

**CICERO DA SILVA COSTA**

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE VINHAÇA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS,  
QUÍMICA E POPULAÇÃO DE NEMATÓIDES DO SOLO COBERTO COM  
PALHIÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR, SOB MANEJO MECANIZADO**

**RECIFE – PE  
FEVEREIRO, 2010**

**CICERO DA SILVA COSTA**

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE VINHAÇA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS,  
QUÍMICA E POPULAÇÃO DE NEMATÓIDES DO SOLO COBERTO COM  
PALHIÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR, SOB MANEJO MECANIZADO**

Tese apresentada ao programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola na Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

**COMITÊ DE ORIENTAÇÃO:**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Elvira Maria Régis Pedrosa – Orientadora

Prof. Dr. Mário Monteiro Rolim – Co-orientador

Prof. Dr. Enio Farias França e Silva – Co-orientador

**RECIFE – PE  
FEVEREIRO, 2012**

**Efeitos da aplicação de vinhaça nas propriedades físicas, química e população de  
nematóides do solo coberto com palhço de cana-de-açúcar, sob  
manejo mecanizado**

**Cicero da Silva Costa**

**Tese defendida e aprovada pela Banca examinadora em 12/03/2012**

**ORIENTADORA:**

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Elvira Maria Régis Pedrosa (UFRPE)

**EXAMINADORES:**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lílian Margarete Paes Guimarães (UFPB)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Caroline Miranda Biondi (UFRPE)

---

Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza (UFRPE)

---

Prof. Dr. Glécio Machado Siqueira (UFRPE)

**RECIFE – PE  
FEVEREIRO, 2012**

## **DEDICO**

**À quem realmente é merecedor  
de toda graça alcançada, meu maravilhoso DEUS.**

## **OFEREÇO**

**Aos meus maravilhosos pais,  
Manoel Gomes da Costa e Maria José da Silva Costa, e  
Aos meus Filhos, Jonas de Paiva Costa e Júlia de Paiva Costa.**

## AGRDECIMENTOS

A Deus, pela permissão divina de fazer parte da sua obra;

Aos meus Maravilhosos pais, Manoel Gomes da Costa e Maria José da Silva Costa, por toda educação, amor e apoio durante toda minha vida;

Aos meus filhos, por terem me dado à possibilidade de sentir, uma das mais, pura forma do verdadeiro amor;

Ao meu irmão Sivaldo da Silva Costa, pela pessoa que sempre foi durante todo esse tempo;

A todos meus familiares pela confiança de sempre;

A minha namorada Danielle Cristina de Almeida, pela demonstração de carinho, compreensão e pelos grandes momentos vividos durante essa batalha;

A Ana Maria de Paiva, pela convivência, solidariedade e paciência durante boa parte de minha vida;

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela confiança, apoio e formação acadêmica.

A minha orientadora Elvira Maria Régis Pedrosa, pela pessoa, profissional e amiga que sempre demonstrou ser durante todo curso. Procurando apoiar e incentivar, visando o meu melhor aprimoramento científico;

Ao meu maior colega de turma no doutorado, Júlio José do Nascimento, pelo companheirismo durante esse árduo, mas prazeroso processo de formação;

Aos meus amigos do laboratório de Fitonematologia, Aluizio Cordeiro, Arinaldo Silva, Anailda Souza, Ana Karina, Carmem Mareco, Carmem Virgínia, Daniela Salgues, Diego Huggins, Douglas Castro, Elenilson Silva, Gabriela Cavalcante, Hugo Bentzen, Jeane Medeiros, Jefferson Peixoto, Lílian Guimarães, Marcela Andrade, Mônica Freitas, Natália Monique, Nelson Julierme, Patrícia Ângelo, Sandra Maranhão e Thais Fernanda, pela solidariedade e pelos bons momentos durante nossa convivência;

Aos professores do programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pela contribuição intelectual e pessoal.

Ao Funcionário do DTR “Lulinha” pela disposição e ajuda nos momentos em que precisei;

Ao CNPq pela Concessão da bolsa, durante a vigência do curso;

A todos que de certa forma contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse sonho.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	7
CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO GERAL .....	9
1. A cana-de-açúcar.....	10
1.1. Palhiço da cana-de-açúcar .....	11
2. A vinhaça.....	12
2.1. Efeito da aplicação da vinhaça na cultura da cana-de-açúcar .....	13
2.2. Efeito da aplicação da vinhaça nos microrganismos do solo .....	14
3. Nematóides.....	15
3.1. Parasitos de planta .....	16
3.1.1. <i>Meloidogyne</i> spp.....	16
3.1.2. <i>Pratylenchus</i> spp.....	17
3.2. Nematóides como bioindicadores da qualidade do solo.....	18
4. Variabilidade espacial de atributos do solo.....	19
5. Referências .....	20
CAPÍTULO 231	
Efeitos da aplicação de vinhaça sobre as propriedades químicas do solo e densidade de nematóides em área cultivada com cana-de-açúcar sob manejo mecanizado .....	31
Resumo .....	32
Abstract.....	32
INTRODUÇÃO.....	33
MATERIAL E MÉTODOS.....	34
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
CONCLUSÕES .....	52
LITERATURA CITADA .....	52
CAPÍTULO 3	59
Efeitos da aplicação de vinhaça nas propriedades físicas e população de nematóides do solo coberto com palhiço de cana-de-açúcar .....	59
Resumo .....	60
Abstract.....	60
INTRODUÇÃO.....	61
MATERIAL E MÉTODOS.....	63
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	66
CONCLUSÕES .....	87
LITERATURA CITADA .....	87

## RESUMO

O aumento da demanda e da produção de etanol intensifica as preocupações com o meio-ambiente, em especial pelos problemas causados pelos resíduos de produção. Apesar dos efeitos adversos ao meio-ambiente, áreas submetidas à aplicação de vinhaça têm sido associadas às condições físicas favoráveis ao desenvolvimento radicular, aeração, infiltração e movimento de água no perfil do solo. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de vinhaça nas propriedades químicas e físicas de solo coberto com palhicho de cana-de-açúcar e na densidade de nematoides presentes, como também examinar a dependência espacial dessas variáveis em duas áreas sob cultivo mecanizado de cana-de-açúcar, no Estado da Paraíba. As amostras foram coletadas em malha de 10×10 m, com 36 pontos por área, antes e 40 dias após a aplicação de vinhaça. Os dados foram submetidos à análise multivariada para medidas repetidas no tempo, análise de correlação e geoestatística. A adição de vinhaça diminuiu a densidade de nematoides. Os nematoides se apresentaram sensíveis a atributos químicos do solo, indicando que, mesmo de forma indireta, se apresentam como bons indicadores da atividade microbiana do solo. Os valores de alcance acima de 10 m encontrados para cálcio, potássio, sódio e nematoides indicam que a amostragem do solo nas condições de estudo deve ser realizada com espaçamentos a partir dessa distância. A cobertura com o palhicho não foi suficiente para manter a umidade desses solos após 40 dias, mas contribuiu para manter níveis maiores de evolução de C-CO<sub>2</sub> na camada superficial do solo. Quando presente, a dependência espacial variou de moderado a baixo grau de dependência.

**Palavras chave:** amostragem, aproveitamento de resíduo, bioindicador, *Saccharum*, variabilidade espacial.

## ABSTRACT

The increasing on ethanol demand and production intensify environment concerns mainly due to production residue problems. Despite of environmental concerns, areas under vinasse application have been associated to favorable physical conditions for root development, aeration, infiltration and water movement in soil profile. This study had as objective to evaluate the effect of vinasse application on chemical and physical properties of soil under sugarcane mulch, as well shifts on nematode density, and spatial dependence of variables, in two sugarcane growing areas under mechanized management in Paraiba state, Brazil. Samplings were carried out in a 10×10-m mesh with 36 points per area, before and 40 days after vinasse application. Data were submitted to multivariate analysis to repeated-measures, correlation analysis and geostatistics. Vinasse application decreased nematode density. Nematodes were sensible to change in soil attributes, responding as a good indicator of soil microbial activity in an indirect way. Reach (a) values for calcium, potassium, sodium and nematodes indicated soil sampling must be carried out from 10 m intervals. Sugarcane mulch was not enough to maintain adequate soil humidity after 40 days, but it contributed for higher levels of C-CO<sub>2</sub> evolution. When present, spatial dependence varied from moderate to low degree.

