

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line): 1981-0997

v.7, n.1, p.150-158, jan.-mar., 2012

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

DOI:10.5039/agraria.v7i1a897

Protocolo 897 – 31/03/2010 *Aprovado em 07/09/2011

Thiciano L. Miranda¹

Elvira M. R. Pedrosa^{1,2}

Énio F. de F. Silva^{1,2}

Mário M. Rolim¹

Alterações físicas e biológicas em solo cultivado com cana-de-açúcar após colheita e aplicação de vinhaça

RESUMO

Avaliaram-se variações nas propriedades físicas e biológicas do solo resultantes das operações de colheita e aplicação de vinhaça em área cultivada com cana-de-açúcar no município de Goiana-PE. As avaliações fundamentaram-se na umidade e densidade do solo, densidade de partículas, porosidade, granulometria e caracterização da estrutura trófica da nematofauna, efetuadas antes e após o corte da cana, e antes e após a aplicação de vinhaça. Horizontalmente, as amostras foram coletadas em malha de 60x50 m, em 42 pontos e, verticalmente, em cada ponto, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm. Dentre as variáveis físicas umidade, porosidade e densidade do solo mostraram-se sensíveis às operações de colheita e aplicação de vinhaça. As operações de colheita afetaram diretamente as densidades de Mononchidae e Cephalobidae e, inversamente, *Xiphinema* e *Criconemella*. A adição de vinhaça reduziu as densidades de Dorilaymidae e *Meloidogyne* com efeito inverso sobre Rhabditidae e Cephalobidae. Os nematoides parasitos de plantas foram os mais abundantes em todas as coletas.

Palavras-chave: Aproveitamento de resíduo, estrutura trófica, nematoide, atributos físicos do solo.

Physical and biological alterations in sugarcane cultivated soil after harvest and vinasse application

Abstract

Variations on the physical and biological soil properties resulting from harvest and vinasse application were evaluated in a sugarcane cultivated area in the municipality of Goiana, Pernambuco, Brazil. Evaluations were based on soil humidity and density, porosity, granulometry, particle density and nematode community trophic structure characterization, carried out before and after both sugarcane cut and vinasse application. Horizontally, samples were collected in 42 points within a 60x50 m square. Vertically, in each point, samples were collected 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm deep. Within the physical variables soil humidity, porosity and density were influenced by harvest and vinasse application. Harvest affected Mononchidae and Cephalobidae directly, but *Xiphinema* and *Criconemella*, inversely. Vinasse decreased Dorilaymidae and *Meloidogyne* density, in contrast to the increase on Rhabditidae and Cephalobidae. Plant parasitic nematodes were the most abundant community in all sampling periods.

Key Words: Waste use, trophic structure, nematode, physical soil attributes.

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900 – Recife-PE, Brasil. Fone: (81) 3320-6212. Fax: (81) 3320-6205. E-mail:

Thiciano.Miranda@heringer.com.br;

elvira.pedrosa@dtr.ufrpe.br; effsilva@uol.com.br;

rolim@dtr.ufrpe.br

² Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) e considerado o país mais competitivo do mundo no setor sucroalcooleiro por ser detentor dos maiores níveis de produtividade e rendimento e dos menores custos de produção (Pagel, 2008). Ademais, a agroindústria sucroalcooleira exerce influências diretas nas áreas adjacentes às usinas, tanto no aspecto social, pela geração de mais de 370 mil empregos diretos e fixação do homem no campo, como no ambiental, pelas grandes extensões de áreas de monoculturas, práticas agrícolas, uso de agrotóxicos, queimadas, tráfego de máquinas e pela disposição indiscriminada da vinhaça (Ometto, 2000).

O tráfego de máquinas agrícolas é a principal causa de compactação dos solos (Seixas, 2000), que se dá de forma diferenciada, no qual a incidência de compactação no horizonte superficial do solo é determinada pela pressão de contato entre o solo e as rodas, enquanto, em subsuperfície, a carga do eixo torna-se o fator mais importante (Håkansson & Voorhees, 1998). Além disso, a compactação depende de outros fatores, destacando-se a textura do solo (Imhoff et al., 2004), o conteúdo de carbono orgânico (Stone & Ekwue, 1995), o teor de água do solo durante as operações de campo e a frequência e intensidade com que a carga é aplicada no solo pelas máquinas e implementos (Chamen et al., 2003). Dessa forma, o processo de compactação do solo envolve aspectos relacionados com fatores físicos, químicos e biológicos, promovendo aumento da densidade do solo e de processos de erosão pela menor infiltração da água no solo (Prado et al., 2002).

Principal efluente das destilarias de álcool, a vinhaça é um resíduo de consistência líquida, mas que se enquadra na definição de resíduo sólido, segundo os critérios da NBR 10.004 da ABNT (1987), pois lhe falta um tratamento convencional adequado, já que é lançada diretamente no solo como fertilizante na lavoura canavieira. Segundo Almeida (1955), a vinhaça é um resíduo rico em matéria orgânica coloidal e em elementos minerais, que contribui para elevar o pH dos solos, chegando mesmo a alcalinizá-lo, melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, e aumenta a microflora dos solos, proporcionando nitrificação mais fácil, conferindo maior índice de fertilidade.

