas indicaram os benefícios do aproveitamento da vinhaça na fertirrigação (Silva *et al.*, 2007). É benéfica à recomposição de algumas propriedades físicas, químicas e biológicas (Cortez *et al.*, 1992; Tenório *et al.*, 2000), levando a um aumento da capacidade de retenção de umidade, porosidade, nível de potássio, condutividade elétrica e aumento nas atividades biológicas, além de não poluir os cursos de água.

O conhecimento sobre as propriedades deste resíduo e seu potencial efeito sobre as doenças radiculares é crítico para a adoção de estratégias adequadas de manejo (McDonald, 1994; Liddel, 1997). Diante do exposto, o presente estudo objetivou avaliar o efeito da vinhaça nas populações de nematóides no solo e raízes, correlacionando as variações nos atributos físicos e químicos do solo e nas comunidades de nematóides em função da fertirrigação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Usina Santa Tereza, localizada no município de Goiana-PE, em solo de tabuleiro costeiro com teores 12, 36 e 951 g kg<sup>-1</sup> de argila, silte e areia, respectivamente, apresentando textura arenosa. A área é fertirrigada com vinhaça e cultivada com variedade de cana-de-açúcar RB863129, considerada suscetível a fitonematoses. A região tem sido manejada sob sistema de plantio convencional há mais de 20 anos, sempre com cana-de-açúcar. O clima local, de acordo com o sistema de Koppen (1948), é 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. As temperaturas médias anuais variam em torno de 24°C, com amplitude térmica anual fraca de 3°C e isoietas de 1932,3 a 975,6mm anuais.

As avaliações foram efetuadas em três períodos diferentes de cultivo, 30 dias antes da fertirrigação com vinhaça e antes do corte da cana-de-açúcar; 30 e 90 dias após. As análises químicas fundamentaram-se na determinação dos teores de macronutrientes, capacidade de troca de cátions (CTC), saturação de bases (V%), soma de bases, saturação de alumínio(m), alumínio (Al<sup>+++</sup>), hidrogênio (H<sup>+</sup>), pH, teor de carbono e teor de matéria orgânica (M.O.). As análises físicas fundamentaram-se na determinação da resistência do solo à penetração, umidade, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade e granulometria. A estrutura trófica da nematofauna foi caracterizada pela densidade populacional e dominância dos taxa encontrados. Paralelamente foi estimada a respiração microbiana com base na evolução C-CO<sub>2</sub> do solo.

As amostras foram coletadas horizontalmente em 49 pontos georreferenciados, com espaçamento de 10 m entre os pontos, formando malha de 60 × 60 m. Para as análises físicas, as 245 amostras foram pesadas para obtenção do conteúdo de água (g) e depois levadas à estufa a 105°C por 48 h para obtenção da massa seca (g). A densidade de

partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico (MBV) (Flint and Flint, 2002). A densidade do solo foi determinada pelo método da proveta. A porosidade total foi calculada pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas. As diferentes classes texturais foram determinadas pelo método do densímetro, todas conforme a metodologia da EMPRAPA (1997).

A umidade gravimétrica foi determinada em cada amostra através da relação entre massa de água e massa de solo seco. As medidas de resistência à penetração foram realizadas com o penetrógrafo automático, em duas épocas: 30 dias antes e 30 dias após a aplicação da vinhaça. Anotou-se a profundidade de penetração para cada impacto, desde a superfície até 40 cm de profundidade. Os valores de profundidade de penetração foram convertidos em resistência à penetração (MPa).

As análises químicas foram realizadas nas 49 amostras coletadas na camada 20-30 cm, todas conforme metodologia da EMBRAPA (1997). A análise da respiração microbiana foi realizada nas 245 amostras de cada coleta segundo a metodologia de Grisi (1978).

Para as análises nematológicas, as 245 amostras foram homogeneizadas e processadas para extração a partir de 300 cm<sup>3</sup> de solo. Separadamente, 20 gramas de raízes foram coletadas em cada ponto amostrado e trituradas com água, sendo submetidas ao método da flotação centrífuga (Jenkins, 1964), para ambas as extrações. As suspensões de fitonematóides obtidas foram mantidas sob refrigeração (4-6°C). Os nematóides foram classificados quanto ao hábito alimentar em cinco grupos tróficos (fitoparasitos, bacteriófagos, micófagos, predadores e onívoros) baseado na morfologia do estoma e esôfago (Yates *et al.*, 1993). Para os fitonematóides a identificação foi feita ao nível de gênero de acordo com a chave de Mai *et al.* (1996). A contagem dos espécimes foi realizada em lâminas de Peters, com auxílio de um microscópio óptico, e

os resultados foram computados em número de espécimes por 300 cm<sup>3</sup> de solo e 20g de raiz.

Para análise dos dados foi aplicada a análise estatística descritiva (média, desvio padrão, erro padrão da média, mínimo, máximo e coeficiente de variação), utilizando-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para comparação das médias. Visando avaliar a possível relação entre as variáveis físicas e químicas do solo e população de nematóides pertencentes aos diferentes taxas encontrados na malha em cada época de amostragem, foi determinado o grau de correlação linear simples entre os pares de dados obtidos pelo coeficiente de correlação de Pearson a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes à nematofauna associada à rizosfera da cana-de-açúcar, nos três períodos de avaliação, encontram-se descritos na Tabela 1. O total de nematóides presentes em 300 cm<sup>3</sup> de solo em cada época de avaliação variou de 19.959 a 32.844, havendo maior abundância de nematóides parasitas de plantas nas três épocas de coleta.

Houve redução no número total de nematóides 30 e 90 dias após o corte e a fertirrigação com vinhaça, corroborando com resultados de Mattos (2010), que constatou diminuição nas populações de nematóides no solo após o corte e aplicação de vinhaça em área de tabuleiro cultivada com cana-de-açúcar. De acordo com Pedrosa *et al.* (2005) e Lopes (2007), a adição de matéria orgânica ao solo promove formação de substâncias orgânicas, tais como ácidos graxos voláteis, que podem apresentar ação nematicida, além de criar condições favoráveis à proliferação de microorganismos que atuam como inimigos naturais dos fitonematóides.

Entre os fitonematóides, houve maior densidade populacional dos gêneros *Criconemella* Grisse & Loof e *Pratylenchus* Graham em todas as épocas de coleta,

apresentando, respectivamente, 15,61% e 15,17% de dominância na primeira coleta; 20,63% e 15,63% na segunda e 29,03% e 10,24% na terceira (Tabela 1). Huang *et al.* (1996) consideraram que a maioria dos membros da superfamília Criconematoidea é encontrada em solos nativos, desaparecendo em cultivos anuais, não corroborando com os resultados do presente trabalho.

Em relação aos nematóides de vida livre, houve maior dominância de onívoros, representados pela família Dorylaimidae com 31,76%, 25,03% e 23,3% de dominância na primeira, segunda e terceira coleta, respectivamente, discordando de Cares and Huang (2008), que confirmaram a elevada população de membros da família Dorylaimidae como indicadores de solos não perturbados.

Quanto aos bacteriófagos, houve aumento da população da família Rhabditidae da primeira para a segunda coleta. Alguns nematóides bacteriófagos, típicos estrategistas-r, podem ser considerado indicadores de fertilidade do solo uma vez que são capazes de reproduzir e levar a uma explosão populacional em curtos períodos de tempo em condições de solos enriquecidos (Ferris *et al.*, 2001). Os baixos valores encontrados de predadores, micófagos e onívoros podem ser característicos de sistemas anuais. Silva *et al.* (2008) encontraram menor diversidade populacional de nematóides em sistemas agrícolas intensivos em comparação com ecossistemas de vegetação nativa.

Houve redução de endoparasitos na raiz da primeira para a segunda coleta, embora a densidade populacional começasse a aumentar da segunda para a terceira. O total de nematóides presentes nas épocas de avaliação variou de 2.688 a 14.680, havendo maior dominância de *Pratylenchus* na primeira e segunda coleta e *Meloidogyne* na terceira (Tabela 2).

A redução da população de endoparasitos pode ter sido consequência do corte e aplicação da vinhaça após a primeira coleta. Após 90 dias, quando as raízes estavam

restabelecidas, e as condições provavelmente mais favoráveis, a população de *Meloidogyne* foi superior a de *Pratylenchus*. Segundo Gay and Bird (1973), a penetração de raízes por espécies de *Pratylenchus* são mais rápidas do que de *Meloidogyne*, justificando maior densidade nas primeiras e segundas coletas. Turner and Chapman (1972) afirmam que a penetração de *M. incognita* em raízes pode inibir a penetração de *P. penetrans*. Porém as interações desta natureza podem variar com a época e resistência ao hospedeiro (Freckman and Chapman, 1972).

Quanto aos atributos físicos, houve redução significativa na densidade de solo da primeira para as demais coletas (Tabela 3), ocorrendo correlação significativa positiva ( $r=0,58$ ) com a profundidade, ou seja, quanto maior a profundidade, maior a densidade de solo (Tabela 5). Apesar de não ter ocorrido diferença elevada na porosidade do solo em relação às três coletas, houve uma pequena redução da primeira para as demais coletas (Tabela 3). Segundo Longo (1994), com o incremento do teor de matéria orgânica há melhor distribuição de micro e macroporos do solo, favorecendo a aeração e capacidade de infiltração e retenção de água, o que pode explicar a redução da porosidade ocorrida neste estudo. Além disso, afirma ainda que há melhor estruturação e redução da densidade do solo, favorecendo a exploração de maior volume de solo pelas raízes. Houve acréscimo significativo da umidade da primeira para as demais análises (Tabela 3), corroborando com os resultados de Miranda (2009), em que foi observado incremento na umidade após a aplicação da vinhaça.

Os teores de P, Ca, K, H, CTC, C e Matéria orgânica (M.O), aumentaram da primeira para as demais coletas (Tabela 3). Cambuim (1983) observou que as variações nos parâmetros estudados dependiam não só das doses de vinhaça aplicadas, mas também do tempo de incubação, o que pode justificar o aumento destas variáveis apenas após os

90 dias da fertirrigação. As demais variáveis estudadas não sofreram alterações após a fertirrigação.

Ocorreram correlações significativas entre os nematóides dentro dos três períodos de avaliação, sendo as mais altas observadas entre: Trichodorídeos (*Trichodorus* e *Paratrichodorus*) ( $r=0,99$ ); *Criconemella* e ectoparasitos ( $r=0,88$ ) e nematóides totais e fitonematóides ( $r=0,87$ ) (Tabela 4).

Quanto aos atributos físicos e químicos, as maiores correlações ocorreram entre densidade do solo e profundidade ( $r=0,58$ ), H e tempo ( $r=0,66$ ) e V e tempo ( $r=-0,62$ ) (Tabela 5). A densidade do solo correlacionou-se negativamente, dentre outros, com os nematóides de vida livre ( $r=-0,16$ ), fitonematóides ( $r=-0,16$ ) e nematóides totais do solo ( $r=-0,20$ ). Este resultado indica que os nematóides se relacionam de forma inversamente proporcional ao aumento da densidade do solo. Segundo Miranda (2009), a densidade do solo é crítica para a mobilidade e atividade dos nematóides, embora, em excesso, limite a sua sobrevivência devido às limitações de oxigênio.

Ocorreram correlações significativas entre cálcio e fitonematóides ( $r=0,15$ ), cálcio e nematóides totais ( $r=0,14$ ), saturação de bases e fitonematóides ( $r=0,14$ ) e saturação de bases e nematóides totais ( $r=0,19$ ) (Tabela 5). Resultados semelhantes foram encontrados por Mattos (2010), ao estudar a comunidade de nematóides e atributos químicos do solo em área de tabuleiro fertirrigada com vinhaça. Por outro lado, para os nematóides coletados das raízes, ocorreram correlações negativas entre endoparasitos e Mg ( $r=-0,25$ ) e saturação de bases e endoparasitos ( $r=-0,21$ ). Correlações positivas ocorreram para  $Ca^{++}$  e endoparasitos ( $r=0,18$ ).

O pH do solo é importante para as atividades dos nematóides, mesmo que os efeitos sobre estes microrganismos sejam indiretos (Rocha *et al.*, 2006). Neste estudo foi verificada pouca influência do pH nas comunidades de nematóides no solo, uma vez que

foi observado correlação apenas para os endoparasitos encontrados nas raízes ( $r=0,21$ ) (Tabela 6). Na nematofauna do solo não foi verificada nenhuma correlação entre as variáveis (Tabela 5). Este fato pode ser justificado pelo baixo acréscimo do pH (variando de 6,16 a 6,39) ocorrido na área após a fertirrigação, não ultrapassando os limites para sobrevivência dos nematóides. Segundo Lordello (1992), estando o pH dentro dos limites tolerados pelas plantas, os nematóides se apresentarão ativos e normais.

A matéria orgânica teve correlações negativas com nematóides de vida livre ( $r=-0,11$ ), fitonematóides ( $r=-0,13$ ), e nematóides totais presentes no solo ( $r=-0,15$ ) (Tabela 5). Segundo Oka (2010), as populações de fitonematóides podem ser afetadas pela matéria orgânica, através dos mecanismos de liberação de compostos nematicidas preexistentes, como amônia e ácidos graxos, durante a degradação, além de alterar outros mecanismos que são detrimenais ao comportamento dos fitonematóides. Por outro lado, apresentou correlação positiva com os endoparasitos encontrados nas raízes ( $r=0,24$ ) (Tabela 6). O fato destes nematóides estarem protegidos no interior das raízes pode explicar a ausência da influência da matéria orgânica na população.

Estes resultados evidenciam que a ação da matéria orgânica, neste estudo, foi exclusivamente direta, uma vez que não foi observada a ação indireta ocasionada pelos inimigos naturais, por não ter ocorrido variação na evolução de C-CO<sub>2</sub> do solo e nem correlações significativas entre a matéria orgânica e a nematofauna (Tabela 3 e 5). Este resultado discorda de Albuquerque *et al.* (2002), onde afirmam que a provável ação da vinhaça na redução populacional de fitonematóides é indireta e está associada à proliferação de inimigos naturais.

Os resultados permitem concluir que a vinhaça ocasionou alguns efeitos positivos nos atributos físicos e químicos do solo, proporcionando redução da compactação e

densidade do solo; aumento dos teores de umidade e melhoria na fertilidade, pelo maior aporte de macronutrientes após a fertirrigação. Quanto à nematofauna, ocorreu redução nas populações presentes no solo, ocorrendo efeito inverso para os nematóides presentes nas raízes. Os resultados indicaram que a atividade supressiva da vinhaça sobre os fitonematóides foi provavelmente ocasionada pela ação direta, o que envolveria a liberação de compostos tóxicos à nematofauna durante a sua degradação.