**Key words:** sampling, residue use, bioindicator, *Saccharum*, spatial variability

## **CAPÍTULO 1**

---

### **INTRODUÇÃO GERAL**

## INTRODUÇÃO GERAL

### 1. A cana-de-açúcar

A exploração da lavoura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) é uma das mais antigas atividades produtivas do Brasil. Pode-se dizer que sua história foi construída juntamente com a história do país. No entanto, desde sua implantação até os dias de hoje, o registro de sua evolução nem sempre ocorreu de forma contínua (MOREIRA, 2008).

O início da agricultura canavieira no Brasil ocorreu por volta de 1530 com a ocupação dos portugueses, que tinham como objetivo garantir soberania sobre a colônia e todo o aproveitamento econômico. Nesta época o açúcar despontava com alto valor no mercado internacional e sua produção adaptar-se-ia com facilidade às condições brasileiras, uma vez que esse tipo de cultivo apresentava, melhor rendimento em climas tropicais. Com tantas condições favoráveis, o açúcar tornou-se a principal atividade econômica nacional, e o Brasil alcançou rapidamente posição de destaque mundial (PRADO JUNIOR, 1976).

Maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, o Brasil produziu 603.056.367 toneladas na safra 2009/10, resultando em 33.033.479 toneladas de açúcar e 25.738.675 m<sup>3</sup> de álcool (MAPA, 2010). Segundo IBGE (2010), a área plantada de cana-de-açúcar, para a mesma safra foi de 8.783.426 ha, perdendo apenas para a cultura da soja e do milho com áreas de 21.761.782 e 14.144.321 ha, respectivamente. Com produção em cerca de 60 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, convertidos em 4.308.087 de toneladas de açúcar e 2.005.164 litros de álcool, na safra 2009/2010 (SINDAÇÚCAR, 2010), o Nordeste brasileiro tem na agroindústria sucroalcooleira a principal atividade sócio-econômica.

Segundo Oliveira (2010), a cana-de-açúcar apresenta-se no cenário nacional como a principal matéria-prima para a obtenção de açúcar e etanol produzidos a baixos custos, uma vez que a energia consumida no processo é produzida a partir dos seus próprios resíduos (bagaço, palha, etc.). A queima do bagaço da cana gera energia elétrica por um sistema denominado co-geração, o qual representa uma fonte energética

relativamente “limpa”, quando comparada a outras. As usinas utilizam essa fonte para atender às demandas internas de energia durante a safra, e fornecem o excedente para as concessionárias locais.

### **1.1. Palhiço da cana-de-açúcar**

Segundo o censo agropecuário de 2006, realizado pelo do IBGE, a produção de cana-de-açúcar cresceu 47,9% no período de 1995 a 2006, atingindo 19,6 bilhões de reais em 2006, o maior valor alcançado por uma cultura. A ampliação da capacidade de moagem e o surgimento de novas usinas provocaram aumento na área colhida de 33,3%, provocando a valorização das terras em várias regiões do País. Nos últimos anos, a colheita mecanizada vem crescendo no País. Em 2006, 13,6% da área foi colhida desta forma, porém, em 91,6% dos estabelecimentos que respondem por 46,6% da área colhida, a colheita ainda foi realizada de forma totalmente manual.

Ripoli (1996) considerando ser a queima prévia dos canaviais consagrada em função dos reflexos econômicos imediatos, enumera vários inconvenientes dessa prática tais como: riscos de descontrole podendo provocar incêndio em outras áreas agrícolas ou matas, danos às redes de transmissão de energia elétrica, dificuldade de implantação de controle biológico de pragas, perda de sacarose por exsudação de colmos e desperdício de cerca de 10 t ha<sup>-1</sup> de massa vegetal que poderia ser incorporada ao solo melhorando suas propriedades físico-químicas ou aproveitada como fonte de energia na agroindústria.

O sistema de cultivo de cana crua foi desenvolvido com a finalidade de eliminar a queima da cultura, a mobilização superficial dos solos e mantê-los cobertos com restos culturais. Nesse sistema, busca-se a redução da erosão e o aumento do teor de matéria orgânica, que provocam a compactação superficial do solo pelo aumento do tráfego de máquinas, ou seja, aumento da densidade do solo e redução de sua porosidade total, a qual poderá restringir o desenvolvimento radicular das culturas (BLAIR et al., 1998; BLAIR, 2000; VASCONCELOS, 2002).

Ripoli e Ripoli (2004) afirmaram que o palhiço, erroneamente chamado de palha ou palhada, é o “material remanescente sobre o talhão após a colheita, principalmente a mecanizada, constituído de folhas verdes, palhas, ponteiros e/ou suas

frações; frações de colmos (industrializáveis ou não); eventualmente, frações de raízes e partículas de terra a eles aderida”. Segundo Trivelin; Rodrigues, e Victoria (1996) esse material, lançado sobre a superfície do solo, forma uma cobertura de resíduo vegetal (mulch), onde a quantidade de palhicho em canaviais colhidos sem queima pode variar de 10 a 30 Mg ha<sup>-1</sup>.

A deposição e a manutenção de palhicho sobre a superfície do solo, mesmo contribuindo com a sua conservação, pode causar problemas relacionados ao manejo da cultura (FURLANI NETO; RIPOLI; VILA NOVA, 1997). Entre eles podem ser citados dificuldades durante as operações de cultivo e adubação da soca (AUDE et al., 1993), baixa taxa líquida de mineralização de N no período de um ano agrícola (TRIVELIN; VICTORIA; RODRIGUES 1995), dificuldade de execução de controle seletivo de plantas daninhas e aumento das populações de pragas que se abrigam e multiplicam sob a palhada (MACEDO; BOTELHO; CAMPOS, 2003). Além disso, o grande volume de palha sobre a cana soca dificulta a sua emergência, causando falha na rebrota, especialmente nas variedades melhoradas que foram desenvolvidas num sistema de colheita com queima, que favorecia a maior taxa de emergência da cana soca (VASCONCELOS, 2002).

## **2. A vinhaça**

Como consequência do aumento significativo na produção de álcool, oriundo da cana-de-açúcar, foi também acrescida à produção do principal resíduo oriundo da sua fabricação, a vinhaça. Segundo Gemtos; Chouliaras e Marakis (1999) trata-se do produto de calda na destilação do licor de fermentação do álcool de cana-de-açúcar; é líquido residual, também conhecido, regionalmente, por restilo e vinhoto.

A vinhaça em sua maioria apresenta aproximadamente 97% de água e sua fração sólida é constituída, principalmente, de matéria orgânica e elementos minerais, onde o K<sup>+</sup> representa cerca de 20% dos elementos presentes e constitui o elemento limitante para a definição da dose a ser aplicada nos solos (MARQUES, 2006). Entretanto sua composição é bastante variável dependendo principalmente da composição do mosto. Entende-se por mosto todos os líquidos passíveis de sofrer fermentação, onde, durante a fermentação, o mosto transforma-se em vinho e este por destilação dará origem ao

álcool, gerando como resíduo a vinhaça (ALMEIDA, 1995). Quando se parte de mosto de melaço, a vinhaça apresenta maiores concentrações em matéria orgânica, potássio, cálcio e magnésio, ao passo que esses elementos decaem consideravelmente quando se trata de mosto de caldo de cana, como é o caso de destilarias autônomas (ROSSETTO, 1987).

Segundo Freire e Cortez (2000) a vinhaça é caracterizada como efluente de destilarias com alto valor fertilizante e alto poder poluente; o poder poluente, cerca de cem vezes maior que o do esgoto doméstico, decorre da sua riqueza em matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade e altos índices de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), além de elevada temperatura na saída dos destiladores; é considerada altamente nociva à fauna, flora, microfauna e microflora das águas doces, além de afugentar a fauna marinha que vem às costas brasileiras para procriação.

Dos efluentes líquidos da indústria sucroalcooleira, este resíduo é o que possui maior carga poluidora, apresentando DBO variando de 20.000 a 35.000 mg L<sup>-1</sup>. A quantidade despejada pelas destilarias pode variar de 10 a 18 L de vinhaça por litro de álcool produzido, dependendo das condições tecnológicas da destilaria. A temperatura da vinhaça que sai dos aparelhos de destilação é de 85 a 90 °C (ROSSETTO, 1987). Segundo para Freire e Cortez (2000) os valores consumindo em mg de oxigênio por litro de substâncias biodegradáveis variam de 12.000 a 20.000. Portanto, considerando a produção de álcool no Brasil, na safra 2009/2010 o volume produzido de vinhaça, para o mesmo período, seria de uma grandeza de 257 a 463 bilhões de L.