Embora vários estudos tenham sido conduzidos para avaliar os efeitos da vinhaça nas características físicas e químicas do solo (Lyra et al., 2003; Silva et al., 2007; Brito et al., 2009; Barros et al., 2010), são poucos ou inexistentes os estudos sobre os efeitos dessa prática na estrutura e função de processos ecológicos vitais no solo. As consequências das mudanças nas comunidades bióticas do solo e funcionamento do ecossistema precisam ser identificadas e avaliadas para que se aumente a sustentabilidade, uma vez que, em sistemas agrícolas sustentados pela incorporação de resíduos, a disponibilidade de minerais é função das taxas de decomposição e mineralização, conduzidas pelos microrganismos do solo e mediadas por outros organismos presentes (Laakso et al., 2000).

As exigências de uma agricultura competitiva e a preocupação com a integridade do meio ambiente têm estimulado uma demanda crescente para a identificação de parâmetros que avaliem, precocemente e de modo eficaz, as alterações ambientais, indicando o nível de qualidade do solo e da sustentabilidade da produção agrícola. Há indicações de que parâmetros biológicos normalmente detectam alterações provocadas por diferentes manejos do solo em estágio anterior ao das mudanças nos parâmetros físicos e químicos (Ferris et al., 2001). Trabalhos que visam investigar o uso da biodiversidade em solos para o desenvolvimento de indicadores biológicos de qualidade ambiental em agroecossistemas, particularmente no Brasil, são fundamentais para identificar os efeitos dos sistemas de manejo sobre a biodiversidade nos solos, bem como definir estratégias de manejo que possam resultar em sistemas de produção mais sustentáveis (Cares & Huang, 2008).

Nesse contexto, os nematoides possuem vários atributos que os tornam úteis como indicadores ecológicos (Neher et al., 2005). Classificadas em cinco grupos funcionais, as comunidades de nematoides estão presentes em posições estratégicas na cadeia alimentar no solo: os parasitos de planta, que se nutrem de raízes ou parte aérea; os bacteriófagos e micófagos, que consomem bactéria e fungos e estão indiretamente envolvidos no processo de decomposição e mineralização do nitrogênio; predadores que se alimentam de nematoides e outros invertebrados do solo; e onívoros, que possuem mais de uma fonte de alimentação, incluindo bactérias, fungos, algas, protozoários e rotíferos (Mulder et al., 2005).

Abundantes, amplamente distribuídos e de grande diversidade (Mulder et al., 2003), os nematoides estão presentes em praticamente todos os tipos de solo, mesmo em condições inóspitas (Moorhead et al., 2002), incluindo poluição por metais pesados (Pen-Mouratov et al., 2007). Devido ao curto ciclo de vida, diferentes mecanismos reprodutivos e capacidade de sobrevivência, os nematoides vêm sendo utilizados por muitos pesquisadores como bioindicador de qualidade de solo, distúrbios ambientais e flexibilidade de ecossistemas (Ferris et al., 2001; Goulart et al., 2003; Cares & Huang, 2008; Silva et al., 2008).

O objetivo da pesquisa foi avaliar possíveis relações entre as operações de colheita, aplicação de vinhaça e decorrentes efeitos nas propriedades físicas e biológicas do solo em uma área cultivada intensamente com cana-de-açúcar na região da Mata Norte de Pernambuco, utilizando a composição trófica da nematofauna como indicador biológico.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na microrregião da Mata Setentrional do estado de Pernambuco, em solo com teores médios de 48, 21 e 931 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente, apresentando textura arenosa. O clima local, classificado de acordo com o sistema de Köppen (1948), foi 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, com temperaturas médias anuais variando em torno de 24°C, durante esse período (o menos quente do ano), com amplitude térmica anual bastante fraca (cerca de 3°C), e com isoietas que variam de 1932,3 a 975,6 mm anuais. A área tem sido manejada sob sistema de plantio convencional há mais de 20 anos, sempre com cana-de-açúcar.

As avaliações foram feitas em uma mesma área, em três períodos diferentes de cultivo da cana-de-açúcar, que se estendeu do final do ciclo da cana planta ao início da cana-soca. A primeira avaliação ocorreu aos 30 dias antes do corte da cana-de-açúcar. Posteriormente, foi realizada a segunda avaliação, 10 dias após o corte da cana-de-açúcar (30 dias antes da aplicação de vinhaça). Finalmente, a terceira, avaliada aos 50 dias após o corte da cana-de-açúcar (10 dias após aplicação da vinhaça no solo). As análises físicas fundamentaram-se na determinação da resistência do solo à penetração, umidade, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade e granulometria. A caracterização da estrutura da nematofauna fundamentou-se na abundância, determinada pelo número de nematoides presentes em 300 cm³ de solo, e dominância, expressa pelo percentual de cada taxon encontrado em relação ao total de nematoides.

Horizontalmente, as amostras foram coletadas em 42 pontos georeferenciados, com espaçamento de 10 m entre os pontos, formando malha de 60 × 50 m, constituída de seis ruas e sete pontos em cada rua. Verticalmente, em cada ponto, foi aberta uma trincheira e foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm, totalizando 630 amostras de solo.