#### LITERATURA CITADA

- Albuquerque, P. H. S., E. M. R. Pedrosa, and R. M. Moura. 2002. Relações nematóide-hospedeiro em solo infestado por *Meloidogyne* spp. e tratado com torta de filtro e vinhaça. *Nematologia brasileira* 26:27-34.
- Barros, A. C. B., R. M. Moura, and E. M. R. Pedrosa. 2002. Aplicação de terbufos no controle de *Meloidogyne incognita* raça 1 e *Pratylenchus zae* em cinco variedades de cana-de-açúcar no Nordeste. *Nematologia Brasileira* 24:73-78.
- Barros, A. C. B., R. M. Moura, and E. M. R. Pedrosa. 2006. Estudo sobre aplicações conjuntas de herbicidas e nematicidas sistêmicos na eficácia dos nematicidas em cana-de-açúcar. *Fitopatologia Brasileira* 31:254-259.
- Cadet, P. and V. W. Spall. 2005. Nematodes parasites of sugarcane. Pp. 645-674. in M. Luc, R. A. Sikora and J. Bridge, Eds. *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. Wallingford: CABI International, Wallingford, CT.
- Cambuim, F.A. 1983. A ação da vinhaça sobre a retenção de umidade, pH, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes, em solo arenoso. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.
- Cares, J. E., and S.P. Huang. 2008. Comunidades de Nematóides sob Diferentes Sistemas na Amazônia e Cerrados Brasileiros. Pp. 409-444 in A. M. S. Moreia, J. O. Siqueira and L. Brussaard, Eds. *Biodiversidade de Solos em Ecossistemas Brasileiros*. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- Chaves, A., E. M. R., Pedrosa, and R. M. Moura. 2002. Efeitos da aplicação de terbufós sobre a densidade populacional de nematóides endoparasitos em 5 variedades de cana-de-açúcar no Nordeste. *Nematologia Brasileira* 26:167-176.

- Cortez, L. A., P. S. G. Magalhães, and J. Happ. 1992. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. *Revista Brasileira de Energia* 2:111-146.
- Dinardo-Miranda, L. L., C. C. Menegatti, V. Garcia, S. F. Silva, and M. Odorisi. 1998. Reação de variedades de cana-de-açúcar a *Pratylenchus zaeae*. *STAB- Açúcar, álcool e subprodutos* 17:39-41.
- Dinardo-Miranda, L. L., and C. C. Menegatti. 2003. Danos causados por nematóides a variedades de cana-de-açúcar em cana planta. *Nematologia Brasileira* 27:69-73.
- Dinardo-Miranda, L. L. 2006. Manejo de nematóides e pragas de solo em cana-de-açúcar. Pp. 59-80. in A. P. Campos, D. W. Vale, E. S. Araújo, M. M. Corradi, M. S. Yamauti, O. A. Fernandes and S. Freitas, Eds. *Manejo integrado de pragas*. FUNEP, Jaboticabal, SP.
- Embrapa. 1997. *Manual de Métodos de análise de solo*. 2º Ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 212, Rio de Janeiro, RJ.
- Ferraz, S., L. G. Freitas, E. A. Lopes, and C. R Dias-Arieira. 2010. *Manejo Sustentável de Fitonematóides*. Universidade Federal de Viçosa. 304, Viçosa, MG.
- Ferris, H., T. Bogers, and Goede, R. G. M. De. 2001. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied soil ecology*. 18:13-29.
- Flint, A. L., and L.E. Flint. 2002. Particle density. Pp. 229-240 in J. H Dane and G. C. Topp, Eds. *Methods of soil analysis: part 4 – physical methods*. American Society of America, Madison, WI.
- Freckman, D. W., and R.A. Chapman. 1972. Infection of red clover seedlings by *Heterodera trifolii* Goffart and *Pratylenchus Penetrans* (Cobb). *Journal of Nematology* 4:23-28.
- Gay, C. M., and G. W. Bird. 1973. Influence of concomitant of *Pratylenchus brachyurus* e *Meloidogyne* spp. on root penetration and population dynamics. *Journal of Nematology* 5:212-217.
- Grisi, B. M. 1978. Método químico de medição de respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. *Ciência e Cultura* 30:82-88.
- Huang, S. P., H. C. A. Freire, and J. E. Cares. 1996. Grupos composicionais e tróficos dos nematóides associados à sucupira branca (*Pterodon pubescens*) em cerrado nativo. *Fitopatologia Brasileira* 21:156-160.
- Jenkins, W. R. A. 1964. Rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, 4:462.

- Kerry, B. R. 2001. Exploitation of nematophagous fungal *Verticillium chlamydosporium* Goddard for the biological control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). Pp. 155-167 in T. M. Butt, C. Jackson and N. Magan, Eds. Fungi as biocontrol agents. Progress, problems and potential. CAB International, Wallingford, CT.
- Koppen, W. 1948. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura Econômica, 466. México.
- Liddel, C. M. 1997. Abiotic factors and soilborne diseases. Pp. 365-376 in R. J. Hillocks, and J. Waller, Eds. Soilborne diseases of tropical crops. CAB International, Wallingford, CT.
- Longo, R. M. 1994. Efeito da vinhaça in natura e biodigerida em propriedades de um solo cultivado com cana-de-açúcar. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- Lordello, L. G. E. 1992. Nematóides das plantas cultivadas. Nobel, 314. São Paulo, SP.
- Lopes, E. A. 2007. Formulação de condicionadores de solo com propriedades nematicidas. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Mai, W. F., P. G. Mullin, H. H. Lyon, and K. Loeffle. 1996. Plant-Parasitic nematodes: a pictorial key to genera. Cornell University Press. 277, Ithaca, NY.
- Mattos, D. S. S. 2010. Efeito da vinhaça sobre a distribuição de nematóides associados à cana-de-açúcar em áreas de encosta e tabuleiros costeiros da Zona-da-mata norte de Pernambuco. Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.
- McDonald, J. D. 1994. The soil environment. Pp. 82-115 in C. L. Campbell, and D. M. Benson, Eds. Epidemiology and management of root diseases. Springer-Verlag, Heidelberg, BW.
- Miranda, T. L. 2009. Relações entre atributos físicos e biológicos do solo após operações de colheita e aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.
- Oka, Y. 2010. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments – A review. Applied Soil Ecology 44:101-115.
- Pedrosa, E. M. R., M. M. Rolim, P. H. S. Albuquerque, and A. C. Cunha. 2005. Supressividade de nematóides em cana-de-açúcar por adição de vinhaça ao solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 9:197-201 (Suplemento).

- Rocha, M. R., Y. Carvalho, G. C. Corrêa, G. P. Cattini, and G. Paolini. 2006. Efeito de doses crescentes de calcário sobre a população de *Heterodera glycines* em soja. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. 36:89-90.
- Silva, M. A. S., N. P. Griebeler, and L. C. Borges. 2007. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 11:108-114.
- Silva, R. A., C. M. G. Oliveira, and M. M. Inomoto. 2008. Fauna de fitonematóides em áreas preservadas e cultivadas da floresta amazônica no Estado de Mato Grosso. *Tropical Plant Pathology* 33: 204-208.
- Spaull, V. W., and P. Cadett. 2005. Nematodes parasitic of sugarcane. Pp. 645-674 in M. Luc, R. A. Sikora and J. Bridge, Eds. *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. 2<sup>nd</sup>. Ed. Institute of Parasitology, CAB International, Wallingford, CT.
- Stirling, G. R., E. J. Wilson, A. M. Stirling, C. E. Pankhurst, P. W. Moody, and M. J. Beel. 2003. Organic Amendments enhance biological suppression of plant-parasitic nematodes in sugarcane soils. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists* 25:11.
- Tenório, Z., O. S. Carvalho, O. R. R. F. Silva, J. M. G. Montes, and F. G. Lopez. 2000. Estudio de la actividade biológica de los solos costeros Del NE de Brasil enmendados com resíduos agrícolas: vinaza y torta de caña de azúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 4:70-74.
- Turner, D. R., and R.A. Chapman. 1972. Infection of seedlings of alfalfa and red clover by concomitant populations of *Meloidogyne incognita* and *Pratylenchus penetrans*. *Journal of Nematology* 4: 280-286.
- Yates, G. W. T., Bongers, R. G.M. De Goede, D. W. Freckman and S. S. Georgieva. 1993. Feeding habits in nematode families and genera- an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology* 25:315-331.

**Tabela 1.** Abundância, média e dominância da nematofauna do solo associada à área 30 dias antes, 30 dias depois e 90 dias depois do corte da cana-de-açúcar e da fertirrigação com vinhaça em área de tabuleiro cultivada com cana-de-açúcar

Grupo trófico/Táxon	30 dias antes da fertirrigação com vinhaça			30 dias após a fertirrigação com vinhaça			90 dias após a fertirrigação com vinhaça		
	A <sup>a</sup> (Abundancia)	Média ± DP <sup>b</sup>	Dc (%)	A <sup>a</sup> (Abundancia)	Média ± DP <sup>b</sup>	Dc (%)	A <sup>a</sup> (Abundancia)	Média ± DP <sup>b</sup>	Dc (%)
<b>Bacteriófagos</b>									
Cephalobidae	2.564	10,525± 40,464	7,807	2.253	9,220 ±37,907	11,288	1.845	7,559± 19,59	8,800
Rhabditidae	875	3,607± 12,826	2,664	1.695	6,955 ±19,151	8,492	1.612	6,608± 13,47	7,692
<b>Micófagos</b>									
Aphelenchidae	76	0,31± 2,79	0,231	238	0,97± 4,45	1,192	175	0,71± 5,07	0,834
<b>Onívoros</b>									
Dorylaimidae	10.433	42,648± 59,51	31,765	4.996	20,445± 38,75	25,029	4.886	19,992±28,43	23,308
<b>Predadores</b>									
Mononchidae	380	1,561± 6,11	1,158	368	1,502± 6,07	1,842	274	1,122± 5,19	1,308
<b>Parasitas de plantas solo</b>									
<i>Criconemela</i>	5.128	21,04± 43,353	15,613	4.119	16,83± 40,39	20,638	6.085	24,88± 61,91	29,029
<i>Helitylenchus</i>	2.185	8,96± 31,26	6,653	683	2,80± 11,43	3,424	797	3,26±11,91	3,803
<i>Hemicicliophora</i>	162	0,67± 5,70	0,495	59	0,24± 3,00	0,293	23	0,09±1,49	0,111
<i>Meloidogyne</i>	2.684	11,029± 36,75	8,173	1.492	6,09± 19,41	7,473	1.421	5,81±18,95	6,778
<i>Paratrichodorus</i>	20	0,08± 1,278	0,061	0	0,00±0,00	0,000	0	0,00±0,00	0,000
<i>Pratylenchus</i>	4.985	20,45± 52,996	15,178	3.121	12,78± 26,38	15,634	2.147	8,78± 19,41	10,241
<i>Rotylenchulus</i>	267	1,09±11,67	0,812	235	1,09± 6,49	1,176	19	1,09± 1,21	0,091
<i>Trichodorus</i>	2.388	9,82±20,01	7,270	295	1,20± 6,74	1,478	355	1,46± 6,22	1,696
<i>Xiphinema</i>	696	2,86± 13,118	2,120	407	1,68± 6,58	2,040	1.323	5,42± 13,34	6,310
<b>Total solo</b>	<b>32.844</b>	<b>134,71± 162,55</b>	<b>100</b>	<b>19.959</b>	<b>81,70±94,97</b>	<b>100</b>	<b>20.962</b>	<b>85,81±101,50</b>	<b>100</b>

A<sup>a</sup> (Abundância) = Somatório do número de nematóides nas 245 amostras em 300 cm<sup>3</sup> de solo,  
Média ± DP<sup>b</sup> = Número médio e desvio padrão de nematóides por 300 cm<sup>3</sup> de solo nas 245 amostras,  
Dc (%) = Dominância de cada grupo trófico e taxa expresso e percentagem.

**Tabela 2.** Abundância, média e dominância da nematofauna em 20 gramas de raízes na profundidade 30 cm; 30 dias antes, 30 dias depois e 90 dias depois do corte da cana-de-açúcar e da fertirrigação com vinhaça em área de tabuleiro cultivada com cana-de-açúcar

Grupo trófico/Táxon	20 gramas de raízes								
	30 dias antes da aplicação de vinhaça			30 dias depois da aplicação de vinhaça			90 dias depois da aplicação de vinhaça		
	A <sup>a</sup> (Abundanci a)	Média ± DP <sup>b</sup>	Dc (%)	A <sup>a</sup> (Abundanci a)	Média ± DP <sup>b</sup>	Dc (%)	A <sup>a</sup> (Abundanci a)	Média ± DP <sup>b</sup>	Dc (%)
<b>Endoparasitos de planta raiz</b>									
<i>Meloidogyne</i>	2.559	52,29± 81,68	35,8 89	625	10,38 ± 25,42	23,2 4	9.441	194,33± 228,69	64,3 1
<i>Rotylenchulus</i>	1.055	21,592± 39,72	14,8 01	249	4,542± 14,125	9,28 9,28	66	1,375± 9,42 104,94±	0,45 35,2
<i>Pratylenchus</i>	3.516	71,90 ± 66,13	49,3 10	1.814	37,26± 45,39	67,4 8	5.173	113,95 386,96 ±	4
<b>Nematoides totais</b>	7.130	249,10 ± 182,05	100	2.688	116,75 ± 74,95	100	14.680	310,59	100

A<sup>a</sup> (Abundância) = Somatório do número de nematóides nas 49 amostras em 300 cm<sup>3</sup> de solo,  
 Média ± DP<sup>b</sup>= Número médio e desvio padrão de nematóides por 300 cm<sup>3</sup> de solo nas 49 amostras,  
 Dc (%)= Dominância de cada grupo trófico e taxa expresso e percentagem.

**Tabela 3.** Médias das variáveis físicas e químicas do solo, 30 dias antes, 30 dias depois e 90 dias depois do corte cana-de-açúcar e da fertirrigação com vinhaça

Variável	30 dias antes	30 dias após	90 dias após
	Média		
DS	1,591 a	1,577 b	1,574 b
DP	2,578 a	2,584 a	2,584 a
Umidade	0,028 c	0,063 a	0,043 b
PORO	0,772 a	0,388 a	0,389 a
RP	21,04 a	3,27 a	
C-CO <sub>2</sub>	12,67 a	12,29 a	10,06 a
P	30,207 b	40,245 a	69,388 b
pH	6,202 b	6,169 b	6,397 a
K	0,039 c	0,136 a	0,057 b
Na	0,0129 a	0,0136 a	0,0124 a
Al	0,006 a	0,000 a	0,000 a
Ca	1,901 b	1,634 c	2,034 a
Mg	0,523 a	0,524 a	0,469 b
H	0,580 c	0,689 b	1,273 a
S.B.	2,484 a	2,289 b	2,573 b
C T C	3,457 ab	2,979 b	3,853 a
V	81,823 a	77,290 b	66,389 c
C	0,688 c	1,000 a	0,873 b
M	0,006 a	0,000 a	0,000 a
M.O.	1,187c	1,927a	1,511b

Médias seguidas de mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. DS= Densidade do solo (g/cm<sup>3</sup>), DP= Densidade de partícula (g/cm<sup>3</sup>), Umidade= Umidade do solo (g/g), PORO= Porosidade (%), RP= Resistência à penetração (MPa), C-CO<sub>2</sub>=Evolução C-CO<sub>2</sub> (mg/CO<sub>2</sub>), P= Fósforo (mg/dm<sup>3</sup>), pH= Potencial hidrogeniônico, K= Potássio (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>), Na= Sódio (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>), Al= Alumínio (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>), Ca= Cálcio (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>), Mg= Magnésio (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>), H= Hidrogênio (cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>), SB= Soma de bases (%), V= Saturação de Base (%), C= Carbono (%), m= Saturação de alumínio (%), M.O.= Matéria orgânica (%).