Apesar da vinhaça, ao ser depositada no solo, promover melhoria na sua fertilidade, Silva; Griebeler e Borges, (2007) alertam para que, 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.

## **2.1. Efeito da aplicação da vinhaça na cultura da cana-de-açúcar**

Segundo Freire e Cortez (2000) a aplicação de vinhaça nas lavouras aumenta a produtividade da cultura, entretanto, reduz a concentração de açúcar no caldo. Este

efeito depreciativo pode ser devido, justamente, ao crescimento vegetativo mais vigoroso, o que leva a atraso na maturação (KORNDORFER, 1990).

Marques et al. (2005) constataram que a substituição do KCl por vinhaça na cana-soca de 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> cortes não interferiram na produtividade agrícola da cultura e na qualidade e valorização da matéria-prima para a agroindústria. Entretanto Gomes (2003) alerta para o fato que, nas áreas onde a aplicação da vinhaça é feita em doses elevadas, acima daquelas indicadas para o tipo de solo, em questão, podem ocorrer problemas de produtividade, mostrando um efeito negativo da vinhaça sobre a maturação da cana.

Gómez e Rodriguez (2000) encontraram um aumento no rendimento da cana-de-açúcar com a aplicação da vinhaça, onde os melhores resultados foram obtidos nas doses de 50m<sup>3</sup> há<sup>-1</sup> para cana planta, e 100m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> para primeira e segunda soca.

## **2.2. Efeito da aplicação da vinhaça nos microrganismos do solo**

Camargo (1954) afirma que um dos efeitos mais importantes do emprego da vinhaça em solos é o aumento notável da população microbiana nos mesmos, com predominância dos fungos: *Neurospora* ssp, *Aspergillus* ssp, *Penicillium* ssp, *Mucor* ssp e *Streptomyces* ssp. Segundo Passarin et al. (2007) a vinhaça, provoca aumento na atividade microbiana do solo em consequência da adição da matéria orgânica nela contida. Neves et al. (1983) ressaltam que a aplicação da vinhaça estimula visivelmente a população de fungos do solo, principalmente dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*, onde foram observados, após a incubação, diferenças significativas entre controle e solo tratado, entretanto Já o número de actinomicetos do solo foi reduzido nos primeiros dias de incubação, quando comparado ao controle. Do mesmo modo a população de *Azospirillum* ssp, estimada pela técnica do número mais provável, aumentou durante a incubação com vinhaça, resultando ainda em aumentos consideráveis da fixação de nitrogênio.

Santos et al. (2009), avaliando os efeitos da irrigação com vinhaça sobre a microbiota do solo, onde foram aplicados três níveis diferentes de vinhaça (equivalente a 200, 400 e 600m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), verificaram que a adição de vinhaça resultou em aumento da população de fungos, a partir dos 30 dias de incubação; a população de bactérias não foi afetada até os 90 dias de incubação, observando-se o seu crescimento a partir dos 120

dias; na população dos actinomicetos a adição da vinhaça causou um decréscimo significativo, diminuindo essa diferença a partir dos 60 dias de incubação, destacando-se a adição do nível de vinhaça  $600\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . A adição de  $200\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$  aumentou significativamente a população de celulolíticos.

### **3. Nematóides**

As dificuldades no cultivo da cana-de-açúcar no Estado, fundamentada numa agricultura de custos elevados e com produtividade abaixo da média nacional, vêm determinando vulnerabilidade bastante acentuada ao setor. As causas são várias, no entanto, a baixa produtividade no campo está, frequentemente, associada a problemas fitossanitários, dentre os quais as nematoses constituem fator limitante da cultura (PEDROSA, 1989; MOURA et al., 1999; MOURA, 2000; DINARDO-MIRANDA, 2005; CHAVES et al., 2007; GOULART, 2008; GUIMARÃES et al., 2010), agravado pelo uso contínuo de poucos genótipos nas mesmas áreas, longas e frequentes estiagens, e deficiências em fertilidade do solo, comuns no Nordeste, especialmente nos solos arenosos dos Tabuleiros Costeiros (MOURA, 2000).

Os nematóides são animais invertebrados, geralmente microscópicos, pertencendo a um filo próprio: Nematoda Potts, 1932 (MAGGENTI, 1981; BONGERS; FERRIS, 1999; HUGOT; BAUJARD; MORAND, 2001). Em geral, são seres de corpos tubulares, alongados, de diâmetro praticamente constante ao longo do comprimento afinando-se de maneira gradual nas extremidades. Entre os animais multicelulares, os nematóides são os mais abundantes. Constituem grupo altamente diversificado, incluindo formas com diversos hábitos alimentares e diferentes papéis ecológicos no solo (GOULART, 2009). Ocupam habitats mais variados que os de qualquer outro grupo de metazoários, salvo os artrópodos. São considerados organismos aquáticos, podendo viver em águas marinhas, águas doces ou películas de água do solo (MAGGENTI, 1981). A movimentação no solo ocorre entre as partículas e no filme de água. O tamanho dos poros ou interstícios maiores permite uma movimentação mais dinâmica, e, principalmente quando são de diâmetro maior que o corpo dos nematóides, transformam-se, com auxílio da água presente no solo, em canais por onde os nematóides movimentam-se no solo (GOULART, 2009).

### 3.1. Parasitos de planta

A maioria dos nematóides presentes no solo não é patogênica às plantas. Os nematóides fitopatogênicos são parasitas que tipicamente se alimentam de raízes, embora algumas espécies sejam capazes de migrar para as partes da planta acima do solo e causar galhas ou lesões nas folhas e sementes (MICHEREFF; ANDRADE; MENEZES, 2005). Os fitonematóides mais importantes para a cultura são os endoparasitos sedentários pertencentes aos gêneros *Meloidogyne* Göeldi, representados pelas espécies *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood, *M. incognita* (Kofoid & White) Chitwood e o endoparasito migrador *Pratylenchus zae* Graham, devido à severidade das doenças que causam e expressivas disseminação em todas as regiões açúcareiras do mundo (MOURA; RÉGIS; MOURA, 1990; CADET; SPAULL, 2005). Dinardo-Miranda (2005) também reconhece que nas condições brasileiras, essas são as espécies de nematóides mais importantes para a cana-de-açúcar, em função dos danos que causam à cultura.

A presença, na região, de outras espécies de nematóides reconhecidamente patogênicas à cultura (MOURA; ALMEIDA, 1981; CRUZ; Silva; Ribeiro, 1986; MOURA et al., 1999), contribui para aumento da complexidade do problema. Estima-se que os danos causados pelos nematóides em cana-de-açúcar, sejam superiores a 20% da produção (DINARDO-MIRANDA; MENEGATTI, 2003).

#### 3.1.1. *Meloidogyne* spp

O nematóide das galhas, *Meloidogyne* spp, é um fitoparasito sedentário que causa galhas nas raízes e reduz a eficiência e translocação de água e nutrientes na planta. A infecção inicial é causada por juvenis de segundo estágio, que entram nas raízes e iniciam uma relação de alimentação especializada com a planta (MICHEREFF; ANDRADE; MENEZES, 2005).

A espécie *M. incognita* possui a capacidade de ocasionar os maiores índices de perdas na produtividade da cultura, com valores que podem alcançar ao redor de 40%

(DINARDO-MIRANDA; GARCIA; MENEGATTI, 2000). A infecção também afeta as relações água × planta e o processo fotossintético. Outros sintomas associados à infecção, como destruição de pêlos absorventes e redução da taxa de crescimento das raízes, limitam a exploração do solo e absorção de água e nutrientes (DIAS; RIBEIRO, 2001). De acordo com Novaretti (1997), níveis maiores que 400 juvenis por 50g de raízes indicam alta densidade populacional, impondo a adoção de medidas de controle.

### 3.1.2. *Pratylenchus* spp.

O gênero *Pratylenchus* engloba mais de 60 espécies descritas, e mundialmente é considerado o segundo grupo de fitonematóides mais importante, sendo suplantado somente por *Meloidogyne*. Os membros desse gênero são referidos comumente como “nematóides das lesões radiculares”, devido à sintomatologia nas raízes. O fitonematóide *P. zae* parasita comumente gramíneas, cultivadas ou invasoras, especialmente milho e cana-de-açúcar; causa danos também ao fumo em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul (TIHOHOD, 2000).