As amostras de solo foram obtidas com auxílio de um trado de amostras indeformadas, com cilindros de aço inoxidável, com 50 mm de diâmetro, 26,5 mm de altura e 52 cm³ de volume. Cada amostra foi acondicionada em recipiente plástico para o transporte até o laboratório. Posteriormente, foram preparadas e pesadas para a obtenção do conteúdo de água (g) e depois levadas à estufa a 105 °C por 48 h para a obtenção da massa seca (g). A densidade do solo foi determinada conforme Blake & Hartge (1986). A umidade gravimétrica foi determinada em cada amostra através da relação entre a massa de água e a massa de solo seco de cada amostra.

A porosidade total do solo foi calculada considerando-se o volume de água (densidade=1 Mg m⁻³) contido na amostra saturada, enquanto as diferentes classes texturais foram determinadas após dispersão da amostra em solução de 1 N de NaOH em água e separação das diferentes classes granulométricas pelo método de pipeta (Embrapa, 1997).

Para as análises nematológicas, após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados, encaminhados ao laboratório de Fitonematologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Posteriormente, tais amostras foram homogeneizadas e processadas para a extração de nematoides, a partir de 300 cm³ de solo, utilizando-se o método da flotação centrífuga (Jenkins, 1964). As suspensões de fitonematoides obtidas foram mantidas sob refrigeração (4-6°C), realizando-se a identificação genérica e contagem dos espécimes em lâminas de Peters, sob microscópio óptico, em duas repetições, e os

resultados foram computados em número de espécimes por 300 cm³ de solo.

Os nematoides foram classificados quanto ao hábito alimentar em cinco grupos tróficos (parasitos de plantas, bacteriófagos, micófitos, predadores e onívoros), baseado na morfologia do estômago e esôfago, segundo Yeates et al. (1993). Para os nematoides parasitos de plantas, foram efetuadas identificações ao nível de gênero segundo a chave de Mai et al. (1996). A estrutura da nematofauna foi descrita pelos grupos tróficos e pelas razões micófitos/bacteriófagos (M/B) e onívoros + predadores / bacteriófagos + micófitos + parasitos de plantas (O+P)/(B+M+PP), segundo Gomes et al. (2003).

Para a análise dos dados aplicou-se a análise estatística descritiva (média, desvio-padrão, erro-padrão da média, mínimo, máximo e coeficiente de variação) e análise multivariada de medidas repetidas, utilizando-se o teste Tukey a 5% de probabilidade para a comparação das médias. Para avaliar o grau de correlação linear entre as variáveis físicas do solo e os diferentes taxa encontrados na malha, foi determinado o grau de correlação linear simples entre os pares de dados obtidos em cada época de amostragem, utilizando-se o coeficiente de correlação de Pearson a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados relativos à nematofauna associada à rizosfera da cana-de-açúcar nas três épocas de coleta encontram-se descritos na Tabela 1. O total de nematoides presentes em 300 cm³ de solo em cada época de avaliação variou de 44.578 a 59.397, havendo maior abundância de nematoides parasitas de plantas nas três épocas de coleta. Foram observados 52,82% de fitonematoides na primeira coleta, 62,38% na segunda e 57,35% na terceira avaliação.

Na primeira coleta houve maior dominância de Onívoros, com 31,54% da população trófica. Na segunda e terceira coletas, a maior dominância foi do nematoide parasito de planta *Criconemela*, com 29,63 e 34,27% respectivamente, demonstrando que perturbações como o tráfego de máquinas e a aplicação de vinhaça afetaram a microbiota do solo (Tabela 1).

Após as operações de colheita, houve diminuição significativa nas densidades populacionais de Mononchidae e Cephalobidae, e aumento significativo dos parasitos de planta *Xiphinema* e *Criconemella* (Tabela 2). Paralelamente, a umidade e densidade do solo diminuíram significativamente, em contraste com o aumento da porosidade. Após a aplicação da vinhaça, houve aumento significativo da densidade populacional de Rhabditidae e Cephalobidae, e redução de Dorilaymidae. Resultados obtidos por Bongers & Bongers (1998) e Georgieva et al. (2002) indicam que os nematoides onívoros e predadores (subordens Monochina e Dorylaimina) estão entre os grupos tróficos mais sensíveis a diferentes distúrbios nos ecossistemas.

A exceção de *Meloidogyne*, os parasitos de planta não se mostraram sensíveis à aplicação de vinhaça, possivelmente devido à baixa densidade populacional em que se encontravam

Tabela 1. Abundância, média e dominância da nematofauna de uma área de tabuleiro cultivada com cana-de-açúcar irrigada com vinhaça em três períodos do cultivo da cana-de-açúcar: o primeiro, 30 dias antes do corte da cana; o segundo, 10 dias após o corte da cana (30 dias antes da aplicação de vinhaça); e o terceiro, 50 dias após o corte da cana (10 dias após aplicação da vinhaça no solo)

Table 1. Abundance, means and dominance of the nematode community from a coastal table area growing sugarcane, irrigated with vinasse in three periods: the first one, 30 days before the sugarcane harvest; the second one, 10 days after the sugarcane harvest (30 days before the vinasse application); and, the third one, 50 days after the sugarcane harvest (10 days after the vinasse application on soil)