**Tabela 4.** Coeficientes de correlação significativa entre os *taxa* que compõem a nematofauna associada à rizosfera de cana-de-açúcar em área fertirrigada com vinhaça

	PRO	TEMPO	DORY	MON	RHAB	CEPHA	APHE	MELO	ROTY	PRAT	HELI	TRIC	PARAT	XIPHI	CRIC	HEMI	TRIC2	ECTO	ENDO	BACT	VL	PP	TOT
<b>DORY</b>	-0,18	-0,20			0,10	0,16		0,17		0,25		0,25	0,19	0,11	0,11		0,25	0,20	0,30	0,18	0,81	0,29	0,62
<b>MONO</b>	0,10								0,19												0,10		
<b>RHAB</b>	-0,18					0,10				0,16				0,15					0,15	0,48	0,35	0,13	0,27
<b>CEPHA</b>	-0,19								0,19	0,13					0,14			0,14	0,11	0,92	0,66	0,16	0,45
<b>APHE</b>																							
<b>MELO</b>												0,33			0,21		0,32	0,25	0,60		0,14	0,48	0,41
<b>ROTY</b>																		0,20		0,16	0,15	0,14	0,18
<b>PRAT</b>	-0,35	-0,13									0,33	0,20			0,14		0,20	0,27	0,81	0,18	0,28	0,60	0,57
<b>HELI</b>	-0,15	-0,11																0,41	0,27			0,42	0,33
<b>TRIC</b>	-0,11	-0,26												0,10	0,17		1,00	0,37	0,35		0,17	0,44	0,40
<b>PARAT</b>																	0,15				0,12		
<b>XIPH</b>	-0,13	0,10										0,99 0,10					0,10	0,28			0,12	0,22	0,22
<b>CRIC</b>	-0,12																0,17	0,88	0,23	0,15	0,16	0,73	0,60
<b>HEMI</b>																							
<b>TRIC2</b>	-0,11	-0,26																0,37	0,35		0,18	0,44	0,40
<b>ECTO</b>	-0,21																		0,36	0,16	0,23	0,88	0,74
<b>ENDO</b>	-0,31	-0,15																		0,16	0,30	0,76	0,69
<b>BACT</b>	-0,24																				0,72	0,19	0,51
<b>VL</b>	-0,26	-0,14																				0,32	0,74
<b>PP</b>	-0,30	-0,12																					0,87
<b>TOT</b>	-0,35	-0,16																					

Coeficientes de correlação significativos a 5% de probabilidade pela correlação de Pearson.

PROF= profundidade, DORY= Dorylaimidae, MONO= Mononchoidae, RHAB=Rhabditidae, CEPHA= Cephalobidae, APHE= Aphelenchidae, MELO= *Meloidogyne* sp., ROTY=*Rotylenchulus* sp., PRAT=*Pratylenchus* sp., HELI= *Helicotylenchus* sp., TRIC= *Trichodorus* sp., PARAT= *Paratrichodorus* sp., XIPH= *Xiphinema* sp., CRIC= *Criconemella* sp., HEMI= *Hemicycliophora* sp., TRIC 2= *Trichodorus* sp. + *Paratrichodorus* sp., ECTO= Ectoparasitos, ENDO= Endoparasitos, BACT= Bacteriófagos, VL= Vida livre, PP= Fitoparasitos, TOT= Nematóides totais.

**Tabela 5.** Coeficientes de correlação significativa ente os *taxa* que compõem a nematofauna associada à rizosfera de cana-de-açúcar e atributos físicos e químicos do solo em área fertirrigada com vinhaça

	PROF	TEMPO	DORY	MONO	RHAB	CEPHA	APHE	MELO	ROTY	PRAT	HELI	TRIC	PARAT	XIPHI	CRIC	HEMI	TRIC2	ECTO	ENDO	BACT	VL	PP	TOT	
RP	0,10																							
DS	0,58	-0,10	-0,12		-0,15					-0,17								-0,11	-0,17	-0,14	-0,16	-0,16	-0,20	
DP	0,16									-0,11									-0,11					
UMID		0,12																						
PORO																								
AREIA																								
SILT								0,14													0,10			
ARG																								
RSP														0,24										
P		0,24		0,14																				
pH		0,21																						
K									0,10			-0,10						-0,10						
Na																					0,10			
Al																								
Ca			0,13					0,34				0,17		0,15			0,18	0,12	0,14			0,15	0,14	
Mg		-0,17																						
H		0,66								-0,11		-0,15		0,12			-0,15		-0,12					
SB			0,12					0,32				0,15		0,14			0,15		0,13			0,13	0,12	
CTC																								
V		-0,62	0,12					0,12		0,11		0,18					0,18		0,20		0,18	0,14	0,19	
C		0,37	-0,15					-0,10				-0,17	-0,16				-0,20	-0,10	-0,12		-0,11	-0,13	-0,15	
m																								
M.O.		-0,37	-0,15					-0,10				-0,17	-0,16				-0,20	-0,10	-0,12		-0,11	-0,13	-0,15	

Coeficientes de correlação significativos a 5% de probabilidade pela correlação de Pearson.

PROF= profundidade, DORY= Dorylaimidae, MONO= Mononchoidae, RHAB=Rhabditidae, CEPHA= Cephalobidae, APHE= Aphelenchidae, MELO= *Meloidogyne* sp., ROTY= *Rotylenchulus* sp., PRAT=*Pratylenchus* sp., HELI= *Helicotylenchus* sp., TRIC= *Trichodorus* sp., PARAT= *Paratrichodorus* sp., XIPH= *Xiphinema* sp., CRIC= *Criconemella* sp., HEMI= *Hemicycliophora* sp., TRIC 2= *Trichodorus* sp. + *Paratrichodorus* sp., ECTO= Ectoparasitos, ENDO= Endoparasitos, BACT= Bacteriófagos, VL= Vida livre, PP= Fitoparasitos, TOT= Nematóides totais, RP= Resistência à penetração, DS= Densidade do solo, DP= Densidade de partícula, UMID= Umidade, PORO= Porosidade, SILT= Silte, ARG= Argila, RSP=Respiração microbiana, P= Fósforo, Ph= Potencial hidrogeniônico, K= Potássio, Na= Sódio, Al= Alumínio, Ca= Cálcio, Mg= Magnésio, H= Hidrogênio, SB= Soma de bases, V= Saturação de Base, C= Carbono, M= Saturação de alumínio, M.O.= Matéria orgânica.

**Tabela 6.** Coeficientes de correlação significativa entre os *taxa* que compõem a nematofauna associada à rizosfera e às raízes de cana-de-açúcar e atributos físicos e químicos do solo, a 30 cm de profundidade, em área fertirrigada com vinhaça.

	TEMPO	DORY	MONO	RHAB	CEPHA	APHE	MELO	ROTY	PRAT	HELI	TRIC	PARAT	XIPHI	CRIC	HEMI	TRIC2	ECTO	ENDO	BACT	VL	PPS	TOTS	ENDOR	PPR	TOT	
<b>RP</b>																										
<b>DS</b>								-0,21									-0,18					-0,20	-0,19			
<b>DP</b>																										
<b>UMID</b>	0,35	-0,28									-0,27						-0,27				-0,23					-0,19
<b>PORO</b>																										
<b>AREIA</b>							-0,20											-0,21				-0,19				
<b>SILT</b>																					0,21		0,19			
<b>ARG</b>		0,19													0,19											
<b>RESP</b>																										
<b>P</b>	0,24								0,16				0,31				0,17					0,20	0,23			0,20
<b>pH</b>	0,23																							0,21	0,19	0,21
<b>K</b>																									-0,17	-0,16
<b>NA</b>																										
<b>AL</b>																										
<b>CA</b>		0,23					0,33				0,31					0,31	0,18	0,33		0,22	0,29	0,33	0,18			0,28
<b>Mg</b>																								-0,25	-0,25	-0,26
<b>H</b>														0,18										-0,25	-0,25	-0,26
<b>SB</b>											0,28							0,33		0,20	0,26	0,30				0,20
<b>CTC</b>																0,17		0,17	0,22			0,24	0,24	0,21	0,17	0,26
<b>V</b>	0,36						0,20							0,17		0,22								-0,21	-0,19	
<b>C</b>	0,62	-0,19					-0,18				-0,30						-0,30		-0,20					0,24	0,24	
<b>M</b>																										
<b>M.O.</b>	0,62	-0,19					-0,18				-0,30						-0,30		-0,20					0,24	0,24	

Coeficientes de correlação significativos a 5% de probabilidade pela correlação de Pearson.

PROF= profundidade, DORY= Dorylaimidae, MONO= Mononchoidae, RHAB=Rhabditidae, CEPHA= Cephalobidae, APHE= Aphelenchidae, MELO= *Meloidogyne* sp., ROTY= *Rotylenchulus* sp., PRAT=*Pratylenchus* sp., HELI= *Helicotylenchus* sp., TRIC= *Trichodorus* sp., PARAT= *Paratrichodorus* sp., XIPH= *Xiphinema* sp., CRIC= *Criconemella* sp., HEMI= *Hemicycliophora* sp., TRIC 2= *Trichodorus* sp. + *Paratrichodorus* sp., ECTO= Ectoparasitos, ENDO= Endoparasitos, BACT= Bacteriófagos, VL= Vida livre, PPS= Fitoparasitos em amostras de solo, TOTS= Nematóides totais presentes no Solo, ENDOR= Endoparasitos encontrados nas raízes, PPR= Parasitos de plantas nas raízes, TOT= Nematóides totais do solo + Nematóides totais das raízes, RP= Resistência à penetração, DS= Densidade do solo, DP= Densidade de partícula, UMID= Umidade, PORO= Porosidade, SILT= Silte, ARG= Argila, RSP=Respiração microbiana, P= Fósforo, Ph= Potencial hidrogeniônico, K= Potássio, Na= Sódio, Al= Alumínio, Ca= Cálcio, Mg= Magnésio, H= Hidrogênio, SB= Soma de bases, V= Saturação de Base, C= Carbono, M= Saturação de alumínio, M.O.= Matéria orgânica

### ***Capítulo III***

**Distribuição vertical da nematofauna após o corte da cana-de-açúcar e fertirrigação com vinhaça**

## **DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DA NEMATOFAUNA APÓS O CORTE DA CANA-DE-AÇÚCAR E FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA.**

L. B. Caixeta<sup>2</sup>, E. M. R. Pedrosa<sup>3\*</sup>, L. M. P. Guimarães<sup>4</sup>, P. A. Barros<sup>5</sup> and M. M. Rolim<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Parte da dissertação da primeira autora. <sup>2</sup>Aluna de Pós-graduação, Universidade Federal Rural de Pernambuco Departamento de Agronomia, Brasil <sup>3</sup>Professor, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Brasil.

<sup>4</sup>Doutora, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Brasil. <sup>5</sup>Aluna de Pós-graduação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Brasil. <sup>6</sup>Professor, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Brasil. \*Autor para correspondência: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil, CEP: 52171-900, Phone: 55-81-85151222, Fax: 55-81-33206205, e-mail: elvira.pedrosa@dtr.ufrpe.br

### **ABSTRACT**

The application of organic matter has been recognized as an efficient strategy for plant parasite nematode control, contributing for reduction of chemical products and their environmental impacts. In this context, the vinasse presents a high potential for use in alternative management of these important parasites due to the high volume of organic matter. The objective of the present study was to evaluate the effect of vinasse irrigation on vertical distribution of nematode communities. Experiments were carried out in costal table area cultivated longer than 20 years with sugarcane. Horizontally, samples were collected in 49 points within a 60×60 m square net. Vertically, in each point, samples were collected 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm deep. Evaluations based on physical (soil density, porosity, and particle density), C-CO<sub>2</sub> evolution soil

attributes and nematode community in soil and roots, carried out 30 days before and 30 and 90 days after sugarcane cut and vinasse application. Data were evaluated through multivariate analysis for replication in time and fitted by depth to linear, quadratic, cubic and logarithmic models. The vertical irrigation effect on soil was signalized on *Pratylenchus* and Dorilamidae distribution and soil density. The higher changes in nematode densities in soil were attributed to depth, being layers of 10 and 20 cm the most crowded.

**Key-word:** Nematode, management, *Saccharum* sp., trophic diversity

## RESUMO

O emprego de matéria orgânica tem sido preconizado com destacada eficiência para controle de fitonematóides, o que contribui para a redução do uso de produtos químicos e os conseqüentes impactos ao meio ambiente. Nesse contexto, a vinhaça apresenta grande potencial no manejo alternativo destes fitopatógenos, devido ao grande aporte de matéria orgânica em sua composição. O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da fertirrigação com vinhaça na distribuição vertical da nematofauna do solo. Os experimentos foram conduzidos em área de tabuleiro costeiro cultivado com cana-de-açúcar há mais de 20 anos. Horizontalmente, as amostras foram coletadas em malha de 60×60 m, em 49 pontos. Verticalmente, em cada ponto, foram retiradas amostras nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm. As avaliações fundamentaram-se em atributos físicos (densidade do solo, porosidade e densidade de partícula), evolução C-CO<sub>2</sub> do solo e caracterização da nematofauna, efetuadas 30 dias antes e 30 e 90 dias após o corte da cana e aplicação de vinhaça. A análise dos dados foi determinada por meio de análise multivariada para as medidas repetidas com o tempo e ajustados à modelos lineares, quadráticos, cúbicos e logarítmicos em função da

profundidade. O efeito vertical da fertirrigação no solo foi constatado apenas nas populações de *Pratylenchus* e Dorylaimidae e na densidade do solo. As maiores variações nas densidades populacionais de nematóides ao longo do perfil do solo foram atribuídas apenas à profundidade, sendo a camada de 10-20 cm as mais habitadas pelas populações destes organismos.

Palavras-chave: Nematóide, manejo, *Saccharum* sp., diversidade trófica.

## INTRODUÇÃO

A principal atividade agrícola no Nordeste está voltada para a agroindústria canavieira. O estado de Pernambuco possui extensas áreas que foram desmatadas e convertidas em sistemas de produção de cana-de-açúcar. O manejo deste sistema por centenas de anos afetou as áreas de cultivo levando à compactação, comprometimento da qualidade do solo e aumento da incidência de pragas e doenças. Dentre as principais doenças, destacam-se as nematoses, que contribuem de forma significativa para uma baixa produtividade agrícola na região (Ferreira Lima, 2000; Chaves *et al.*, 2009).