*Pratylenchus zae* se destaca por ser uma das mais disseminadas (Novaretti *et al.* 1974). Essa espécie desempenha papel importantíssimo no declínio produtivo da cana-de-açúcar, que é caracterizado pela diminuição da capacidade de produção de açúcar hectare colhido. Reduz a densidade, comprimento e peso de raízes; provoca amarelecimento foliar, subdesenvolvimento e menor número de brotações e perfilhos (TARTÉ *et al.*, 1977; CADET; SPAULL, 2005).

Chaves *et al.* (2009) com objetivo de monitorar densidades populacionais de nematoides dos gêneros *Pratylenchus* e *Meloidogyne* em tabuleiros costeiros do litoral norte de Pernambuco em variedades comerciais, encontraram para as populações de *Pratylenchus*, resultados acima do nível de dano nas variedades RB-763710, RB-813804 e SP79-1011. Menores médias foram alcançadas por RB-72454, SP71-6949 e SP78-4764 e menores em RB-763710, para áreas no litoral norte de Pernambuco.

Dinardo-Miranda e Ferraz (1991) quantificaram os danos causados por *P. zae* em cana-de-açúcar e obtiveram até 52,4 % em variedades susceptíveis. Na variedade SP71-1406 aos seis meses de idade, densidades populacionais de 2.700 *P. zae* por 50 g de raiz foram responsáveis pela quebra de 35 % da produção.

### **3.2. Nematóides como bioindicadores da qualidade do solo**

Os nematóides possuem vários atributos que os tornam úteis como indicadores ecológicos (FRECKMAN, 1988). O principal papel dos nematóides no ecossistema do solo é a ciclagem de nutrientes, seja por alimentação via planta ou microrganismo, disponibilizando minerais no solo para absorção pelas plantas. Entretanto outros atributos fazem com que os nematóides se apresentem como bons bioindicadores, tais como: são encontrados em abundância em múltiplos e variados biomas, desde que neles exista disponibilidade de água e carbono orgânico; apresentam diversidade trófica; possuem ciclo biológico relativamente curto; constituem comunidades multiespecíficas, ocorrendo tanto interações entre os seus diferentes membros quanto entre estes e outros componentes da biota do solo; certos táxons ou grupos de táxons comprovadamente apresentam sensibilidade diferenciada frente a distúrbios ocorridos no meio; e podem ser identificados e quantificados sem maiores dificuldades, inclusive as formas de vida livre, pelo menos até o nível de gênero (NEHER, 2001; GOULART, 2002; NEILSON, 2005; CARES, 2006; TOMAZINI, 2008).

As estruturas tróficas das comunidades de nematóides podem ser alteradas por práticas agrícolas, tais como sistema de cultivo, uso de pesticidas, adubação, uso de matéria orgânica ou aração. Os nematóides da ordem Dorylaimida, por exemplo, são considerados indicadores de perturbação do ecossistema, apresentando baixas densidades em solos cultivados (FERRIS; FERRIS, 1974). Já a maioria dos membros da superfamília Criconematoidea é encontrada em solos com plantas nativas, desaparecendo em solos cultivados com plantas anuais (CARES; HUANG, 1991; HUANG et al., 1996). As populações de bacteriófagos são altas em áreas com plantas perenes ou em solos pouco cultivados, enquanto que a densidade dos micófagos é mais alta em áreas com plantas anuais (FERRIS; FERRIS, 1989). Estudos envolvendo o nível de distúrbio do solo e rotas de decomposição variam desde vegetações nativas a sistemas de cultivo intensivo (NIBLACK, 1989; HYVONEN; PERSSON, 1990; COLEMAN et al., 1991; WASILEWSKA, 1991; FRECKMAN; ETTEMA, 1993; NEHER; CAMPBELL, 1994).

#### **4. Variabilidade espacial de atributos do solo**

Segundo Wojciechowski et al. (2009) a preocupação com técnicas e estimadores mais eficientes, que determinem as características de uma área, ou uma porção da superfície terrestre, são alvos de estudos não só na ciência do solo, mas também em outras áreas do conhecimento desde o início do século vinte. Segundo Souza (2007) O estudo da variabilidade espacial se destaca na ciência do solo, em virtude das características de heterogeneidade, principalmente devido aos processos de formação dos mesmos.

O estudo da variabilidade espacial das propriedades e características do solo permite definir o grau de correlação espacial destas variáveis, sua forma e distribuição (Wojciechowski, 2006). Dentre os trabalhos recentes que abordam a variabilidade espacial em propriedades físico-químicas do solo, pode-se citar Fidalski et al. (2006); Jabro; Stevens e Evans, (2006); Mello; Bueno e Pereira, (2006); Montenegro; Montenegro, (2006); Motomiya; Corá e Pereira, (2006); Souza et al. (2006); Wojciechowski et al. (2009).

Os processos de formação, cobertura, tipos de uso e manejo influenciam as características e propriedades dos solos, os quais exprimem variabilidades que podem ser dependentes ou não, do ponto de vista espacial. Essa variabilidade pode não ser detectada pela estatística clássica ou métodos convencionais de amostragem, por considerar que as variações entre as amostras ocorrem de forma casual, independente e normalmente distribuída (DOURADO NETO, 1989).

A distribuição espacial dos nematóides no solo é irregular, ocorrendo tipicamente em agregados, podendo manifestar sintomas em reboleiras ou manchas no campo (FERRIS; WILSON, 1987; GOULART, 2009), indicando dependência espacial entre as populações e os pontos amostrados.

A geoestatística possibilita, diferentemente da estatística clássica, separar a variabilidade explicada, pela relação existente entre as amostras, e a variabilidade casual. Sua aplicação pode diminuir o número de amostras necessárias, para descrever as características de um determinado local, reduzindo custos de levantamento, mantendo a precisão das estimativas realizadas (VIEIRA et al., 1983).

## 5. Referências

- ALMEIDA, J. R. O problema da vinhaça. **Brasil Açucareiro**. Rio de Janeiro, v. 46, p. 216-221, 1995.
- AUDE, M. I. S.; MARCHEZAN, P. L.; DARIVA, T. & PIGNATARO, L. H. B. Manejo do palhiço da cana-de-açúcar: efeito na produção de colmos industrializáveis e outras características agronômicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, 23, p.281-286, 1993.
- BLAIR, G. J.; CHAPMAN, L.; WHITBREAD, A. M.; BALL-COELHO, B.; LARSEN, P.; TIESSEN, H. Soil carbon changes resulting from sugarcane trash management at two locations in Queensland, Australia, and in North-East Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.36, p.873-882, 1998.
- BLAIR, N. Impact of cultivation and sugar-cane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a Chromic Luvisol in Queensland, Australia. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.55, p.183-191, 2000.
- BONGERS, T & FERRIS, H. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. **Trends in Ecology and Evolution**, Amsterdam, v.14, p.224-228, 1999.
- CADET, P. & SPAULL, V. W. Nematode 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.
- CAMARGO, R. O. **Desenvolvimento da Flora Microbiana nos Solos Tratados com Vinhaça**. Boletim nº 9, Instituto Zimotécnico da ESALQ, Piracicaba, SP, 1954. 44p.
- CARES, J. E. Nematóides como indicadores ambientais de solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 26., 2006, Campos de Goytacazes, RJ. Anais...Camposde Goytacazes: **Sociedade Brasileira de Nematologia**, 2006. p.14-16.
- CARES, J. H. & HUANG, S. P. Nematode fauna in natural and cultivated cerrados of central Brazil. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.16, n.3, p.199-209. 1991.

CHAVES, A.; MARANHÃO, S. R. V. L.; PEDROSA, E. M. R.; GUIMARÃES, L. M. P. & OLIVEIRA, M. K. R. Incidência de *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus* sp. em Cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco, Brasil. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v.33, n.4, p.278-280, 2009.

CHAVES, A.; MELO, L. J. O. T.; SIMÕES NETO, D. E.; COSTA, I. G.; PEDROSA, E. M. R. Declínio severo do desenvolvimento da cana-de-açúcar em tabuleiros costeiros de Pernambuco. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v.31, n.2, p.10-12, 2007.

CHAVES, A.; PEDROSA, E. M. R.; PIMENTEL, R. M. M.; COELHO, R. S. B.; GUIMARÃES, L. M. P.; MARANHÃO, S. R. V. L. Resistance induction to *Meloidogyne incognita* in sugarcane through mineral organic fertilizers In: Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 40., 2007, Maringá. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2007. v. 32, p. S131.