Grupo Trófico/Táxon	Antes do corte da cana			Após o corte da cana			Após a aplicação da vinhaça		
	A ^a	Média ± DP ^b	D ^c (%)	A ^a	Média ± DP ^b	D ^c (%)	A ^a	Média ± DP ^b	D ^c (%)
Onívoros	14063	33,64±72,11	31,54	13542	32,23±60,75	22,80	7814	32,31±50,42	13,72
Predadores	360	1,72±6,88	0,80	112	0,53±5,49	0,19	0	0	0
Bacteriófagos	6148	29,41±50,79	13,79	8101	38,57±110,72	13,63	16092	76,62±125,97	28,26
Micófitos	454	2,17±6,63	1,02	574	2,73±16,76	0,96	386	1,83±8,54	0,68
Fitoparasitos									
<i>Meloidogyne</i>	4795	22,94±50,60	10,75	6404	30,49±76,97	10,78	2502	11,91±29,89	4,39
<i>Rotylenchulus</i>	19	0,09±1,31	0,04	253	1,20±8,89	0,42	204	0,97±11,43	0,36
<i>Pratylenchus</i>	3634	17,38±33,68	8,15	5745	27,35±62,81	9,67	8327	39,65±71,66	14,62
<i>Helicotylenchus</i>	3575	17,09±84,98	8,01	3928	18,70±62,41	6,61	27,32	13,00±37,26	0,05
<i>Trichodorus</i>	1396	6,67±13,90	3,13	925	4,40±17,39	1,56	529	2,51±11,60	0,93
<i>Paratrichodorus</i>	39	0,18±1,90	0,09	225	1,07±6,98	0,37	164	0,78±5,65	0,29
<i>Xiphinema</i>	797	3,81±13,41	1,79	1984	9,44±34,76	3,34	1387	18,86±1387	2,44
<i>Criconemela</i>	9298	44,48±66,47	20,86	17604	83,82±130,20	29,63	19519	138,13±19519	34,27
Nematoides Totais	44578			59397			56951,3		
M/B ^d		0,07			0,07			0,02	
(O+P)/(B+M+PP)		0,20			0,30			0,16	

A^a (Abundância) = somatório do número de nematoides nas 210 amostras de cada época por taxa por 300 cm³ de solo, Média ± DP^b = Número médio e desvio padrão de nematoides por 300 cm³ de solo em cada época de coleta, D^c (%) = Dominância de cada grupo trófico e taxa expresso em porcentagem, M/B^d = razão média entre micófito e bacteriófito, (O+P)/(B+M+PP) = razão média entre onívoros + predadores e bacteriófitos + micófitos + parasitos de plantas

no solo durante a aplicação do resíduo (Tabela 2). No entanto, Pen-Mouratov et al. (2007) relataram que os parasitos de planta seguidos pelos micófitos foram os grupos tróficos dominantes em ambientes poluídos e que, à medida que aumentava a distância desses pontos de poluição, a dominância desses nematoides era substituída pelos bacteriófitos, onívoros e predadores.

A aplicação de vinhaça promoveu aumento significativo na umidade e porosidade do solo, com efeito inverso na densidade do solo (Tabela 2). Vários atributos edáficos, a exemplo da textura, umidade e densidade do solo, afetam a densidade populacional e dinâmica e a distribuição de nematoides (Monfort et al., 2007). A textura pode influenciar a densidade e distribuição horizontal e vertical do nematoide, sendo utilizada na estimativa da densidade populacional e da distribuição de nematoides parasitos de planta e, conseqüentemente, na estimativa do potencial de dano econômico (Wyse-Pester, 2002). Em clima tropical com relativamente baixa flutuação sazonal na temperatura, a distribuição de chuvas influencia marcadamente a densidade populacional dos nematoides, principalmente nematoides predadores e onívoros por serem componentes dos níveis tróficos superiores da alimentação no solo (Sánchez-Moreno & Ferris, 2007). O aumento na densidade do solo limita a mobilidade e a atividade dos nematoides, bem como a sobrevivência do parasito, devido às limitações de oxigênio (Freckman & Caswell, 1985). Por outro lado, a resposta das comunidades de nematoides está intrinsecamente relacionada à textura e outras variáveis físicas do solo (Rodrigues et al., 2011).

De maneira geral, muitas espécies de nematoides mostram preferência por tipos específicos de solo, como, por exemplo, *Meloidogyne* spp. apresenta maior reprodução e maior severidade de danos em solos arenosos (Maranhão, 2008). A textura do solo também pode afetar a extração de alguns nematoides do solo e as estimativas populacionais (Ferris et al., 2001).

Quanto às correlações significativas em cada época de estudo, entre os parasitos de planta, verificou-se que *Meloidogyne* correlacionou-se positivamente com os bacteriófitos e onívoros nas coletas um e dois e com os parasitos de plantas *Pratylenchus* e *Criconemella* nas três coletas, *Xiphinema* na primeira e segunda, *Helicotylenchus* na segunda e terceira e *Trichodorus* na primeira (Tabela 3).

Antes do corte da cana, destacaram-se as correlações existentes entre bacteriófitos e os nematoides parasitos de plantas, com exceção de *Rotylenchulus* e *Paratrichodorus*, tendo ocorrido o mesmo com os onívoros (Tabela 3), o que pode indicar que a ação dos parasitos de plantas favorece a multiplicação de bactérias e, conseqüentemente, os bacteriófitos. Após a colheita, *Criconemella* apresentou maior número de correlações com os demais taxa, correlacionando-se com onívoros, predadores, *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* e *Xiphinema*. Após a aplicação de vinhaça, o número de correlações diminuiu. No entanto, *Pratylenchus* apresentou correlações positivas com onívoros, *Meloidogyne*, *Helicotylenchus*, *Xiphinema*, e *Criconemella*.