Os fitonematóides mais importantes para a cultura são os endoparasitos sedentários pertencentes ao gênero *Meloidogyne* Goeldi, representados pelas espécies *M. incognita* (Kofoid & White) Chitwood e *M. javanica* (Treub) Chitwood e o endoparasito migrador *Pratylenchus zae* Graham, devido à severidade das doenças que causam e expressiva disseminação em canaviais de todo mundo (Cadet and Spaul, 2005). Em média, os fitonematóides podem ocasionar perdas que variam entre 20 a 40% no primeiro corte de variedades susceptíveis, tendo como consequência a diminuição da longevidade da cana soca (Dinardo-Miranda, 2006).

Estes fitopatógenos se distribuem no solo de forma desuniforme, o que dificulta o manejo no campo. O arranjo espacial de nematóides nos ecossistemas está relacionado

com a distribuição vertical e horizontal. Estes componentes podem mudar com o tempo devido a diferentes aspectos da dinâmica da população, da redistribuição ativa e passiva e disseminação dos microrganismos no solo (Maranhão, 2008). Segundo Been e Schomaker (2006), a distribuição vertical de espécies de nematóides depende principalmente da distribuição do sistema radicular das plantas hospedeiras, temperatura, fatores bióticos e propriedades físicas e químicas do solo, podendo variar com as espécies de nematóides

A distribuição das raízes é o principal fator de distribuição vertical de fitonematóides, enquanto que os fatores físicos atuam de forma secundária (Souza, 2009). A distribuição de *Pratylenchus penetrans* (Coob) Chitwood e Oteifa no perfil do solo foi relatada em raízes de cenoura (*Daucus carota* L.), milho (*Zea mays* L.), batata (*Solanum tuberosum* L.) e escorsioneira (*Scorzonera hispânica* L.). Na cultura do milho, cujas raízes são mais profundas, foram encontrados nematóides associados à rizosfera em profundidade de até 70 cm, enquanto que nas demais culturas não ultrapassaram a profundidade de 50 cm (Pudasaini *et al.*, 2006), indicando que o comprimento da raiz pode limitar a profundidade habitada pelas espécies de fitonematóides.

Atributos físicos do solo são de extrema importância para a sobrevivência dos nematóides, pois qualquer mudança ambiental ou perturbação que afete a composição ou fisiologia das plantas tais como textura, química e fatores climáticos (umidade e temperatura) do solo, podem alterar a diversidade de espécies em grupos funcionais (Wall and Virginia, 1999; Souza, 2009). A composição das comunidades de nematóides no solo é influenciada por fatores ambientais como: vegetação hospedeira, tipo de solo, estação climática, nível de umidade e teor de matéria orgânica, além da distribuição espacial (Wall *et al.*, 2002).

Devido à composição química, a vinhaça pode ter diversos usos, dentre os quais, o agrícola, substituindo parcial ou totalmente as adubações minerais da cana-de-açúcar. Vários estudos sobre a disposição da vinhaça no solo vêm sendo conduzidos, enfocando-se os efeitos nos atributos físico-químicos e também na estrutura trófica da nematofauna (Cortez *et al.*, 1992; Tenório *et al.*, 2000). Desta forma, podem ocorrer mudanças no teor de matéria orgânica e na atividade biológica do solo, influenciando diretamente as comunidades de nematóides.

O objetivo do trabalho foi avaliar a distribuição vertical da nematofauna após o corte da cana-de-açúcar e fertirrigação com vinhaça e efeitos associados a atividade microbiana, densidade de partícula, porosidade e densidade do solo ao longo do seu perfil, em área de tabuleiro na Mata Norte de Pernambuco.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Usina Santa Tereza, localizada no município de Goiana, em solo de tabuleiro costeiro com teores de 12, 36 e 951 g kg<sup>-1</sup> de argila, silte e areia, respectivamente, apresentando textura arenosa. A área é fertirrigada com vinhaça e cultivada com a variedade de cana-de-açúcar RB863129, considerada suscetível a fitonematoses. A região tem sido manejada sob sistema de plantio convencional há mais de 20 anos, sempre com cana-de-açúcar. O clima local, de acordo com o sistema de Koppen (1948), é tropical chuvoso tipo As<sup>o</sup> ou “pseudotropical”, que se caracteriza por ser quente e úmido com chuvas que se concentram entre os meses de março a agosto. As temperaturas médias anuais variam em torno de 24°C, com amplitude térmica anual fraca de 3°C e isoietas de 1932,3 a 975,6mm anuais.

As avaliações foram efetuadas nesta área em três períodos diferentes de cultivo: 30 dias antes do corte da cana-de-açúcar e fertirrigação com vinhaça; 30 e 90 dias após. As

análises físicas fundamentaram-se na determinação da densidade do solo, densidade de partículas e porosidade. A estrutura trófica da nematofauna foi caracterizada pela densidade populacional e dominância dos taxa encontrados. Paralelamente, foi estimada a respiração microbiana com base na evolução C-CO<sub>2</sub> do solo.

Horizontalmente, as amostras foram coletadas em 49 pontos georreferenciados, com espaçamento de 10m entre os pontos, formando malha de 60 × 60m. Verticalmente, com auxílio de um escavador, foi aberta em cada ponto uma trincheira e coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm, totalizando 245 amostras em cada período.

Para as análises físicas, as 245 amostras foram preparadas e pesadas para obtenção do conteúdo de água (g) e depois levadas à estufa a 105 °C por 48 h para obtenção da massa seca (g). A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico (MBV) (Flint and Flint, 2002). A densidade do solo foi determinada pelo método da proveta. A porosidade total foi calculada pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas, todas conforme a metodologia da EMPRAPA (1997).

Para as análises nematológicas, as 245 amostras foram homogeneizadas e processadas para extração a partir de 300 cm<sup>3</sup> de solo (Jenkins, 1964) e submetidas ao método da flotação centrífuga. As suspensões de fitonematóides obtidas foram mantidas sob refrigeração (4-6°C). Os nematóides foram classificados quanto ao hábito alimentar em cinco grupos tróficos (fitoparasitos, bacteriófagos, micófagos, predadores e onívoros) baseado na morfologia do estoma e esôfago (Yates *et al.*, 1993). Para os fitonematóides foi feita identificação ao nível de gênero de acordo com a chave de Mai *et al.* (1996), e os taxas agrupados em três grupos: ectoparasitos, *Meloidogyne* e *Pratylenchus*. A contagem dos espécimes foi realizada em lâminas de Peters, com auxílio de um microscópio óptico, em quatro repetições e os resultados foram

computados em número de espécimes por  $300\text{ cm}^3$  de solo. A análise da respiração microbiana foi realizada nas 245 amostras de cada coleta, segundo a metodologia de Grissi (1978).

A análise dos dados foi determinada por meio de análise multivariada para medidas repetidas com o tempo. Modelos lineares, logarítmicos, quadráticos e cúbicos foram utilizados na tentativa de descrever as variações nas densidades populacionais dos fitonematóides, respiração microbiana e atributos físicos do solo (densidade do solo, densidade de partícula e porosidade), em função da profundidade de coleta de nematóides em cada período de avaliação. Para as variáveis cujos modelos não de ajustaram à distribuição dos dados, foram elaborados gráficos indicando as variações das médias pelo teste Tukey (5%) em função da profundidade. Visando avaliar a possível relação entre as populações de nematóides e os atributos físicos e evolução C-CO<sub>2</sub> do solo, foi determinado o grau de correlação linear simples entre os pares de dados obtidos pelo coeficiente de correlação de Pearson a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As densidades populacionais de *Pratylenchus* e dos onívoros diminuíram significativamente após o corte da cana-de-açúcar e aplicação de vinhaça com a profundidade do solo (Tabela 1), ocorrendo interação significativa ente esses dois fatores (Figuras 1 e 2). A distribuição vertical de *Pratylenchus* 30 dias antes e 30 dias após a fertirrigação com vinhaça foi significativamente ajustada aos modelos linear  $y=66,5829-1,5412x$  ( $r^2=0,17^{**}$ ) e quadrático  $y=60,72245-2,8605x+0,03443x^2$  ( $r^2=0,23^{**}$ ), respectivamente (Figura 1A e 1B). Nenhum dos modelos testados descreveu adequadamente a distribuição de *Pratylenchus* ao longo dos 50 cm de profundidade do solo, aos 90 dias após a aplicação de vinhaça. No entanto, as

densidades de *Pratylenchus* aos 30, 40 e 50 cm de profundidade foram significativamente menores que aos 10 cm (Figura 1C), indicando maior concentração do nematóide aos 10 e 20 cm de profundidade.

A distribuição vertical dos onívoros (Figura 2) não se ajustou adequadamente a nenhum modelo testado, nos três períodos estudados. No entanto, antes do corte e aplicação da vinhaça havia significativamente maior concentração dos onívoros a 10 e 20 cm do que nas profundidades mais altas. Aos 30 e 90 dias após o corte e aplicação da vinhaça, as densidades populacionais dos onívoros diminuíram significativamente (Tabela 1), não ocorrendo diferença significativa entre as profundidades, embora os espécimes estivessem presentes ao longo do perfil de solo estudado (Figuras 2A, 2B e 2C).

Para os demais taxa encontrados, a distribuição vertical de nematóide não foi afetada significativamente pelo período de amostragem. Além da significativa redução aos 30 e 90 dias após o corte e aplicação de vinhaça (Tabela 1), a densidade populacional dos ectoparasitos também sofreu redução significativa aos 30, 40 e 50 cm de profundidade (Figura 3A). Considerando o total de fitoparasitos detectados no solo, os resultados mostraram significativa diminuição na densidade populacional após o corte e aplicação de vinhaça (Tabela 1), como também redução na densidade populacional em função da profundidade, descrita significativamente pela equação  $y = 113,2781 - 1,9122x$  ( $r^2 = 0,10^{**}$ ) (Figura 3B).

Os bacteriófagos mostraram-se significativamente mais concentrados nas profundidades de 10 e 20 cm do solo, diminuindo drasticamente em profundidades mais elevadas (Figura 3C), sem variações significativas nos períodos de avaliação (Tabela 1).

Os nematóides predadores não foram detectados em vários pontos de amostragem impossibilitando a análise estatística dos dados.

Embora os micófitos e *Meloidogyne* tenham sido detectados na maior parte das amostras, suas densidades populacionais não foram afetadas significativamente ao longo do tempo (Tabela 1) e da profundidade (Figura 4A e 4B), possivelmente devido às baixas densidades populacionais. Considerando o total de nematóides detectados, o decréscimo populacional em função da profundidade ajustou-se significativamente ao modelo quadrático  $y = 231,2835 - 6,3076x + 0,00530x^2$  ( $r^2 = 0,13^{**}$ ) (Figura 3D), registrando-se queda significativa na densidade da nematofauna 30 e 90 dias após o corte da cana e aplicação de vinhaça (Tabela 1).

O corte da cana e fertirrigação com vinhaça não afetou significativamente a densidade de partícula, porosidade e evolução C-CO<sub>2</sub> do solo (Tabela 1), embora tenham ocorrido variações significativas em função da profundidade (Figura 5). A densidade de partículas foi significativamente maior aos 30, 40 e 50 cm (Figura 5A), enquanto a porosidade diminuiu linearmente com o aumento da profundidade do solo, conforme descrito pela equação  $y = 0,41181 - 0,00073125x$  ( $r^2 = 0,11^{**}$ ) (Figura 5B). A evolução C-CO<sub>2</sub> do solo, ajustou-se ao modelo  $y = 30,95592 - 1,23679x + 0,01473x^2$  ( $r^2 = 0,34^{**}$ ) (Figura 5C), indicando maior concentração microbiana nas camadas mais superficiais do solo, onde ocorreu maior concentração de nematóides.

A densidade do solo aumentou com a profundidade (Figuras 6A, 6B e 6C), diminuindo após a fertirrigação com vinhaça (Tabela 1), ocorrendo interação entre a época de amostragem e profundidade. O aumento da densidade do solo decorrente do aumento da profundidade aos 30 dias antes e aos 30 e 90 dias após a fertirrigação é representados pelas equações  $y = 1,5193 + 0,0023x$  ( $r^2 = 0,34^{**}$ ),  $y = 1,4938 + 0,0026x$  ( $r^2 = 0,53^{**}$ ) e  $y = 1,498 + 0,0028x$  ( $r^2 = 0,52^{**}$ ).

A análise do coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) mostrou haver correlação negativa entre a densidade do solo e o número total de nematóides ( $r = -0,20$ ;  $p < 0,05$ ).

Porém, o baixo coeficiente de correlação evidencia que outros fatores, além da densidade do solo, podem influenciar a densidade populacional de nematóides no seu perfil. Miranda (2009) ao estudar o efeito das operações de colheita e da fertirrigação com vinhaça também encontrou populações de nematóides mais baixas depois da aplicação do resíduo, e um decréscimo na densidade do solo com o tempo, o que propiciou melhores condições para o desenvolvimento das raízes.

O efeito benéfico da vinhaça sobre as propriedades físicas do solo é relatado por vários autores (Lyra *et al.*, 2003; Silva and Cabeda, 2005; Miranda, 2009). Por outro lado, Andrioli (1986) quando aplicou doses crescentes de vinhaça (0, 250, 300, 600 e 1200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) verificou que a densidade do solo, a porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade não foram influenciadas pela aplicação de vinhaça, o que foi atribuído a pouca variação nos teores de matéria orgânica do solo.

A diminuição da densidade populacional de nematóides com o aumento da profundidade do solo está comumente associada à diminuição da quantidade de raízes e compactação das camadas mais profundas, alterando os espaços porosos e diminuindo a oxigenação nestas camadas (Carneiro *et al.*, 1982). De maneira geral, as maiores densidades populacionais foram encontradas nas profundidades de 0-20 cm, reduzindo com o aumento da profundidade do solo. Segundo Miranda (2009) e Rodrigues (2010), em solos de tabuleiros as densidades populacionais de nematóides diminuem com a profundidade, sendo as maiores densidades encontradas nas profundidades de 0 a 20 cm. As profundidades de 40-50 cm apresentaram menores densidades populacionais nos três períodos de avaliação, corroborando com as recomendações para coleta de amostras nas profundidades de 20 a 30 cm (Been and Schomaker, 2006). Sampaio *et al.* (1987), verificaram, para as condições de tabuleiro de Pernambuco, que 75% da massa radicular da cana-de-açúcar estava localizada nos primeiros 20 cm superficiais e 50% estavam

distante a menos de 30 cm do centro da touceira, o que pode justificar esta maior densidade populacional nos 20 primeiros centímetros no presente estudo.