COLEMAN, D. C.; EDWARDS, A. L.; BELSKY, A. J. & MWONGA, S. The distribution and abundance of soil nematodes in East African savannas. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.12, n.1, p.67-72, 1991.

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**, Brasília, v.10, n.1, p.27-28, 1986.

DIAS, M. S. C.; RIBEIRO JUNIOR, P. M. Nematóides na bananicultura. In: SIMPÓSIO NORTE MINEIRO SOBRE A CULTURA DA BANANA, 1., 2001, Montes Claros. **Anais...** Montes Claros: Unimontes, 2001. p.168-179.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; GIL, M. A. & MENEGATTI, C. C. Danos causados por nematóides a variedades de cana-de-açúcar em cana planta. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v.27, n.1, p.69-73, 2003.

DINARDO-MIRANDA, L. L. & FERRAZ, L. C. C. B. Patogenicidade de *Pratylenchus brachyurus* e *Pratylenchus zaei* a duas variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.). **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v.15, n.1, p.9-16, 1991.

DINARDO-MIRANDA, L. L. & FERRAZ, L. C. C. B. Patogenicidade de *Pratylenchus brachyurus* e *P. zaeae* a duas variedades de cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v.15, n.1, p.9-16, 1991.

DINARDO-MIRANDA, L. L. 2006. Manejo de nematóides e pragas de solo em cana-de-açúcar. In: CAMPOS, A.P., D. W. VALE, E. S. ARAÚJO, M. M. CORRADI, M. S. YAMAUTI, O. A. FERNANDES & S. FREITAS (ed). **Manejo Integrado de Pragas**. FUNEP, Jaboticabal (SP), p. 59-80.

DINARDO-MIRANDA, L. L. Manejo de nematóides em cana-de-açúcar. **Jornal Cana: tecnologia agrícola**. Ribeirão Preto, ano 13, n.141, p.64-67, 2005.

DINARDO-MIRANDA, L. L.& GIL, M. A. Efeito da rotação com *Crotalaria juncea* na produtividade da cana-de-açúcar, tratada ou não com nematicidas no plantio. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v.29, n.1, p.63-66, 2005.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; GARCIA, V.; MENEGATTI, C. C. Controle químico de nematóides em soqueira de cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, Brasília, v.24, n.1, p.55-58, 2000.

DOURADO NETO, D. **Variabilidade especial das Alturas de chuva e irrigação e de potenciais da solução do solo**. Piracicaba: 1989. 180p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

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

FERRIS, V. R.; FERRIS, Y. J. M. Inter-relationship between nematode and plant communities in agricultural ecosystems. **Agroecosystems**, v.1, n.4, p.275-299, 1974.

FERRIS, V. R. & FERRIS, Y. J. M. Why ecologists need systematists: Importance of systematics to ecological research. **Journal of Nematology**, v.21, p.308-314, 1989.

FIDALSKI, J.; FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; GONÇALVES, A. C. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. Variabilidade espacial da resistência do solo a penetração e da taxa de estratificação de carbono orgânico do solo em um Latossolo Vermelho eutroférico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.6, p. 1773-1779, 2006.

FRECKMAN, D. W. & ETTEMA, C. H. assessing nematode communities in agroecosystems of varying human intervention. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Charlottetown, v.45, n.2, p.239-261, 1993.

FRECKMAN, D. W. Bacterivorous nematodes and organic-matter decomposition. *Agriculture Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v.24, n.1-3, p.195-217, 1988.

FREIRE, W. J. & CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. 1ª ed Guaíba: Agropecuária, 2000. 203 p.

FURLANI NETO, V. L.; RIPOLI, T. C. & VILA NOVA, N. A. Biomassa de cana-de-açúcar: energia contida no palhicho remanescente de colheita mecânica. **STAB – Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v.15, p.24-27, 1997.

GEMTOS, T. A.; CHOULIARAS, N.; MARAKIS, S. Vinasse rate, time of application and compaction effect on soil properties and durum wheat crop. **Journal of Agriculture and Engineering Research**, London, v.73, n.3, p.283-296, 1999.

GOMES, J. F. F. **Produção de colmos e exportação de macronutrientes primários por cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. Piracicaba. 2003, 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

GÓMEZ, J.; RODRIGUEZ, O. Effects of vinasse on sugarcane (*Saccharum officinarum*) productivity. **Revista de la Facultad de Agronomía**, Universidad del Zulia, v.17 n.4, p.318-326, 2000.

GOULART, A. M. C. **Análise de dados em estudos de diversidade de nematóides**. **Planaltina**: Embrapa Cerrados, 2009, 46p. (Documento 251).

GOULART, A. M. C. **Aspectos gerais sobre nematóides-das-lesões-radiculares (gênero *Pratylenchus*)**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. 30p. (Embrapa Cerrados. **Documentos**, 219).

GOULART, A. M. C. **Diversidade de nematóides em áreas de vegetação nativa e cultivada em São Carlos, Estado de São Paulo, Brasil**. 2002. 151 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

GUIMARÃES, L. M. P.; PEDROSA, E. M. R.; COELHO, R. S. B.; COUTO, E. F.; MARANHÃO, S. R. V. L.; CHAVES, A. Eficiência e atividade enzimática elicitada por metil jasmonato e silicato de potássio em cana-de-açúcar parasitada por *Meloidogyne incognita*. **Summa Phytopathology**, Botucatu, v. 36, p. 11-15. 2010.

HUANG, S. P.; FREIRE, H. C. A. & CARES, J. E. Grupos composicionais e tróficos dos nematóides associados à sucupira branca (*Pterodon pubescens*) em cerrado nativo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.21, n.2, p.156-160, 1996.

HUGOT, J. P.; BAUJARD, D.; MORAND, S. Biodiversity in helminthes and nematodes as field study: an overview. *Nematology*, v.3, n.3, p.199-208, 2001.

HYVONEN, R.; PERSSON, T. Effects of acidification and liming on feeding groups of nematodes in coniferous forest soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.9, n.3, p.205-210, 1990.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Sidra 10**: Sistema IBGE de Recuperação Automática. Banco de Dados Agregados. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?t=2&z=t&o=11&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1>. Acesso em 08 dez. 2010.

JABRO, J. D. STEVENS, B. W.; EVANS, R. G. Spatial relationships among soil physical properties in a grass-alfalfa hay field. **Soil Science**, Baltimore, v.71, n.9, p.719-727, 2006.

KORNDORFER, G. H. O potássio e a qualidade da cana-de-açúcar. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, v.49, p.1-3, 1990.

MACEDO, N. M.; BOTELHO, P. S. M. & CAMPOS, M. B. S. Controle químico de cigarrinha-da-raiz em cana-de-açúcar e impacto sobre a população de artrópodes. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.21, p.30-33, 2003.

MAGGENTI, A. **General nematology**. New York: Springer Verlag, 1981, 372 p.

MARQUES, M. O. Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Editorial, 2006. p.369-375.

MARQUES, M. O.; CAMILOTTI F.; MARQUES T. A.; JUNIOR L. C. T.; SILVA A. R.. Cana-de-açúcar cultivada com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais, **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v.1, n.2, p.43-49, 2005.

MELLO, G.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 294-305, 2006.

MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E. G. T.; MENEZES, M. (Eds.) **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. 1. ed. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. 398 p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – **MAPA: Produção Brasileira de Cana, Açúcar e Etanol**, 2010. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/Desenvolvimento\\_Sustentavel/Agroenergia/estat%C3%Adsticas/Produ%C3%A7%C3%A3o/Atualiza%C3%A7%C3%A3o%2020\\_01\\_2011/Producao%20Mensal%20de%20Cana,%20Acucar%20e%20Alcool%20-%20Brasil.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/estat%C3%Adsticas/Produ%C3%A7%C3%A3o/Atualiza%C3%A7%C3%A3o%2020_01_2011/Producao%20Mensal%20de%20Cana,%20Acucar%20e%20Alcool%20-%20Brasil.pdf)>. Acesso em: 08 dez. 2010.

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

MOREIRA, M. M. R. **Análise prospectiva do padrão de expansão do setor sucroenergético brasileiro: uma aplicação de modelos probabilísticos com dados georeferenciados.** 2008, 151 f. (Mestrado em Economia) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MOTOMIYA, A. V. A.; CORÁ, J. E.; PEREIRA, G. T. Uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 485-496, 2006.