Tabela 2. Média e coeficiente de variação de variáveis físicas e nematológicas em três períodos do cultivo da cana-de-açúcar: o primeiro, 30 dias antes do corte da cana; o segundo, 10 dias após o corte da cana (30 dias antes da aplicação de vinhaça); e o terceiro, 50 dias após o corte da cana (10 dias após aplicação da vinhaça no solo)

Table 2. Means and variation coefficient of the physical and nematological variables in three periods of sugarcane cultivation: the first one, 30 days before the sugarcane harvest; the second one, 10 days after the sugarcane harvest (30 days before the vinasse application); and, the third one, 50 days after the sugarcane harvest (10 days after the vinasse application on soil)

Variável	Antes do corte da cana	Após o corte da cana	Após a aplicação da vinhaça
	Média	Média	Média
Dorilaymidae	48,26 a	53,35 a	35,37 b
Mononchidae	1,80 a	0,53 b	0 b
Rhabditidae	29,27 b	38,57 b	76,63 a
Cephalobidae	18,70 b	11,12 c	29,25 a
Aphelenchidae	2,16 a	2,73 a	1,83 a
Meloidogyne	22,83 ab	30,49 a	11,91 b
Rotylenchulus	0,09 a	1,20 a	0,97 a
Pratylenchus	17,30 b	27,35 ab	39,65 a
Helicotylenchus	17,01 a	18,70 a	13,01 a
Trichodorus	6,65 a	4,40 ab	2,52 b
Paratrichodorus	0,18 a	1,07 a	0,78 a
Xiphinema	3,60 b	9,44 a	6,60 ab
Criconebella	44,04 b	83,83 a	92,95 a
Areia	93,09 a	93,09 a	93,09 a
Silte	2,11 a	2,11 a	2,11 a
Argila	4,79 a	4,79 a	4,79 a
Dens. Partículas	2,66 a	2,66 a	2,66 a
Dens. Solo	1,60 a	1,53 b	1,41 c
Porosidade	0,40 c	0,42 b	0,47 a
Umidade	0,07 b	0,04 c	0,12 a

Médias com a mesma letra na mesma linha não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Em geral, os micófagos apresentaram baixo grau de correlação, ao contrário dos onívoros, que apresentaram maior dominância, principalmente antes do corte da cana. A relação (onívoros + predadores)/(bacteriófagos + micófagos + parasitos de plantas) apresentou baixos valores, característicos de cultivo anual.

As correlações positivas significativas mais altas observadas antes do corte da cana-de-açúcar ocorreram entre espécimes do gênero *Meloidogyne* e *Criconebella* ($r=0,40$), bacteriófagos e onívoros ($r=0,36$). Após a colheita, as principais correlações ocorreram entre bacteriófagos e *Pratylenchus* ($r=0,53$), onívoros e *Criconebella* ($r=0,45$). Após a aplicação de vinhaça, destaca-se a correlação entre *Pratylenchus* e *Criconebella* ($r=0,36$) (Tabela 3).

Em relação às características físicas do solo, antes do corte da cana-de-açúcar, os micófagos correlacionaram-se positivamente com areia, mas negativamente com silte. Isso porque os micófagos se desenvolvem melhor nos solos arenosos que nos siltosos. Já os onívoros mostraram correlação negativa com areia e positiva com argila. Entre os parasitos de plantas, *Rotylenchulus* correlacionou-se negativamente com densidade de partículas e porosidade (Tabela 4).

Os dados obtidos mostraram que após a colheita da cana-de-açúcar, os bacteriófagos e *Pratylenchus* correlacionaram-se negativamente com areia e positivamente com silte e umidade, mostrando que têm tanto afinidade por umidade como por solos que melhor a retêm. Dos fitonematoides, *Criconebella* correlacionou-se negativamente com areia, densidade do solo e de partículas, e positivamente com silte (Tabela 4).

Após a aplicação de vinhaça, os bacteriófagos correlacionaram-se negativamente com areia e positivamente com silte e argila. Os micófagos correlacionaram-se positivamente com densidade do solo e negativamente com porosidade. Entre os parasitos de planta, *Paratrichodorus* correlacionou-se negativamente com densidade do solo e

Tabela 3. Coeficientes de correlação significativa entre as distribuições dos taxa que compõem a nematofauna associada à rizosfera em área de tabuleiro, em três períodos do cultivo da cana-de-açúcar: o primeiro, 30 dias antes do corte da cana; o segundo, 10 dias após o corte da cana (30 dias antes da aplicação de vinhaça); e o terceiro, 50 dias após o corte da cana (10 dias após aplicação da vinhaça no solo)

Table 3. Significant correlation coefficients between taxa from the nematode community in sugarcane rhizosphere in a coastal area in three cultivation periods: the first one, 30 days before the sugarcane harvest; the second one, 10 days after the sugarcane harvest (30 days before the vinasse application); and, the third one, 50 days after the sugarcane harvest (10 days after the vinasse application on soil)