A distribuição vertical de fitonematóides pode mudar com o tempo, devido a diferentes aspectos da dinâmica da população, da redistribuição ativa e passiva e disseminação dos microrganismos no solo (Maranhão, 2008). Nematóides participam de várias interações com a microbiota, visto que exsudatos radiculares interferem na biologia do solo e fornece alimentos para bactérias e fungos, atraindo os correspondentes grupos tróficos para a rizosfera (Mattos, 2006). A atividade microbiana do solo foi analisada através da respiração microbiana (evolução de C-CO<sub>2</sub>). Como o esperado, ocorreu decréscimo na respiração microbiana com o aumento da profundidade (Figura 5C).

Os maiores valores de densidade de partícula do solo foram observados nas camadas de 30 a 50 cm (Figura 5A). Corroborando com Kato *et al.* (2010), que ao estudar as propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um latossolo vermelho-amarelo, sob diferentes coberturas vegetais, verificou que a maior densidade de partícula, observada na camada de 20-30 cm, estava associada à menor influência dos componentes orgânicos, o que justifica os maiores valores nas profundidades mais altas encontrados neste trabalho.

Existem poucos estudos sobre os efeitos da distribuição vertical de nematóides em cana-de-açúcar, porém, há relatos que além da distribuição do sistema radicular das plantas hospedeiras há também influência da temperatura, da microbiota e propriedades físicas e químicas do solo (Been and Schomaker, 2006). No presente estudo, a fertirrigação afetou a densidade do solo, atributo físico que mais influenciou a distribuição vertical dos nematóides. As maiores variações nas densidades populacionais de nematóides ao longo do perfil do solo decorreram da profundidade,

sendo as de 10 e 20 cm as mais habitadas, corroborando com as profundidades usualmente recomendadas para amostragem.

#### LITERATURA CITADA

- Andrioli, I. 1986. Efeitos da vinhaça em algumas propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro textura média. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- Been, T. H. and C. H Schomaker. 2006. Distribution patterns and sampling. Pp. 302-326. in R. N. Perry and M. Moens, Eds. Plant Nematology. Wallingford: CAB International, Wallingford, CT.
- Cadet, P. and V. W. Spall. 2005. Nematodes parasites of sugarcane. Pp. 645-674. in M. Luc, R. A. Sikora and J. Bridge, Eds. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. Wallingford: CABI International, Wallingford, CT.
- Carneiro, R. M. D. G., Carneiro, R. Gomes., Monteiro, A. R. 1982. Distribuição vertical de quatro espécies de nematóides parasitos da cana-de-açúcar, em relação a certas propriedades do solo. IV Reunião de Nematologia, Sociedade Brasileira de Nematologia 6:117-132.
- Chaves, A.; R. V. L. Maranhão, E. M. R. Pedrosa, L. M. P. Guimarães, and M. K. R. Oliveira. 2009. Incidência de *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus* sp. em cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco, Brasil. Nematologia Brasileira. 33:278-280.
- Cortez, L. A., P. S. G. Magalhães, and J. Happ. 1992. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. Revista Brasileira de Energia 2:111-146.
- Dinardo-Miranda, L. L. 2006. Manejo de nematóides e pragas de solo em cana-de-açúcar. Pp. 59-80. in A. P. Campos, D. W. Vale, E. S. Araújo, M. M. Corradi, M. S. Yamauti, O. A. Fernandes and S. Freitas, Eds. Manejo integrado de pragas. FUNEP, Jaboticabal, SP.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. 1997. Manual de métodos de análises de solo. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. 212, Rio de Janeiro, RJ.
- Ferreira Lima, R. 2000. Influência do nematicida Terbufos na flutuação populacional de nematóides e parâmetros produtivos de duas variedades de cana-de-açúcar

- (*Saccharum* spp.). Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil. 19:36-39.
- Flint, A. L., and L.E. Flint. 2002. Particle density. Pp. 229-240 in J. H Dane and G. C. Topp, Eds. Methods of soil analysis: part 4 – physical methods. American Society of America, Madison, WI.
- Grisi, B. M. 1978. Método químico de medição de respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. *Ciência e Cultura*. 30:82-88.
- Jenkins, W. R. A. 1964. Rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*. 4:462.
- Kato, E., M. L. G. Ramos, D. F. A. Vieira, A. D. Meira, and V. C. Mourão. 2010. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um latossolo vermelho-amarelo do cerrado, sob diferentes coberturas vegetais. *Bioscience Journal*. 26:732-738.
- Koppen, W. 1948. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Econômica, 466. México.
- Lyra, M. R. C. C., M. M. Rolim, and J. A. A. Silva. 2003. Toposequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 7: 525-532.
- Mai, W. F., P. G. Mullin, H. H. Lyon, and K. Loeffle. 1996. *Plant-Parasitic nematodes: a pictorial key to genera*. Cornell University Press. 277, Ithaca, NY.
- Maranhão, S. R. V. L. 2008. Comunidade populacional e variabilidade espacial de nematóides em áreas de cultivo de cana-de-açúcar sob diferentes condições edafoclimáticas. Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.
- Mattos, J. K. A., S. P. Huang, and, C. M. McPimentel. 2006. Grupos tróficos da comunidade de nematóides do solo em oito sistemas de uso da terra nos Cerrados do Brasil central. *Nematologia Brasileira*. 30:267-273.
- Miranda, T. L. 2009. Relações entre atributos físicos e biológicos do solo após operações de colheita e aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar. 2009, 81p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.
- Pudasaini, M. P., C. H. Schomaker, T. H. Been, and M. Moens. 2006. The vertical distribution of the plant parasitic nematode, *Pratylenchus penetrans*, under four field crops. *Phytopathology*. 96:226-233.
- Rodrigues, C. V. M. 2010. Distribuição vertical da nematofauna associada ao cultivo da cana-de-açúcar em área de várzea. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.

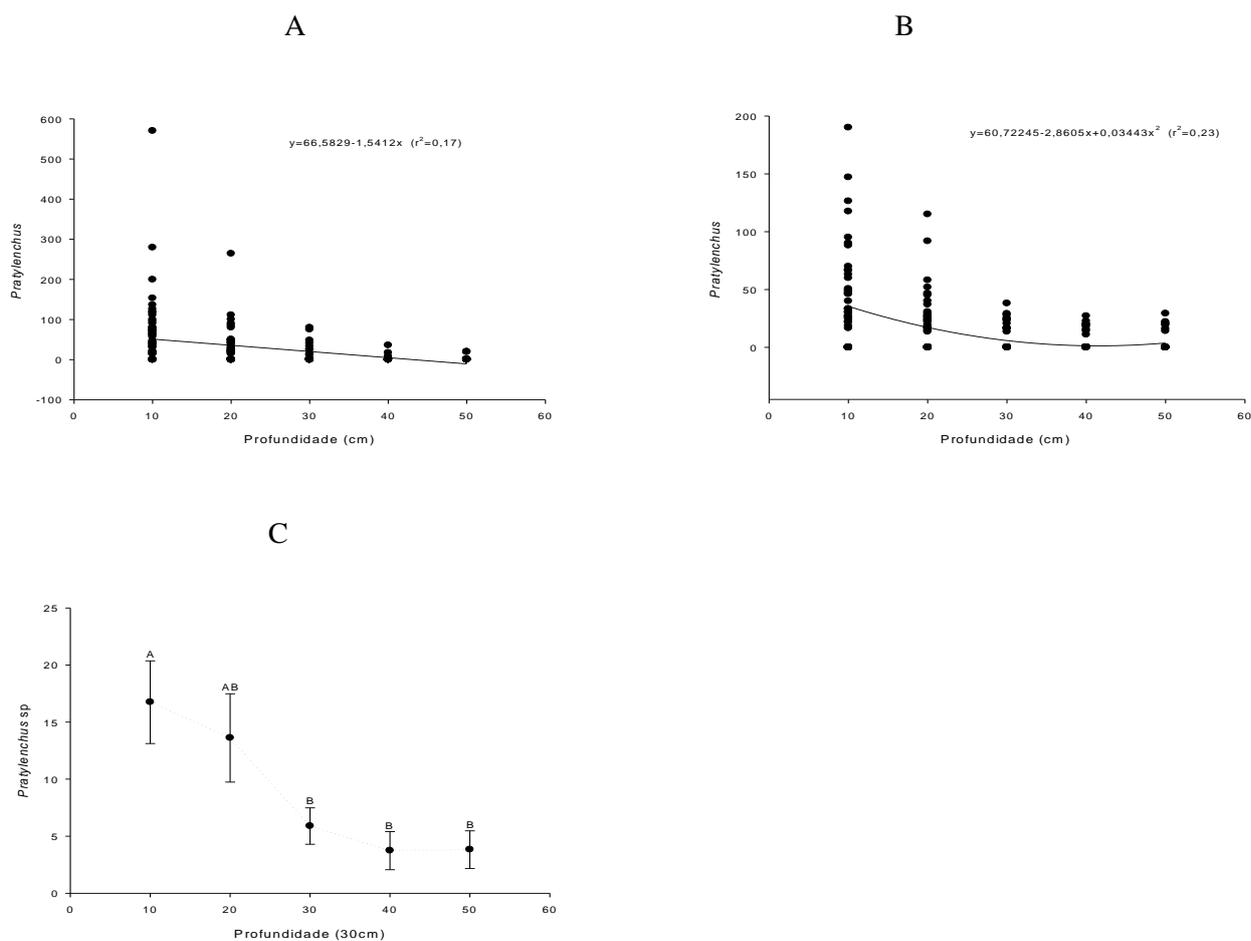
- Sampaio, E. V. S. B., I. H. Salcedo. 1987. Eficiência de utilização de uréia-<sup>15</sup>N por cana-planta e três socas em tabuleiro costeiro de Pernambuco. Anais do Congresso Nacional da Stab. 4:46-49.
- Silva, A. J. N., and M. S. V. Cabeda. 2005. Influência de diferentes sistemas de manejo na coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de Fe, Si e Al em solo de tabuleiro costeiro de Alagoas. Revista Brasileira de Ciências do Solo. 29:447-457.
- Souza, R. A. 2009. Quantificação de *Pratylenchus brachyurus* em genótipos de soja (*Glycine Max L.*) Merrill, em Tupirama-TO. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.
- Tenório, Z., O. S. Carvalho, O. R. R. F. Silva, J. M. G. Montes, and F. G. Lopez. 2000. Estudio de la actividade biológica de los solos costeros Del NE de Brasil enmendados com resíduos agrícolas: vinaza y torta de caña de azúcar. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 4:70-74.
- Wall, D. H. and R. A. Virginia. 1999. Controls on soil biodiversity: insights from 298 extreme environments. Applied Soil Ecology. 13: 137-150.
- Wall, J. W., K. R. Skene, and R. Neilson. 2002. Nematode community and trophic structure along a sand dune succession. Biology and Fertility of Soils. 35: 293-301.
- Yates, G. W. T., Bongers, R. G.M. de Goede, D. W. Freckman and S. S. Georgieva. 1993. Feeding habits in nematode families and genera- an outline for soil ecologists. Journal of Nematology. 25:315-331.

**Tabela 1.** Nematofauna (nematóides /300cm<sup>3</sup> solo), densidade do solo, densidade de partícula, porosidade e evolução C-CO<sub>2</sub> do solo 30 dias antes e 30 e 90 dias após o corte da cana-de-açúcar e fertirrigação com vinhaça.

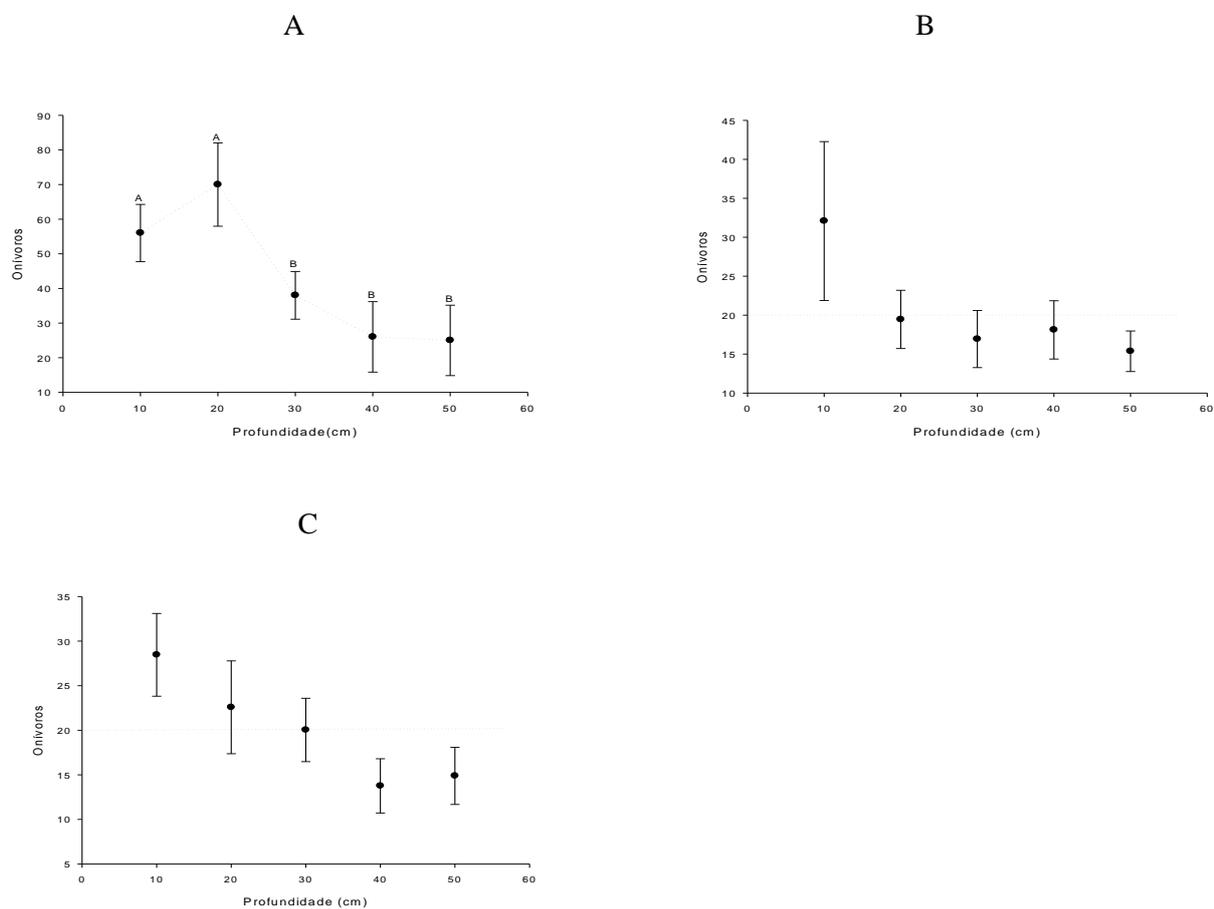
Variáveis do Solo	30 dias antes	30 dias depois	90 dias depois
	Média		
Predadores	-	-	-
Onívoros	42,648 a	20,445 b	19,992 b
Micófagos	0,311 a	0,971 a	0,718 a
Bacteriófagos	14,131 a	16,176 a	14,167 a
Meloidogyne	11,029 a	6,098 a	5,816 a
Pratylenchus	20, 445 a	12, 780 b	8,788 b
Ectoparasitos	43, 472 a	22,763 b	35,131 a
Fitoparasitos	76,054 a	42,812 b	49,81 b
Nematóides Totais	134,710 a	81,700 b	85,810 b
DS	1,591 a	1,577 b	1,574 b
DP	2,578 a	2,584 a	2,584 a
PORO	0,772 a	0,388 a	0,389 a
C-CO <sub>2</sub>	12,67 a	12,29 a	10,06 a