MOURA, R. M. & ALMEIDA A. V. Estudos preliminares sobre a ocorrência de fitonematóides associados à cana-de-açúcar em áreas de baixa produtividade agrícola no Estado de Pernambuco. **Sociedade Brasileira de Nematologia**, v.5, p.213-220, 1981.

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

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, n.1, p.92-99, 1999.

MOURA, R. M.; RÉGIS, E. M. & MOURA, A. M. Espécies e raças de *Meloidogyne* assinaladas em cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v.14, p.33-38, 1990.

NEHER, D. A.; CAMPBELL, C. L. Nematode communities and microbial biomass in soils with I and perennial crops. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v.1, n.1, p.17-28, 1994.

NEHER, D. A.; Role of nematodes in soil health and their use as indicators. **Journal of Nematology**, Riverside, v.33, n.4, p.161-168, 2001.

NEILSON, R. Nematode ecology: a current perspective. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NAMTOLOGIA, 25., 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2005. p.18-23.

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

NIBLACK, T. L. Application of nematode community structure research to agricultural production and habitat disturbance. **Journal of Nematology**, Riverside, v.21, n.4, p. 437-443, 1989.

NOVARETTI, W. R. T. **Controle de *Meloidogyne incognita* e *Pratylenchus zaeae* (Nemata: Tylenchoidea) em cana-de-açúcar com nematicidas, associados ou não à matéria orgânica.** 1997, 51 f. Tese (Doutorado em ????) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1997.

NOVARETTI, W. R. T., A. O. ROCCIA, L. G. E. LORDELLO & A. R. MONTEIRO. 1974. **Contribuição ao estudo de nematóides que parasitam a cana-de-açúcar em São Paulo.** p.179-196. In: Reunião de Nematologia, 1. Piracicaba. Trabalhos apresentados.

OLIVEIRA, B. G. **Vinhaça da cana-de-açúcar: fluxos de gases de efeito estufa e comunidades de *archaea* presente no sedimento do canal de distribuição.** 2010. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2010.

PASSARIN, A. L.; RODRIGUEIRO, E. L.; ROBAINA, C. R. P.; MEDINA, C. C. Caracterização de agregados em um Latossolo Vermelho distroférico típico submetido a diferentes doses de vinhaça. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Rio de Janeiro. v.31, n.6, p.1255-1260, 2007.

Pedrosa, E. M. R. **A Meloidoginose da Cana-de-Açúcar (*Saccharum* sp.): Aspectos sintomatológicos, comportamento de cinco variedades prevalentes no nordeste do Brasil e relações com o raquitismo da soqueira.** 1989, 133 f. Recife, Dissertação (Mestrado em Fitossanidade) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1989.

PRADO JÚNIOR, C.(Eds) **História econômica do Brasil.** 10. ed. São Paulo: Editora Brasiliense, 1976, 364.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. (Eds). **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. 2. ed. Piracicaba, Edição do autores. 2004. 302p.

RIPOLI, T. C. C. Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas**: ensaios e certificação. Piracicaba: FEALQ, 1996. p.635-674.

ROSSETTO, A. J. Utilização agrônômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: Paranhos, S. B. (ed.). **Cana-de-açúcar**: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v.2, p.435-504.

SANTOS, T. M. C.; SANTOS, M. A. L.; SANTOS, C. G.; SANTOS, V. R.; PACHECO, D. S. Efeito da fertirrigação com vinhaça nos microrganismos do solo. **Caatinga**, Mossoró, v.22, n.1, p. 155-160, 2009.

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

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO ESTADO DE PERNAMBUCO – **SINDAÇÚCAR: Sistema de acompanhamento da produção canavieira posição em 2009/2010**. Disponível em: <[http://www.sindacucar.com.br/noticias\\_estatisticas.html#](http://www.sindacucar.com.br/noticias_estatisticas.html#)>. Acesso em 08 dez. 2010.

SOUZA, E. R. **Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um neossolo flúvico cultivado com cenoura irrigada com água moderadamente salina**. 2007, 84 f. Recife: Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2007.

SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T; COOPER, M. & BARBIERI, D. M. Otimização amostral de atributos de latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p.829-836, 2006.

TARTÉ, R.; CERRUD, D.; RODRIGUEZ, I.; OSORIO, J. M. Presencia y parasitismo de *Pratylenchus zae* em cana de azucar em Panamá com indicaiones sobre la susceptibilidad relativa de algunos cultivares. **Turrialba**, San Jose, v.27, p.259-266, 1977.

TIHOHOD, D. Principias fitonematóides de importância para as culturas econômicas no Brasil. In: \_\_\_\_\_. **O gênero *Pratylenchus*: nematóide das lesões radiculares.** Nematologia Agrícola Aplicada, Jaboticabal, 2000. v. 1, p. 388-392.

TOMAZINI, M. D. **Caracterização das comunidades de nematóides em mata nativa e áreas contíguas submetidas a diferentes tipos de uso agrícola em Piracicaba (SP).** Piracicaba, 2008. 67f. Tese (Doutorado em Entomologia) – Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

TRIVELIN, P. C. O.; VICTORIA, R. L.; RODRIGUES, J. C. S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia-<sup>15</sup>N e uréia-<sup>15</sup>N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.12, p.1375-1385, 1995.

TRIVELIN, P. C. O.; RODRIGUES, J. C. S.; VICTORIA, R. L. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia-<sup>15</sup>N e uréia-<sup>15</sup>N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.2, p. 89-99, 1996.

VASCONCELOS, A. C. M. **Desenvolvimento do sistema radicular da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual.** 2002. 140p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R. & BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

WASILEWSKA, L. Long-term changes in communities of soil nematodes on fen peat meadows due to the time since their drainage. **Ekologia Polska**, v.39, p.59-104, 1991.

WOJCIECHOWSKI, J. C. **Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do solo em áreas de floresta estacional decidual.** 2006. 103p. Dissertação (Mestrado Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

WOJCIECHOWSKI, J. C.; VALDIR SCHUMACHER, M.; F. P., CARLOS A. DA;  
MADRUGA, P. R. DE A.; KILCA, R. DE V.; BRUN, E. J.; SILVA, C. R. S. DA;  
VACCARO, S.; RONDON NETO, R. M. Geoestatística aplicada ao estudo das  
características físico-químicas do solo em áreas de floresta estacional decidual. **Ciência  
Florestal**, Santa Maria, v. 19, n.4, p. 383-391, 2009.

## **CAPÍTULO 2**

---

**Efeitos da aplicação de vinhaça sobre as propriedades químicas do solo e densidade de nematóides em área cultivada com cana-de-açúcar sob manejo mecanizado**

**Efeitos da aplicação de vinhaça sobre as propriedades químicas do solo e  
densidade de nematóides em área cultivada com cana-de-açúcar sob  
manejo mecanizado**

**Resumo:** O aumento da demanda e da produção de etanol intensifica as preocupações com o meio-ambiente, em especial pelos problemas causados pelos resíduos de sua produção. Sendo a vinhaça o principal resíduo decorrente dessa produção, o estudo teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de vinhaça nas propriedades químicas, e na população de nematóides, como também avaliar a variabilidade espacial destes atributos no solo em área sob cultivo mecanizado de cana-de-açúcar. Foram amostrados 36 pontos em duas áreas, equidistantes entre si em 10 m, onde foram realizadas análises, químicas e nematológicas. Os dados foram submetidos a teste de média, correlações e análise de geoestatística. Os nematóides se apresentaram sensíveis aos atributos químicos do solo, indicando que, mesmo de forma indireta, se apresentam como bons indicadores da atividade microbiana do solo em função desses atributos. Os valores de alcance encontrados acima de 10 m, tanto para os valores de cálcio, potássio e sódio, como para os grupos de nematóides estudados, indicam a que a amostragem dos solos nas condições de estudo podem ser realizadas com espaçamentos a partir dessa distância.

Palavras-chave: amostragem, aproveitamento de resíduo, bioindicador, *Saccharum*, variabilidade espacial.

**Effects of vinasse application on soil chemical properties and nematode density in  
sugarcane growing area under mechanized management**

**Abstract:** The increasing on ethanol demand and production intensify environment concerns mainly due to production residue problems. This study had as objective to evaluate vinasse application influence on soil chemical properties and nematode density in two sugarcane growing areas under mechanized management in Paraíba state, Brazil. Samplings were carried out in a 10×10-m mesh with 36 points per area, before and 40 days after vinasse application. Data were submitted to multivariate analysis to repeated-

measures, correlation analysis and geostatistics. Nematodes were sensible to t change in soil attributes indicating they responded as a good indicator of soil microbial activity in an indirect way. Reach (a) values for calcium, potassium, sodium and nematodes indicated soil sampling must be carried out from 10 m intervals.