	Bact	Mico	Oniv	Pred	Meloi	Roty	Praty	Heli	Tricho	Paratric	Xiphi
Antes do corte da cana											
Onívoros	0,36**										
Meloidogyne	0,20**										
Pratylenchus	0,24**		0,42**		0,33**						
Helicotylenchus	0,17**		0,24**				0,29**				
Trichodorus	0,15*		0,35**		0,18**		0,24**	0,36**			
Xiphinema	0,15*		0,23**		0,16*		0,17**				
Criconemella	0,18**		0,26**		0,40**		0,34**	0,22**	0,20**		
Após o corte da cana											
Micófagos			0,17**								
Meloidogyne	0,26**		0,19**								
Pratylenchus	0,53**		0,26**		0,14*						
Helicotylenchus					0,17*		0,20**				
Trichodorus				0,17*							
Paratrichodurus	0,25**					0,25**					
Xiphinema			0,13*		0,25**				0,37**		
Criconemella			0,45**	0,18**	0,23**		0,27**	0,15*			0,20**
Após a aplicação da vinhaça											
Onívoros	0,23**										
Pratylenchus			0,30**		0,26**						
Helicotylenchus			0,29**		0,15*		0,23**				
Xiphinema							0,26**	0,31**			
Criconemella	0,20**				0,24**		0,36**				0,22**

*significativo a 5% e **significativo a 1% de probabilidade pela análise de correlação de Pearson.

Bact= Bacteriófagos; Mico= Micófagos; Oniv= Onívoros; Pred= Predadores; Meloi= Meloidogyne; Roty= Rotylenchus; Praty= Pratylenchus; Heli= Helicotylenchus; Tricho= Trichodorus; Paratric= Paratrichodorus; Xiphi= Xiphinema.

positivamente com umidade; *Xiphinema* correlacionou-se positivamente com densidade do solo e negativamente com porosidade e *Criconemella*, positivamente com areia e negativamente com silte.

Os resultados obtidos no presente estudo concordam com os encontrados por Aon et al. (2001), que relataram coeficientes de variação normalmente em torno de 50% para

fosfatases ácida e alcalina, desidrogenase e b-glucosidase (três vezes durante a amostragem em época de cultivo de soja em uma bacia hidrográfica), e com aqueles relatados por Deboz et al. (1999), que encontraram mais de 50% de variação temporal na biomassa de C microbiana e b-glucosidase, cellobiohidrolase e atividades endocelulase baseadas em dezenove amostragens ao longo de dois anos na Dinamarca.

Tabela 4. Coeficientes de correlação significativa entre as distribuições dos taxa da nematofauna e características físicas do solo em área de tabuleiro, em três períodos do cultivo da cana-de-açúcar: o primeiro, 30 dias antes do corte da cana; o segundo, 10 dias após o corte da cana (30 dias antes da aplicação de vinhaça); e o terceiro, 50 dias após o corte da cana (10 dias após aplicação da vinhaça no solo)

Table 4. Significant correlation coefficients between taxa from nematode community in sugarcane rhizosphere and soil physic characteristics in costal area for three cultivation periods: the first one, 30 days before the sugarcane harvest; the second one, 10 days after the sugarcane harvest (30 days before the vinasse application); and, the third one, 50 days after the sugarcane harvest (10 days after the vinasse application on soil)

Bact	Mico	Oniv	Pred	Meloi	Roty	Praty	Heli	Tricho	Paratric	Xiphi	Crico
Antes do corte da cana											
Areia		0,13*	-0,17*								
Silte		-0,17**									
Argila			0,20**								
DPartic						-0,13*					
Porosidade						-0,17*					
Øm							0,19**		0,18**		
Após o corte da cana											
Areia	-0,24**					-0,28**			-0,17**		-0,14*
Silte	0,30**					0,33**			0,15*		0,16*
DPartic		-0,13*						-0,15*			-0,15*
Porosidade											-0,14*
Øm	0,30**						0,31**				-0,20**
Após a aplicação da vinhaça											
Areia	-0,25**										0,20**
Silte	0,26**									-0,14*	-0,21**
Argila	0,14*		-0,16*								
DSolo		0,13*								-0,15*	0,13*
DPartic											
Porosidade		-0,15*									-0,15*
Øm			0,14*							0,20**	

*significativo a 5% e **significativo a 1% de probabilidade pela análise de correlação de Pearson.

Mico = Micófito, Oniv = Onívoro, Pred = Predadores, Meloi = *Meloidogyne* sp., Roty = *Rotylenchus* sp., Praty = *Pratylenchus* sp., Heli = *Helicotylenchus* sp., Tricho = *Trichoderus* sp., Paratric = *Paratrichoderus* sp., Xiphi = *Xiphinema* sp., Crico = *Criconebella* sp., DSolo = Densidade do solo, DPartic = Densidade de partícula, Em = Umidade do solo (g/g).

CONCLUSÕES

As operações de colheita diminuíram a umidade e densidade do solo, aumentando as densidades de Mononchidae e Cephalobidae e reduzindo as densidades de *Xiphinema* e *Criconebella*.

A adição de vinhaça aumentou a umidade e porosidade do solo, reduzindo as densidades de Dorilaymidae e *Meloidogyne* com efeito inverso sobre Rhabditidae e Cephalobidae.

A textura foi a variável física do solo que mais afetou os nematoides, mas as repostas da nematofauna variaram com o táxon e época de amostragem.