Médias seguidas de mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

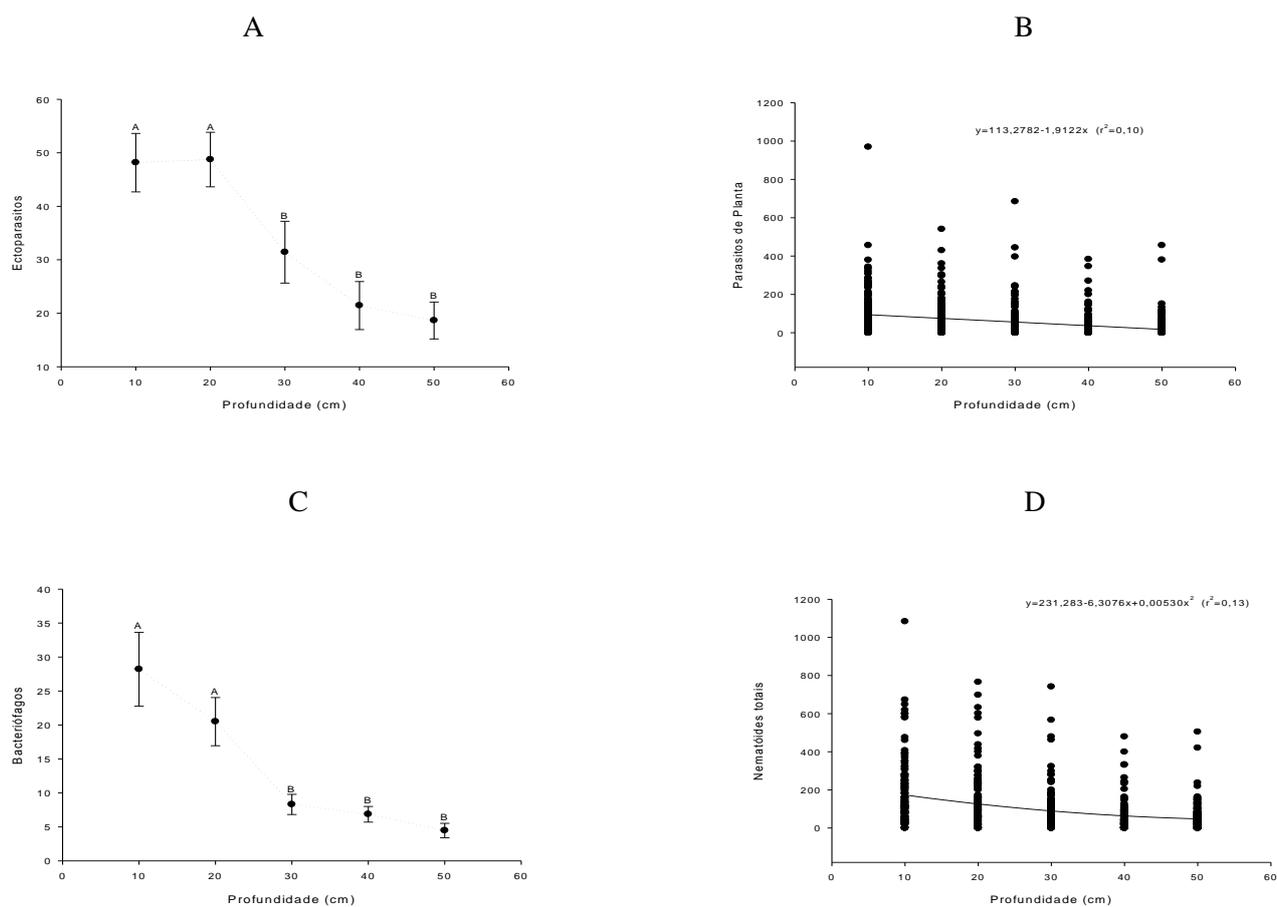
DS= Densidade do solo (g/cm<sup>3</sup>), DP= Densidade de partícula (g/cm<sup>3</sup>), PORO= Porosidade (%), C-CO<sub>2</sub>=evolução C-CO (mg/CO<sub>2</sub>), - Não detectado na maior parte dos pontos amostrados.



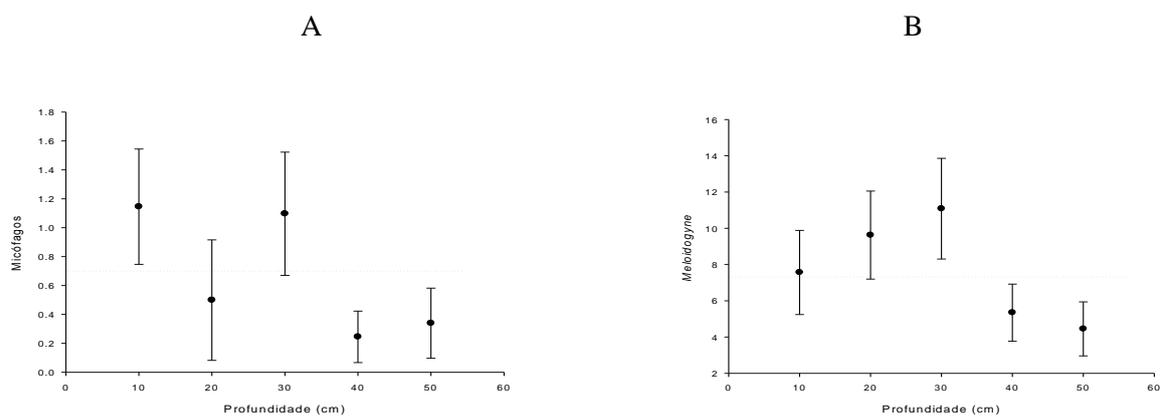
**Figura 1.** Efeito do corte da cana-de-açúcar e da fertirrigação com vinhaça na distribuição vertical de *Pratylenchus*. A= 30 dias antes do corte e fertirrigação, B= 30 dias após o corte e fertirrigação, C= 90 dias após o corte e fertirrigação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%).



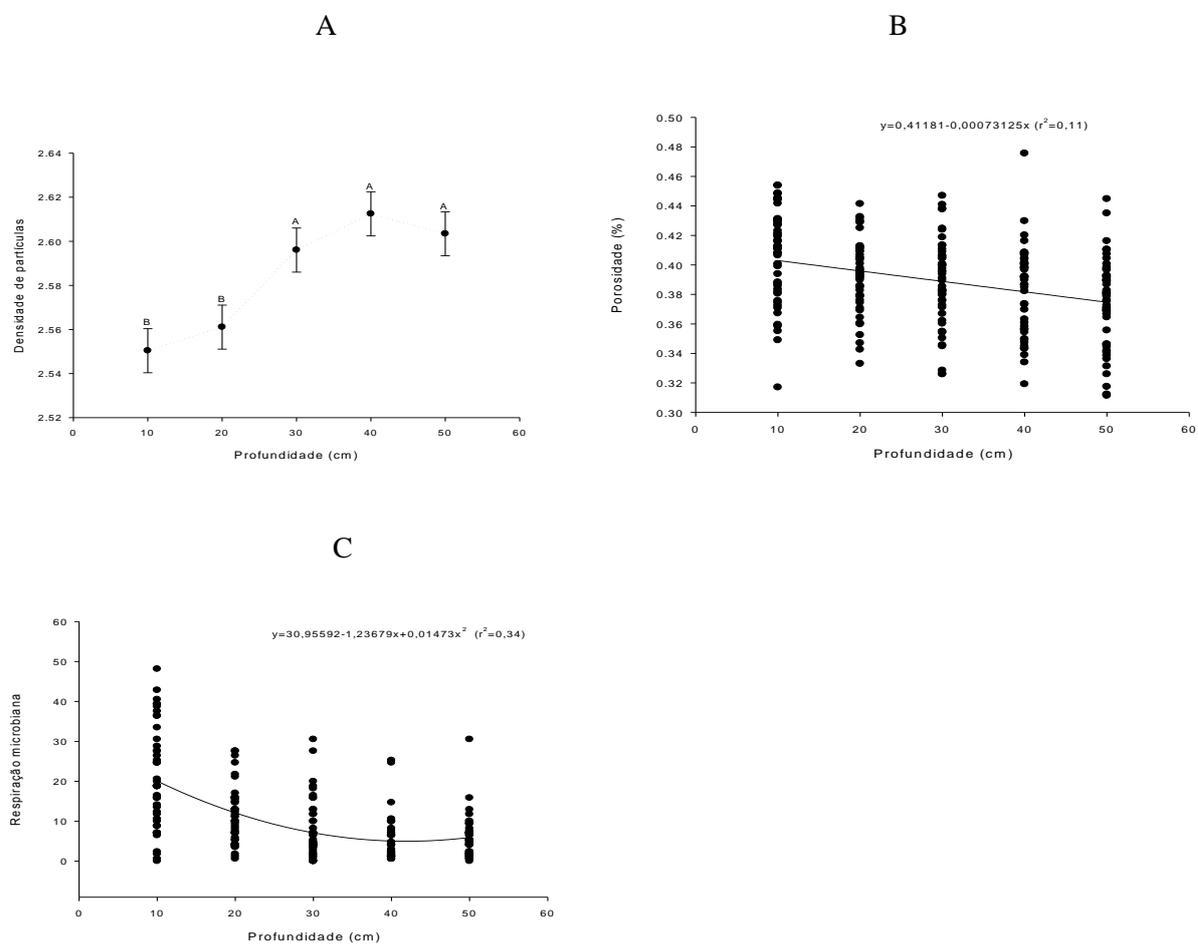
**Figura 2.** Efeito do corte da cana-de-açúcar e fertirrigação com vinhaça na distribuição vertical de onívoros. A= 30 dias antes do corte e da fertirrigação, B= 30 dias após o corte e fertirrigação, C= 90 dias após o corte e fertirrigação. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%).



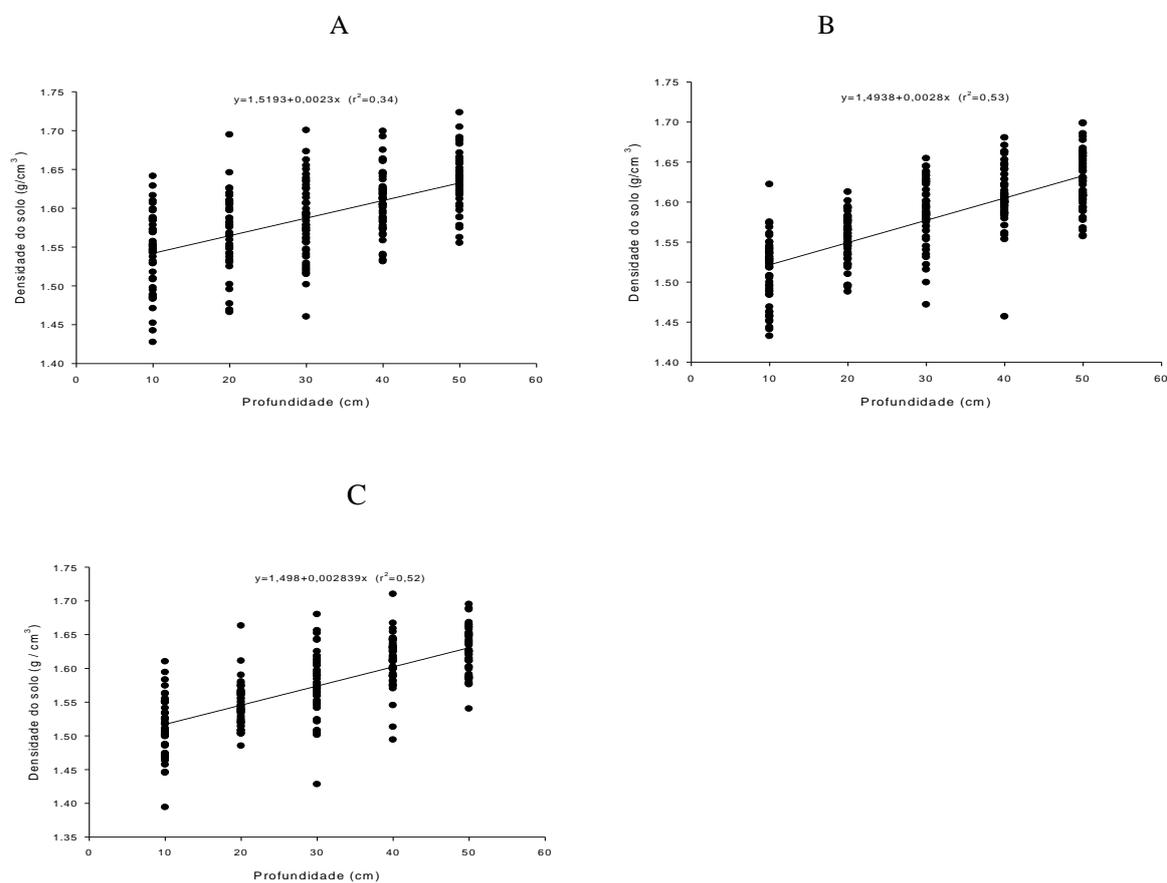
**Figura 3.** Efeito da profundidade do solo nas populações de nematóides: A= ectoparasitos, B= parasitos de planta, C= bacteriófagos, D= nematóides totais. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%).



**Figura 4.** Efeito da profundidade do solo na distribuição vertical dos nematóides: A= micófagos, B=*Meloidogyne*.



**Figura 5.** Efeito da profundidade do solo nas variáveis: A= densidade de partículas, B= porosidade, C= Respiração microbiana. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey 5%.



**Figura 6.** Efeito do corte da cana-de-açúcar e da fertirrigação com vinhaça na distribuição vertical da densidade do solo. A= 30 dias antes do corte e fertirrigação, B= 30 dias após o corte e fertirrigação, C= 90 dias após o corte e fertirrigação.