**Key words:** sampling, residue use, bioindicator, *Saccharum*, spatial variability

## INTRODUÇÃO

A busca por combustíveis alternativos vem gerando considerável demanda de etanol. O aumento da demanda e da produção de etanol intensifica as preocupações com o meio-ambiente, em especial pelos problemas causados pelos resíduos de sua produção.

A vinhaça é o principal efluente das destilarias de álcool e é produzida, em média, à razão de 13 litros por litro de álcool destilado (Ludovice, 1997). Devido à alta carga orgânica e a riqueza em potássio, cálcio, magnésio, sódio e, principalmente, potássio (Feigin et al., 1991), a principal forma de uso ou aproveitamento desse efluente tem sido aplicação na forma bruta sobre o solo, nas áreas de soqueiras recém cortadas, atuando na mobilização de nutrientes, desenvolvimento microbiano e, também, sobre diversos processos biológicos (Albuquerque et al., 2002; Tenório et al., 2000).

A prática de queima dos canaviais, amplamente utilizada no Brasil, tem como objetivo facilitar as operações de corte e manejo. Porém tal sistema de colheita traz importantes impactos ambientais, como eliminação da matéria seca da área e aumento da concentração de gás carbônico na atmosfera, contribuindo assim com o efeito estufa e com a diminuição da matéria orgânica no solo (Souza et al., 2005).

Sendo assim a colheita mecanizada da cana-de-açúcar está cada vez mais presente nos sistemas de produção no Brasil. Nesse sistema, sem queima, as folhas, bainhas, ponteiro, além de quantidade variável de pedaços de colmo são cortados, triturados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura de resíduo vegetal (mulch) denominada palha ou palhada. A quantidade de palhada de canaviais colhidos sem queima varia de 10 a 30 Mg ha<sup>-1</sup> (Trivelin et al., 1996).

As atividades agrícolas alteram as propriedades que definem a qualidade do solo. Mudanças no ambiente, decorrentes de práticas de manejo inadequadas, podem levar ao rápido declínio do estoque de matéria orgânica do solo (MOS) em áreas tropicais e subtropicais (Bayer & Mielniczuk, 1999; Freixo et al., 2002). A manutenção da MOS é, portanto, fundamental para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (Mielniczuk et al., 2003).

Considerando que os microrganismos estão envolvidos em processos ambientais de grande importância (formação do solo, ciclagem de nutrientes, entre outros) e a sua sensibilidade em responder a alterações no ambiente em função do manejo, a sua utilização surge como uma importante ferramenta nos estudos da qualidade do solo (Matsuoka et al., 2003). A biomassa microbiana constitui a maior fração ativa na dinâmica da matéria orgânica do solo e, portanto, é sensível às mudanças iniciais no conteúdo da matéria orgânica, causadas pelas práticas de cultivo (Roscoe et al., 2006).

Apesar da agroindústria brasileira desenvolver completa tecnologia agrícola e industrial, com o aproveitamento máximo da cana-de-açúcar, a expansão da cultura, para atender a demanda de produção, fez com que novos canaviais fossem estabelecidos em solos pobres e arenosos. Com isso, foram aumentados os problemas fitossanitários, entre os quais destaca-se a ação dos fitonematóides (Moura, 2000).

Dinardo-Miranda & Menegatti (2003) estimaram que na cultura da cana-de-açúcar os danos causados pelos nematóides podem ser superiores a 20% da produção. Os nematoides parasitos de planta danificam o sistema radicular das plantas, chegando a comprometer a absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, o desenvolvimento da cultura. Além disso, os prejuízos causados pelos nematoides parasitos de planta, em áreas cultivadas, podem inviabilizar a utilização dessas áreas para novos cultivos, tornando, anti-econômica sua exploração.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de vinhaça nas propriedades químicas do solo e na população de nematóides em áreas sob cultivo mecanizado de cana-de-açúcar.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi conduzido em duas áreas da Usina Giasa, localizadas no município de Pedras de Fogo no Estado de Paraíba. Em cada área foram demarcados 36 pontos de coletas, formando uma malha de  $10 \times 10$  m entre os pontos, totalizando  $2500 \text{ m}^2$  ( $50 \times 50\text{m}$ ) (Figura 1). A primeira área (área 1): (latitude  $-07^\circ 21' 29''\text{S}$  e longitude  $-35^\circ 00' 34''\text{W}$ ) era cultivada com a variedade SP79-1011 pelo 2º ano; e a segunda área (área 2) (latitude  $-07^\circ 20' 45''\text{S}$  e longitude  $-34^\circ 59' 22''\text{W}$ ), com a variedade RB855536 de 7º ano.

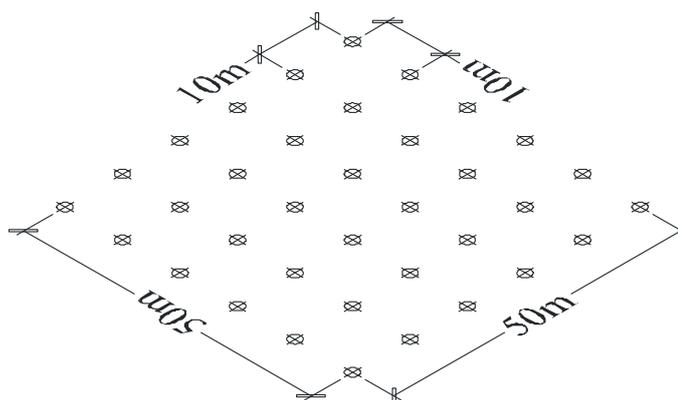


Figura 1. Representação dos pontos de amostragem na malha

O sistema de manejo da cultura era todo mecanizado, desde o plantio até a colheita. O solo das duas áreas é classificado como areia, bem característico da região de estudo. A colheita mecanizada fornecia considerável cobertura vegetal sobre o mesmo, proveniente do palhicho da cana, triturado no ato da colheita mecanizada. As coletas foram realizadas no período de fevereiro a março de 2011, sendo a primeira um dia antes da aplicação de vinhaça e a segunda 40 dias após. A vinhaça era aplicada nessas áreas há 20 anos, com dosagem média de  $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , realizada via aspersão com a utilização de canhão hidráulico.

As amostras foram coletadas na camada 20-40 cm, em duas épocas (antes e depois da aplicação de vinhaça), totalizando 72 amostras de solo por área. Também em cada ponto de coleta foram retiradas plantas e com auxílio de uma tesoura foram coletadas amostras de raízes. As amostras de solo e raiz foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas para o Laboratório de Fitonematologia e Mecânica dos Solos e Aproveitamento de Resíduos, ambos da UFRPE, para análises químicas, nematológicas e caracterização física do solo.

De cada amostra de solo, foram retiradas sub-amostras para as avaliações químicas, físicas e nematológicas. A determinação da umidade foi realizada em estufa à 105 °C. Para avaliação da evolução do C-CO<sub>2</sub> do solo utilizou-se a metodologia descrita por Grisi (1978), encubando-se o solo em recipiente fechado na presença de 10 ml de KOH 0,5N. Após incubação (25±2°C) por 15 dias, o CO<sub>2</sub> absorvido foi determinado por titulação com HCL 0,1N, usando-se fenolftaleína e metilorange como indicadores. Os valores de CO<sub>2</sub> acumulados foram expressos em mg de C.

As amostras de solo foram secas ao ar e posteriormente destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm para realização das seguintes análises: pH em água com o potenciômetro na relação solo:solução de 1:2,5; cálcio (Ca<sup>2+</sup>) e magnésio (Mg<sup>2+</sup>) trocáveis extraídos em KCL 1 mol L<sup>-1</sup>, por espectrometria de absorção atômica; sódio (Na<sup>+</sup>) e potássio (K<sup>+</sup>) trocáveis extraído em solução de Mehlich 1, por fotometria de chama; H+Al por titulometria. Todas conforme metodologia adotada pela EMBRAPA (1997). A partir dos resultados foi determinada a CTC pela equação CTC = Ca + Mg + Na + K + (H+Al).