Dentre os taxa encontrados, *Criconebella* mostrou maior potencial como bioindicador, apresentando maior frequência de correlação com os atributos físicos do solo e com os demais taxa.

A baixa riqueza de espécies e a abundância dos nematoides parasitos de plantas em todas as coletas refletem o baixo equilíbrio das comunidades, característicos de cultivos intensivos.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Conselho de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

LITERATURA CITADA

- Almeida, J.R. O problema da vinhaça. Brasil Açucareiro, v.46, n.2, p.72-77, 1955.
- Aon, M.A.; Cabello, M.N.; Sarena, D.E.I. Spatio-temporal patterns of soil microbial and enzymatic activities in an agricultural soil. Applied Soil Ecology, v.18, n.3, p.239-254. 2001. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139301001536>>. doi:10.1016/S0929-1393(01)00153-6. 15 Dez. 2009.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Resíduos sólidos: classificação; NBR 10.004. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. 63p.
- Barros, R.P.; Almeida, P.R.V.; Silva, T.L.; Souza, R.M.L.B.;

- Viégas, R.A.; Melo A.S. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.40 n.3, p. 341-346, 2010. <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/6422/7896>>. 15 Out. 2010.
- Blake, G.R.; Hartge, K. H. Bulk density. In: Klute, A. (Ed). *Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.
- Bongers, T.; Bongers, M. Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology*, v.10, n.3, p.239-251, 1998. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139398001231>>. doi:10.1016/S0929-1393(98)00123-1. 08 Ago. 2011.
- 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*, v.4 n.4, p.456-462, 2009. <<http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&pag =article&op=view&path%5B%5D=400&path%5B%5D=579>> doi:10.5039/agraria.v4i4a14. 15 Dez. 2009.
- 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.
- Chamen, T.; Alakukku, L.; Pires, S.; Sommer, C.; Spoor, G.; Tijink, F.; Weiskopf, P. Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review Part 2. Equipment and field practices. *Soil & Tillage Research*, v.73, n.1-2, p.161-174, 2003. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198703001089>>. doi:10.1016/S0167-1987(03)00108-9. 15 Dez. 2009.
- Debosz, K.; Rasmussen, P.H.; Pedersen, A. Temporal variations of microbial biomass and cellulolytic enzyme activity in arable soils: effects of organic matter input. *Applied Soil Ecology*, v.13, n.3, p. 209-218, 1999. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139399000347>> doi:10.1016/S0929-1393(99)00034-7. 15 Dez. 2009.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. *Manual de Métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- Ferris, H.; Bogers, T.; Goede, R.G.M. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology*, v.18, n.1, p.13-29, 2001. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139301001524>>. doi:10.1016/S0929-1393(01)00152-4. 15 Dez. 2009.
- Freckman, D.W.; Caswell, E.P. The ecology of nematodes in agroecosystems. *Annual Review of Phytopathology*, v.23, p.275-296, 1985. <<http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.py.23.090185.001423>>. doi:10.1146/annurev.py.23.090185.001423. 12 Dez. 2009.
- Georgieva, S.S.; McGrath, S.P.; Hooper, D.J.; Chambers, B.S. Nematode community under stress: the long-term effects of heavy metals in soil treated with sewage sludge. *Applied Soil Ecology*, v.20, n.1, p.27-42, 2002. <<http://www.science>
- [direct.com/science/article/pii/S0929139302000057](http://www.science)> doi:10.1016/S0929-1393(02)00005-7. 10 Nov. 2009.
- Gomes, G.S.; Huang, S.P.; Cares, J.E. Nematode community, trophic structure and population fluctuation in soybean fields. *Fitopatologia brasileira*, v.28, n.3, p. 258-266, 2003. <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-41582003000300006&script=sci_arttext>. doi:10.1590/S0100-41582003000300006. 10 Nov. 2009.
- 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 taxionômica. *Nematologia Brasileira*, v.27, n.2, p.129-137, 2003.
- Hakansson, I.; Voorhees, W.B. Soil compaction. In: Lal, R.; Blum, W.H.; Valentine, C.; Steward, B.A. (Eds.). *Methods for assessment of soil degradation: advances in soil science*. Boca Raton: CRS Press, 1998. p.167-79.
- Imhoff, S.; da Silva, A.P.; Fallow, D. Susceptibility to compaction, load support capacity, and soil compressibility of Hapludox. *Soil Science Society of America Journal*, v.68, n.1, p.17-24, 2004.
- Jenkins, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, v.48, n. , p.692, 1964.
- Koppen, W. *Climatologia*. México: Fundo de cultura Venezuelana, 1948. 278p.
- Laakso, J.; Setela, H.; Palorjavi, A. Influence of decomposer food web structure and nitrogen availability on plant growth. *Plant Soil*, v.225, n.1-2, p.153-165, 2000. <<http://www.springerlink.com/content/g717256614548024/fulltext.pdf>> doi:10.1023/A:1026534812422. 15 Set. 2009.
- Lyra, M.R.C.C.; Rolim, M.M.; Silva, J.A.A. Toposequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7 n.3, p.525-532, 2003. <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662003000300020&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>. doi:10.1590/S1415-43662003000300020. 11 Out. 2009.
- Mai, W.F.; Mullin, P.G.; Lyon, H.H.; Loeffle, K. *Plant-parasitic nematodes: a pictorial key to genera*. 5.ed. Ithaca: Cornell University Press, 1996. 277p.
- Maranhão, L.M.P. Comunidade, dinâmica populacional e variabilidade espacial de nematóides em áreas de cultivo da cana-de-açúcar sob diferentes condições edafoclimáticas no nordeste. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2008. 129 p. Tese Doutorado.
- Monfort, W.S.; Kirkpatrick, C.S.; Rothrock, C.S.; Mauromoustakos, A. Potential for site-specific management of *Meloidogyne incognita* in cotton using soil textural zones. *Journal of Nematology*, v.39, n.1, p.1-8, 2007. <<http://journals.fcla.edu/jon/article/view/67696/65364>>. 11 Out. 2009.
- Moorhead, D.L.; Wall, D.H.; Virginia, R.A.; Parson, A.N. Distribution and life cycle of *Scottinema lindsayae* (Nematoda) in Antarctic soils: a modeling analysis of temperature responses. *Polar Biology*, v.25, n.2, p.118-125, 2002. <<http://www.springerlink.com/content/j7vw5u2g6fd3>