## *Capítulo IV*

---

**Distribuição espacial de fitonematóides em área cultivada com cana-de-açúcar e fertirrigada com vinhaça**

## **DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE FITONEMATÓIDES EM ÁREA CULTIVADA COM CANA-DE-AÇÚCAR E FERTIRRIGADA COM VINHAÇA**

L. B. Caixeta<sup>2</sup>, E. M. R. Pedrosa<sup>3\*</sup>, L. M. P. Guimarães<sup>4</sup> and P. A. Barros<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Parte da dissertação da primeira autora. <sup>2</sup>Aluna de Pós-graduação, Universidade Federal Rural de Pernambuco Departamento de Agronomia, Brasil <sup>3</sup>Professor, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Brasil. <sup>4</sup>Doutora, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Brasil. <sup>5</sup>Aluna de Pós-graduação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Brasil. \*Autor para correspondência: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil, CEP: 52171-900, Phone: 55-81-85151222, Fax: 55-81-33206205, e-mail: elvira.pedrosa@dtr.ufrpe.br

### **ABSTRACT**

The objective of the present study was to evaluate the spatial variability of the plant ecto and endoparasitic nematodes. Experiments were carried out in costal table area cultivated longer than 20 years with sugarcane. Horizontally, samples were collected in 49 points within a 60×60 m square net. Vertically, in each point, samples were collected 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm deep. Evaluations based on eto end endoparasitic nematodes in soil and roots, carried out 30 days before and 30 and 90 days after sugarcane cut and vinasse application. Techniques of descriptive statistics and geostatistics were applied for characterize the magnitude of spatial dependence of nematode distribution and elaborate kriging maps. According to semivariograms, endoparasite distribution fitted to spherical before and 30 days after and before vinasse application. However, ectoparasite distribution, fitted to spherical model before

irrigation, shifted to exponential 30 days before vinasse application. Spatial dependence of endoparasites was moderate after and before irrigation. Ectoparasites presented moderate dependence before and weak after irrigation. At 90 days after irrigation, endo and ectoparasites did not present correlation among points sampled showing pure nugget effect. Changes in spatial distribution of parasites after cut and vinasse irrigation were presented through kriging maps.

**Key-word:** Plant parasite nematode, management, *Saccharum* sp., spatial variability

## RESUMO

O trabalho teve como objetivo caracterizar a variabilidade espacial dos fitonematóides ecto e endoparasitos, utilizando-se de técnicas estatísticas descritivas e geoestatísticas, visando ao mapeamento para observação dos efeitos alcançados pela fertirrigação com vinhaça na distribuição espacial de fitonematóides. Os experimentos foram conduzidos em área de tabuleiro costeiro cultivado com cana-de-açúcar há mais de 20 anos. Horizontalmente, as amostras foram coletadas em malha de 60×60 m, em 49 pontos. Verticalmente, em cada ponto, foram retiradas amostras nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm. As avaliações fundamentaram-se na determinação dos ecto e endoparasitos, efetuadas 30 dias antes e 30 e 90 dias após o corte da cana-de-açúcar e fertirrigação com vinhaça. Técnicas de estatística descritiva e geoestatística foram empregadas para caracterização da magnitude da dependência espacial da distribuição dos nematóides e elaboração de mapas de krigagem. Com base nas semivariâncias experimentais, a distribuição dos endoparasitos ajustou-se ao modelo esférico 30 dias antes e após a aplicação de vinhaça. No entanto, a distribuição dos ectoparasitos ajustada ao modelo esférico antes da irrigação, mudou para exponencial 30 dias após a aplicação de vinhaça. Os endoparasitos apresentaram dependência

espacial moderada antes e após a irrigação com vinhaça e, os ectoparasitos, moderada antes e fraca 30 dias após a irrigação. Aos 90 dias após a irrigação, os endo e ectoparasitos não apresentaram correlações entre os pontos amostrados, revelando efeito pepita puro. As variações na distribuição espacial dos parasitos após o corte e fertirrigação foram apresentadas nos mapas de krigagem.

**Palavras-chave:** Fitonematóide, manejo, *Saccharum* sp., variabilidade espacial

## INTRODUÇÃO

No Brasil, diversas espécies de nematóides encontram-se associadas à cana-de-açúcar (híbridos de *Saccharum* spp.). As espécies de maior importância, em função dos danos que causam à cultura são: *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood, *M. incognita* (Kofoid & White) Chitwood e *Pratylenchus zaei* Graham (Dinardo-Miranda, 2006). Estes organismos vêm assumindo papel de destaque, devido às limitações das técnicas de controle em diminuir de forma drástica e prolongada as populações em áreas infestadas, ocasionando perdas elevadas (Barros *et al.*, 2002; Chaves *et al.*, 2002).

Vários estudos têm sido realizados a fim de avaliar a eficácia dos métodos de controle. Atualmente, o manejo de áreas infestadas tem se baseado principalmente no uso de nematicidas químicos, aplicados no plantio e/ou nas soqueiras, devido à ausência de variedades comerciais resistentes a uma ou a mais espécies de nematóides (Silva *et al.*, 2006). A amplitude do efeito desses produtos depende do tipo e da quantidade de resíduo usado, da planta hospedeira, das condições ambientais, da espécie de nematóide e da microbiota dominante no solo, podendo tornar este método de controle inconstante (Stirling *et al.*, 2003), somando-se a estes fatores os altos custos e a eficiência temporária de alguns produtos (Kerry, 2001).

Em busca de reduzir o uso de nematicidas químicos, a incorporação de matéria orgânica pode ser utilizada como um componente no manejo integrado, pois

proporciona condições favoráveis para multiplicação de inimigos naturais dos fitonematóides, principalmente fungos, além de promover formação de substâncias orgânicas, tais como ácidos graxos voláteis, que podem apresentar ação nematicida (Ferraz *et al.*, 2010). Desta forma, o uso de vinhaça em canaviais vem sendo estudado como método alternativo de controle de fitonematóides no campo, devido ao seu grande potencial como fonte de matéria orgânica. Pedrosa *et al.* (2005) estudaram o efeito de supressividade de nematóides em cana-de-açúcar pela adição de vinhaça ao solo e observou que o efeito supressivo do resíduo foi diretamente proporcional ao volume da vinhaça adicionado.

Quando incorporada ao solo, a vinhaça pode promover mudanças na distribuição espacial dos fitonematóides na área. Estas mudanças podem ser direta, devido à ação de componentes tóxicos à nematofauna presente no resíduo ou pelas alterações físicas e químicas do solo, como textura, umidade e nutrientes (Francl, 1993; Koenning *et al.*, 1996; Gorres, *et al.*, 1998). Segundo Wallace and Hawkins (1994), a distribuição espacial dos nematóides no campo é agregada, resultando em dependência espacial dos dados. Desta forma, a estatística convencional é geralmente inapropriada para descrevê-los, quando estes estão espacialmente correlacionados. Nessas condições, utiliza-se a geoestatística, uma ferramenta que depende de semivariogramas para caracterizar e modelar a variância espacial dos dados. De posse dos modelos dos semivariogramas, torna-se possível a otimização de planos de amostragem para a área, o que possibilita gerar mapas ou simulações de níveis de infecção de patógenos (Silva *et al.*, 2000).

O presente estudo teve como objetivo caracterizar a variabilidade espacial dos fitonematóides, utilizando-se de técnicas estatísticas descritivas e geoestatísticas para identificação dos padrões de variabilidade e dependência espacial das variáveis

estudadas, visando ao mapeamento dos nematóides para observação dos efeitos alcançados pela fertirrigação com vinhaça.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Usina Santa Tereza, localizada no município de Goiana, em solo de tabuleiro costeiro com teores 12, 36 e 951 g kg<sup>-1</sup> de argila, silte e areia, respectivamente, apresentando textura arenosa. A área é fertirrigada com vinhaça e cultivada com variedade de cana-de-açúcar RB863129, considerada suscetível a fitonematoses. A região tem sido manejada sob sistema de plantio convencional há mais de 20 anos, sempre com cana-de-açúcar. O clima local, de acordo com o sistema de Koppen (1948), é 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. As temperaturas médias anuais variam em torno de 24°, com amplitude térmica anual fraca de 3°C e isoietas de 1932,3 a 975,6mm anuais.

As avaliações foram efetuadas em três períodos diferentes de cultivo, 30 dias antes da aplicação de vinhaça e do corte da cana-de-açúcar; 30 e 90 dias após.

Horizontalmente, as amostras foram coletadas em 49 pontos georreferenciados, com espaçamento de 10 m entre os pontos, formando malha de 60 × 60 m. Verticalmente, com auxílio de um escavador, foi aberta em cada ponto uma trincheira e coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm, totalizando 245 amostras em cada período.

Para as análises nematológicas, as 245 amostras foram homogeneizadas e submetidas ao método da flotação centrífuga (Jenkins, 1964). As suspensões de fitonematóides obtidas foram mantidas sob refrigeração (4-6°C). A contagem dos espécimes foi realizada em lâminas de Peters, com auxílio de um microscópio óptico, em quatro

repetições, e os resultados foram computados em número de espécimes por 300 cm<sup>3</sup> de solo. A identificação dos fitonematóides foi feita ao nível de gênero de acordo com a chave de Mai *et al.* (1996), sendo agrupados em endoparasitos e ectoparasitos.

Foi realizada, inicialmente, uma análise descritiva com o objetivo de observar o comportamento geral dos dados (presença de valores atípicos, tendência central, entre outros) e aderência à distribuição normal. Os dados discrepantes foram eliminados com base no critério de Hoaglin *et al.* (1983) que consideram discrepantes aqueles dados abaixo do limite inferior (Li) ou acima do limite superior (Ls) estimados por:  $Li = Qi - 1,5 Ai$  e  $Ls = Qs + 1,5 Ai$ , sendo Qi e Qs os quartis inferior e superior, respectivamente, e Ai a amplitude interquartílica. Foi utilizado o programa GEO-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software) para estudo da estrutura de dependência espacial, através de semivariogramas construídos com base nas semivariâncias estimadas por:

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

em que  $\gamma^*$  é o valor da semivariância estimada a partir dos dados experimentais; N(h) é o número de pares de observações Z(x<sub>i</sub>) e Z(x<sub>i</sub> + h) separadas por uma distância h (Journel, 1983).

Os parâmetros do semivariograma teórico definidos como: alcance (a), patamar (C<sub>i</sub>) e efeito pepita (C<sub>0</sub>) foram ajustados de modo a minimizar os erros quadráticos médios, considerando os modelos matemáticos: exponencial e esférico. Para a análise do grau de dependência espacial das variáveis foi utilizada a classificação de Cambardella *et al.* (1994), que considera forte dependência espacial os semivariogramas com efeito pepita 25% do patamar, moderada quando entre 25 e 75% e de fraca quando > 75%.

Para fins de avaliar o efeito da fertirrigação com vinhaça na distribuição da nematofauna, foram confeccionados mapas de krigagem nas áreas por meio do programa Surfer Software.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas semivariâncias experimentais obtidas nos períodos analisados (Figura 1), o modelo esférico foi o que melhor se ajustou para os endoparasitos e ectoparasitos da primeira coleta e endoparasitos da segunda coleta. Para os ectoparasitos da segunda coleta o melhor modelo ajustado foi o exponencial. Resultado semelhante foi obtido por Wallace and Hawkins (1994), ao analisarem a dependência espacial da textura do solo e de nematóides associados à grama-canário, encontrando para a maioria dos semivariogramas o modelo esférico, obtendo-o como melhor ajuste para as suas estimativas. Dinardo-Miranda and Fracasso (2009) trabalhando com a distribuição espacial de fitonematóides endoparasitos em cana-de-açúcar, calcularam dez semivariogramas, das quais seis se ajustaram ao modelo exponencial e o restante apresentou efeito pepita puro.

Os endoparasitos e ectoparasitos da terceira coleta não apresentaram correlações entre os pontos amostrados, revelando efeito pepita puro. Para esses dados, observa-se uma distribuição completamente aleatória, não tendo sob o ponto de vista geoestatístico uma função que descreva sua variação no espaço. Segundo Wallace and Hawkins (1994), em nematologia, o efeito pepita pode estar ligado à biologia dos nematóides, e entende-se como qualquer aumento da colonização ou tendência de agrupamento entre os nematóides da mesma espécie; podendo estar relacionado também ao plano de amostragem utilizado. Wojciechowski *et al.* (2009) ao verificar efeito pepita puro em

uma área de floresta, sugeriu redução do espaçamento adotado nas amostragens, o que poderia resultar em ajuste a um modelo teórico do semivariograma experimental.

Tendo em vista os valores obtidos de  $C_0$  e  $C_0+C_i$ , foi possível avaliar a dependência espacial como fraca para os ectoparasitos da segunda coleta, e moderada para os demais, conforme classificação proposta por Cambarella *et al.* (1994) (Tabela 1), corroborando com os resultados de Maranhão (2008), encontrando dependência espacial fraca a moderada para *Pratylenchus* sp. em área de tabuleiro irrigada.

Segundo, Reichardt (1985), pode ser estabelecido o limite de dependência espacial para distâncias iguais ou menores que o alcance, indicando que os valores vizinhos de uma variável estão espacialmente correlacionados e podem ser utilizados para estimar valores em qualquer ponto entre eles. O valor do alcance encontrado na primeira coleta, para endoparasitos e ectoparasitos foi, respectivamente, 13,9 m e 14,1 m, enquanto que para a segunda coleta foi 13,5 m e 10 m, respectivamente, permitindo estimar uma área de agregação ( $A = \pi r^2$ , em que  $r = a$ ) variando de 572 a 624 m<sup>2</sup>, com um valor médio de 598 m<sup>2</sup>, ou seja, qualquer ponto amostrado dentro desta área apresentará a mesma dependência espacial dos fitonemaóides, para estas condições. Corroborando com o valor médio encontrado ( $a=10$  m) por Maranhão (2008) quando estudou a distribuição espacial de *Meloidogyne* sp. e *Pratylenchus* sp. em cana-de-açúcar. Valores distintos foram encontrados por Dinardo-Mirando and Fracasso (2009), em que o alcance variou de 18 a 35 m, ao estudar a distribuição espacial de nematóides em cana-de-açúcar, apresentando uma área média de agregação de 2.106 m<sup>2</sup>. Os resultados podem ser justificados pelo padrão de distribuição espacial de espécies fitoparasitas que é fortemente afetado pelo espaçamento das plantas hospedeiras, arquitetura do sistema radicular e fisiologia da planta (Farias *et al.*, 2002) .

Os mapas de krigagem mostraram a variabilidade espacial dos endoparasitos e ectoparasitos com a fertirrigação. As maiores concentrações de manchas mais escuras antes da fertirrigação correspondem às altas concentrações de endoparasitos e ectoparasitos na área, podendo ser observadas manchas mais claras após a fertirrigação para os dois grupos. (Figura 2). Verifica-se também uma estimativa da movimentação em cada amostragem, atribuindo a este fato a uma leve migração sazonal dos fitonematóides em respostas à temperatura, umidade ou mudança padrões radiculares obtidos pelo corte da cana-de-açúcar, bem como por mudanças nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo proporcionados pela fertirrigação, que podem afetar a distribuição espacial dos nematóides.

#### LITERATURA CITADA

- Barros, A. C. B., R. M. Moura, E. M. R. Pedrosa. 2002. Aplicação de terbufos no controle de *Meloidogyne incognita* raça 1 e *Pratylenchus zae* em cinco variedades de cana-de-açúcar no Nordeste. *Nematologia Brasileira* 24:73-78.
- Cambardella, C. A., T. B. Moorman, J. M. Novak, T. B. Parkin, D. L. Kkarlem, R. F. Turco, and A. A. Konopa. 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. *Soil Science Society America Journal* 58:1501-1511.
- Chaves, A., E. M. R. Pedrosa, and R. M. Moura. 2002. Efeitos da aplicação de terbufós sobre a densidade populacional de nematóides endoparasitos em 5 variedades de cana-de-açúcar no Nordeste. *Nematologia Brasileira* 26:167-176.
- Dinardo-Miranda, L. L. and J. V. Fracasso. 2009. Spatial distribution of plant-parasitic nematodes in sugarcane fields. *Science Agricola* 66:188-194.

- Dinardo-Miranda, L. L., M. A. Gil, A. L. Coelho, V. Garcia, C. C. Menegatti. 2003. Efeito da torta de filtro e de nematicidas sobre as infestações de nematóides e a produtividade da cana-de-açúcar. *Nematologia Brasileira* 27:61-67.
- Farias, P. R. S., J. C. Barbosa, S. R. Vieira, X. Sánchez-Villa, and L. C. C. B. Ferraz. 2002. Geostatistical analysis of the spatial distribution of *Rotylenchulus reniformis* on cotton cultivated under crop rotation. *Russian Journal of Nematology* 10: 1-9.
- Ferraz, S.; L. G. Freitas, E. A. Lopes, and C. R. Dias-Arieira. 2010. Manejo Sustentável de Fitonematóides. Universidade Federal de Viçosa. 304, Viçosa-MG.
- Francl, L. J. 1993. Multivariate analysis of selected edaphic factors and their relationship to *Heterodera glycines* population density. *Journal of Nematology* 6:203-210.
- Gorres, J. H, N. J. Dechiaro, J. B. Lyons, and J. A. Amador. 1998. Spatial and temporal patterns of soil biological activity in a Forest and an old field. *Soil Biology and Biochemistry*. 30:219-230.
- Hoaglin, D. C., F. Mosteller, and J. W. Tykey. 1983. Análisis exploratória de datos: técnicas robustas, um guia. Salamandra. 446, Lisboa.
- Jenkins, W. R. 1964. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter* 4:692.
- Journel, A. G. 1983. Nonparametric estimation of spatial distributions. *Mathematical Geology* 15:445-468.
- Kerry, B. R. 2001. Exploitation of nematophagous fungal *Verticillium chlamydosporium* Goddard for the biological control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.). Pp. 155-167 in T. M. Butt, C. Jackson and N. Magan, Eds. *Fungi as biocontrol agents: Progress, problems and potential*. CAB International, Wallingford, C.T.

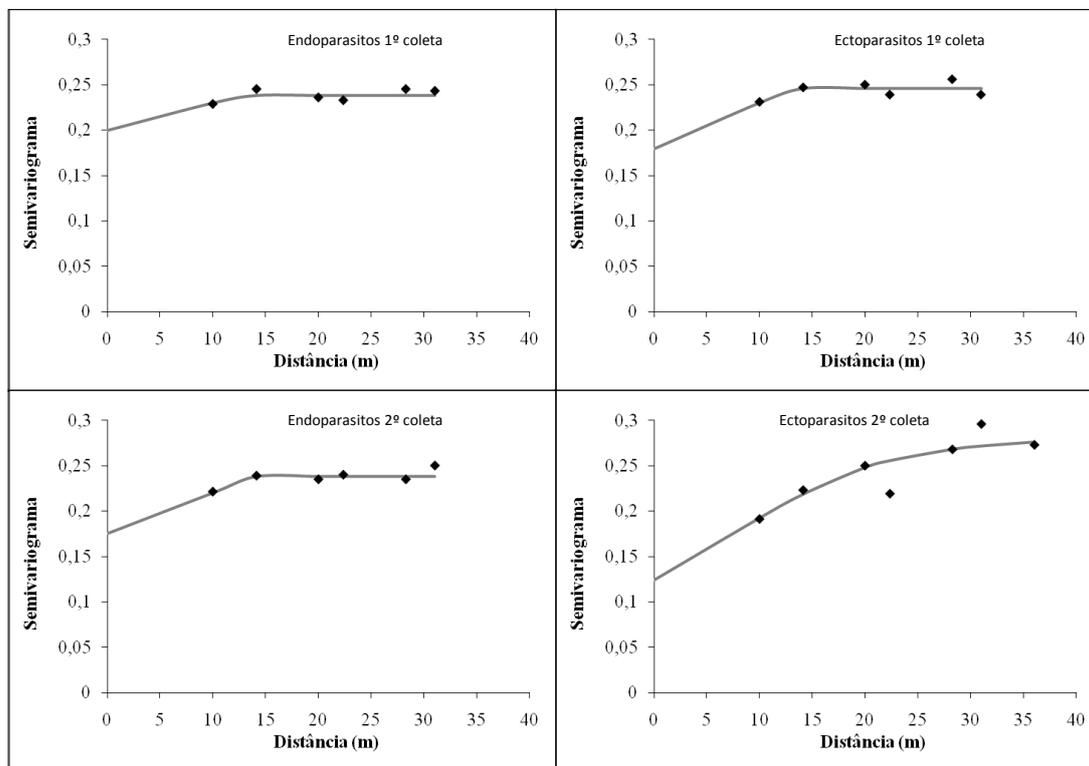
- Koenning, S. R., S. A. Walters, and K. R. Barker. 1996. Impact of soil texture on the reproductive and damage potentials of *Rotylenchulus reniformis* and *Meloidogyne incognita* on cotton. *Journal of Nematology* 28:527-536.
- Koppen, W. 1948. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Económica. 466, México.
- Mai, W. F., P. G. Mullin, H. H. Lyon, and K. Loeffle. 1996. *Plant-Parasitic nematodes: a pictorial key to genera*. Cornell University Press. 277, Ithaca, NY.
- Maranhão, S. R. V. L. 2008. *Comunidade, dinâmica populacional e variabilidade espacial de nematóides em áreas de cultivo de cana-de-açúcar sob diferentes condições edafoclimáticas*. Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.
- Pedrosa, E. M. R., M. M. Rolim, M. M., P. H. S. Albuquerque, and A. C. Cunha. 2005. Supressividade de nematóides e cana-de-açúcar por adição de vinhaça ao solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 9:197-201.
- Reichardt, K. 1985. *Processos de transferências no sistema solo-planta-atmosfera*. Fundação Cargill, 445 Campinas, SP.
- Silva, E. A., A. Garcia, J. F. G. Monico, and J. F. V. Silva. 2000. Agricultura de precisão e o potencial de tecnologias inovadoras no manejo integrado de fitonematóides. *Anais do Congresso Brasileiro de Nematologia* 22: 19-27.
- Silva, M. A., R. P. Pincelli, and L. L. Dinardo-Miranda. 2006. Efeito da aplicação de nematicidas em soqueira de cana-de-açúcar, em diferentes épocas, sobre a população de *Pratylenchus zae* e atributos biométricos e tecnológicos da cultura. *Nematologia Brasileira* 30:29-34.
- Stirling, G. R., E. J. Wilson, A. M. Stirling, C. E. Pankhurst, P. W. Moody, M. J. Beel. 2003. Organic Amendments enhance biological suppression of plant-parasitic

nematodes in sugarcane soils. Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists, 25 (CD ROOM).

Wallace, M. K. and D. M. Hawkins.1994. Applications of geostatistics in plant nematology. *Journal of Nematology* 26:626-634.

Wojciechowski, J. C., M. V. Schumacher, C. A. F. Pires, P. R. A. Madruga, R. V. Kilca, and E. J. Brun. 2009. Geoestatística aplicada ao estudo das características físico químicas do solo em áreas de floresta estacional decidual. *Ciência Florestal* 19:383-391.

**Figura 1.** Semivariogramas experimentais e modelos ajustados para as populações de endoparasitos e ectoparasitos 30 dias antes e 30 dias após a fertirrigação com vinhaça.

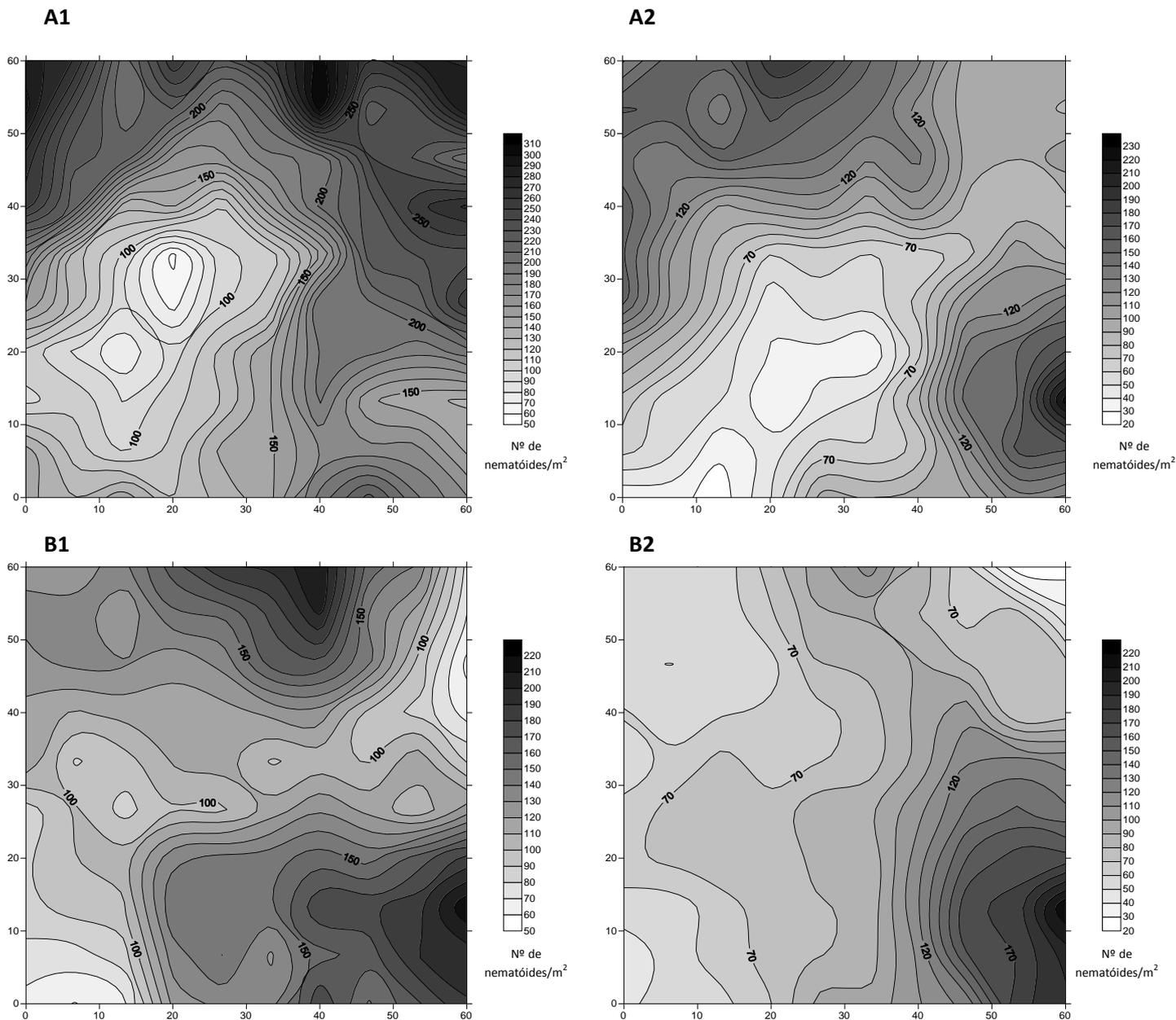


**Tabela 1.** Parâmetros de semivariograma, modelos e tipo de dependência espacial de nematóides endoparasitos e ectoparasitos em área de tabuleiro 30 dias antes e 30 e 90 dias após o corte da cana-de-açúcar e fertirrigação com vinhaça.

Período	Nematóides	Parâmetros dos semivariogramas			Modelo	GD	R <sup>2</sup>
		C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	a (m)			
30 dias antes	Endoparasitas	0,215	0,239	13,78	Esférico	0,47	0,69
	Ectoparasitas	0,200	0,050	13,77	Esférico	0,29	0,72
30 dias depois	Endoparasitas	0,199	0,039	13,59	Esférico	0,83	0,71
	Ectoparasitas	0,236	0,461	10,00	Exponencial	0,34	0,75
90 dias depois	Endoparasitas	-	-	-	-	-	-
	Ectoparasitas	-	-	-	-	-	-

C<sub>0</sub> = Efeito pepita, (C<sub>0</sub>+ C<sub>1</sub>)= patamar, a (m) = Alcance, R<sup>2</sup> =coeficiente de determinação, GD= Grau de Dependência= C<sub>0</sub>/( C<sub>0</sub>+ C<sub>1</sub>) = efeito pepita em relação ao patamar. Co / Co+C ≤ 0,25 = forte dependência espacial; 0,25 ≤ Co / Co+C ≤ 0,75 = moderada dependência espacial; 0,75 < Co / Co+C < 1,00 = fraca dependência espacial; Co / Co+C = 1,00 = variável independente espacialmente (efeito pepita puro).

**Figura 2.** Mapas de krigagem. A1- Ectoparasitos 30 dias antes da fertirrigação; A2- Ectoparasitos 30 dias após a fertirrigação; B1- Endoparasitos 30 dias antes da fertirrigação; B2- Endoparasitos 30 dias após a fertirrigação.



## *Considerações Finais*

---

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos no presente estudo pode-se concluir que:

- A matéria orgânica interferiu negativamente nas populações de nematóides de vida livre, fitoparasitos e nematóides totais do solo, mas proporcionou aumento das populações de endoparasitos encontrado nas raízes.
- Dentre os atributos físicos e químicos influenciados pela fertirrigação, a densidade do solo e  $\text{Ca}^{++}$  foram os que mais interferiram nas populações de nematóides.
- A microbiota do solo não interferiu nas populações de nematóides no solo e raiz.
- Os taxa *Pratylenchus* e Dorylaimidae foram os mais influenciados ao longo do perfil do solo após o corte da cana e fertirrigação com vinhaça.
- As camadas de 10 a 20 cm foram as mais habitadas pelas populações de nematóides.
- Os endoparasitos apresentaram dependência espacial moderada 30 dias antes e 30 dias depois do corte e fertirrigação com vinhaça. Os ectoparasitos apresentaram dependência moderada antes da fertirrigação e fraca 30 dias depois.
- A geoestatística foi eficiente para indicar a variabilidade espacial e mapeamento de áreas infestadas 30 dias antes e 30 dias após a fertirrigação com vinhaça.
- A fertirrigação com vinhaça afeta a dinâmica da nematofauna e reduz a densidade populacional de fitonematóides presentes no solo.