- j2fj/fulltext.pdf>. doi:10.1007/s003000100319. 15 Set. 2009.
- Mulder, C.; De Zwart, D.; Van Wijnen, H.J.; Schouten, A.J.; Breure, A.M. Observational and simulated evidence of ecological shifts within the soil nematode community of agroecosystems under conventional and organic farming. *Functional Ecology*, v.17, n.4, p.516-525, 2003. <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-2435.2003.00755.x/pdf>>. doi:10.1046/j.1365-2435.2003.00755.x. 15 Set. 2009.
- Mulder, C.; Schouten, A.J.; Hund-Rinke, K.; Breure, A.M. The use of nematodes in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.62, n.2, p.278-289, 2005. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651305000771>>. doi:10.1016/j.ecoenv.2005.03.028. 14 Out. 2009.
- Neher, D.A.; Wu, J.H.; Barbercheck, M.E.; Anas, O. Ecosystem type affects interpretation of soil nematode community measures. *Applied Soil Ecology*, v.30, n.1, p.47-64, 2005. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092913930500034X>>. doi:10.1016/j.apsoil.2005.01.002. 14 Out. 2009.
- Ometto, A.R. Discussão sobre os fatores ambientais impactados pelo setor sucroalcooleiro e a certificação socioambiental. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2000. 225p. Dissertação Mestrado.
- Pagel, G. Setor Sucroalcooleiro: mudança de cenário e das perspectivas. Sociedade Rural Brasileira. <<http://www.srb.org.br>> 07 Out. 2008.
- Pen-Mouratov, S.; Shukurov, N.; Steinberger, Y. Influence of industrial heavy metal pollution on soil free-living nematode population. *Environmental Pollution*, v.152, n.1, p.172-183, 2007. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749107002199>>. doi:10.1016/j.envpol.2007.05.007. 13 Out. 2009.
- Prado, R. de M.; Roque, C.G.; Souza, Z.M. de. Sistemas de preparo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.12, p.1795-1801, 2002. <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0100-204X2002001200017&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>>. doi:10.1590/S0100-204X2002001200017. 19 Set. 2009.
- Rodrigues, C.V.M.A.; Pedrosa, E.M.R.; Oliveira, A.K.S.; Leitão, D.A.H.S.; Oliveira, N.J.V. Vertical distribution of nematode communities associated with sugarcane. *Nematropica*, v.41, n.1, p.1-7, 2011. <<http://journals.fcla.edu/nematropica/article/view/76293/73954>>. 12 Ago. 2011.
- Sánchez-Moreno, S.; Ferris, H. Suppressive service of the soil foodweb: effects of environmental management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.119, n.1-2, p.75-87, 2007. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880906002659>>. doi: 10.1016/j.agee.2006.06.012. 12 Ago. 2009.
- Seixas, F. Compactação do solo devido à colheita de madeira. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2000. 75p. Tese Livre-Docência.
- 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*, v.11, n.1, p.108-114, 2007. <<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S1415-43662007000100014&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>>. doi:10.1590/S1415-43662007000100014. 12 Ago. 2009.
- Silva, R.A.; Oliveira, 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*, v.33, n.3, p.204-208, 2008. <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1982-56762008000300005&script=sci_arttext>. doi: 10.1590/S1982-56762008000300005. 12 Ago. 2009.
- Stone, R.J.; Ekwue, E.I. Compressibility of some Trinidadian soils as affected by the incorporation of peat. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.60, n.1, p.15-24, 1995. <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002186348571092X>>. doi:10.1006/jaer.1995.1092. 12 Ago. 2009.
- Wyse-Pester, D.Y.; Wiles, L.J.; Westra, P. The potential for mapping nematode distribution for site-specific management. *Journal of Nematology*, v.34, n.2, p.80-87, 2002. <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2620555/pdf/80.pdf>>. 28 Jul. 2009.
- Yeates, G.W.; Bongers, T.; Goede, R.G.M.; Freckman, D.W.; Georgieva, S.S. Feeding habits in soil nematode families and genera – an outline for soil ecologist. *Journal of Nematology*, v.25, n.3, p.315-331, 1993. <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2619405/pdf/315.pdf>>. 28 Jul. 2009.