A caracterização física do solo (Tabela 1) foi realizada no Laboratório de Mecânica dos Solos e Aproveitamento de Resíduos UFRPE, de acordo com os métodos descritos pela EMBRAPA (1997). A densidade solo (Ds) foi determinada pelo método do anel volumétrico; a densidade de partículas, pelo método do balão volumétrico com álcool; e a granulometria, pelo método do densímetro de Bouyococ. A porosidade total (Pt) foi calculada pela expressão:  $Pt = 1 - (Ds/Dp)$ .

Tabela 1 - Caracterização física do solo para as duas áreas experimental na usina Giasa.

Areas	Ds — kg dm <sup>-3</sup> —	DP	Ptotal —— % ——	Øv	Areia ———— g kg <sup>-1</sup> ————	Silte	Argila	Textura
1	1,61	2,64	38,95	9,02	952,18	24,21	23,61	Areia
2	1,62	2,67	39,10	15,59	894,44	27,33	78,23	Areia

Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; Ptotal: porosidade total; Øv: umidade volumétrica.

Para as análises nematológicas, as amostras de solo foram homogeneizadas e tomadas sub-amostras de 300 cm<sup>3</sup> de solo, das quais foram extraídos os nematóides segundo metodologia descrita por Jenkins (1964). As suspensões obtidas foram colocadas em frascos de vidro com tampas plásticas, e acondicionados sob refrigeração a temperatura de ± 4 °C. A estimativa populacional foi obtida através da contagem em

lâminas de Peters, com o auxílio de um microscópio óptico, em duas repetições, e os resultados computados em número de espécimes por 300 cm<sup>3</sup> de solo. Os nematóides foram classificados quanto ao hábito alimentar em cinco grupos tróficos (parasitos de planta, bacteriófagos, micófagos, predadores e onívoros) baseado na morfologia do estoma e esôfago (Yates et al., 1993). Os bacteriófagos, micófagos, predadores e onívoros foram considerados de vida livre. Os parasitos de planta foram identificados ao nível de gênero, de acordo com a chave de Mai et al. (1996), e os gêneros agrupados quanto ao tipo de parasitismo (ectoparasitos e endoparasitos). 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 análises estatísticas, os dados foram submetidos à análise de medidas repetidas com o tempo, e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Visando avaliar a possível relação entre as variáveis químicas do solo e população de nematóides, foi determinado o grau de correlação linear simples entre os pares de dados obtidos pelo coeficiente de correlação de Pearson a 5% de probabilidade. Para ambas as análises, foi utilizado o programa SAS – Statistical Analytical System (SAS, 2009).

Para as análises geoestatísticas, foi aplicada a análise estatística descritiva (média, desvio padrão, erro padrão da média, mínimo, máximo e coeficiente de variação) e verificada a aderência dos dados a distribuição Normal, segundo o teste de Kolgomorov-Smirnov. 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) respectivamente, estimados por:  $Li = Qi - 1,5Ai$  e  $Ls = Qs + 1,5Ai$ , sendo Qi e Qs os quartis inferior e superior, respectivamente, e Ai a amplitude interquartílica. Para análise de variabilidade espacial, foi utilizada a ferramenta geoestatística Geo-EAS (Englund & Sparks, 1991). Após a obtenção dos semivariogramas experimentais, foi realizado o ajuste dos dados a um modelo teórico testado (exponencial, gaussiano e esférico).

O grau dependência espacial foi avaliado a partir da classificação proposta por Cambardella et al. (1994), na qual um determinado atributo pode ser considerado como exibindo forte, moderada ou fraca dependência espacial, em função da relação entre o efeito pepita e o patamar de seu semivariograma ajustado. Valores inferiores a 25%

caracterizam forte dependência espacial, entre 25% e 75% moderada, enquanto que acima de 75% fraca dependência. Os parâmetros da função de semivariância com ajuste dos modelos teóricos foram usados na construção de mapas de isolinhas das propriedades estudadas pelo processo de krigagem, visando definir zonas de variabilidade semelhantes e dividir a área por sub-regiões mais homogêneas. Para confecção dos mapas de isolinhas foi utilizado o software Surfer 8.0.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2, estão apresentados os valores do pH,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  do solo coberto pelo palhicho da cana, antes e após 40 dias da aplicação da vinhaça para as duas áreas de estudo. Houve um aumento significativo do pH na área 2, após a adição da vinhaça, diferentemente do que foi apresentado na área 1 cujo valor permaneceu inalterado estatisticamente. Trabalhando com doses de vinhaça aplicadas ao solo, equivalentes a 200 e 400  $m^3 ha^{-1}$ , e tempo de incubação de 0, 20 e 40 dias, Cambuim (1983) observou que os efeitos mais pronunciados em alguns atributos ocorreram dentro dos primeiros 30 cm de profundidade, onde foi mais efetivo o aumento do pH, além dos teores trocáveis de  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  e redução nos teores de sódio ( $Na^+$ ) trocável, constatando-se, via de regra, que o período de incubação atuou mais diretamente sobre esses efeitos do que as doses testadas.

Segundo Silva & Ribeiro (1998) o pH dos solos tratados com vinhaça aumenta, principalmente em áreas cultivadas há mais tempo, embora nos primeiros dez dias após sua aplicação o pH sofra uma redução considerável para, posteriormente, elevar-se abruptamente, podendo alcançar valores superiores a sete; este efeito está ligado à ação dos microrganismos (Rossetto, 1987). A disposição de resíduos da indústria suco-alcooleira no solo, particularmente da vinhaça, vem de longa data (Amaral, 1917). Entretanto, os primeiros estudos que discutem os efeitos desse efluente no solo só foram efetuados mais de três décadas após por Almeida et al. (1950). Estes autores mostraram que, ao contrário do que se pensava, o pH do solo aumenta com a aplicação do resíduo.

Houve elevação significativa nos valores de  $K^+$ , após 40 dias da aplicação da vinhaça no solo, nas duas áreas estudadas (Tabela 2). Esse resultado corrobora com aqueles encontrados em inúmeros estudos (Cambuim, 1983; Glória & Orlando Filho,

1983; Sengik et al., 1988; Brito et al., 2005; Brito & Rolim, 2005; Brito et al., 2009; Bebé et al., 2009; Bianchi, 2010).

Tabela 2 – Efeito da aplicação de vinhaça nos atributos químicos (pH,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) do solo cultivado com cana-de-açúcar e coberto com o palhicho, em função do tempo de aplicação para as duas áreas de estudo.

Área	pH		$K^+$		$Na^+$		$Ca^{2+}$		$Mg^{2+}$	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
1	5,31 A	5,39 A	0,06 B	0,12 A	0,06 A	0,04 B	1,13 A	1,34 A	0,31 B	0,43 A
2	5,23 B	5,47 A	0,17 B	0,28 A	0,05 A	0,04 B	0,70 A	0,50 B	0,34 A	0,30 A

\*Médias seguidas de mesmas letras, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

\*\*Valores de  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  expressos em  $cmol_c dm^{-3}$

Diferentemente do que ocorreu com o  $K^+$ , a aplicação da vinhaça ao solo provocou redução significativa nos valores de  $Na^+$  nas duas áreas (Tabela 2). Brito et al. (2005), avaliando a qualidade do lixiviado e o comportamento de três tipos de solo (Nitossolo, Argissolo e Espodossolo) após os períodos de 30 e 60 dias da aplicação de vinhaça, também verificaram que para o Argissolo, os teores de  $Na^+$  sofreram decréscimo de concentração nos dois (0-28 e 28-50 cm) primeiros horizontes do solo, quando comparados com os teores encontrados na testemunha. Os autores relataram que isso ocorreu, provavelmente, por conta da competição pelos sítios de troca deste solo, onde o  $K^+$ , existente em maiores quantidades na vinhaça, deve ter expulsado o  $Na^+$ .

Com relação aos valores  $Ca^{2+}$  no solo, a área 2 demonstrou redução significativa após a adição da vinhaça. Essa redução deve ter ocorrido em função da maior quantidade do  $K^+$  decorrente da aplicação da vinhaça, pois este pode estar deslocando para a solução do solo parte dos íons  $Ca^{2+}$ , adsorvido nos sítios de troca, tornando-os mais suscetíveis a lixiviação (Nunes et al., 1982).

Diferentemente do que aconteceu para o  $Ca^{2+}$ , a redução do valor de  $Mg^{2+}$  na área 2, não foi significativa. Ao contrário da área 1, onde a vinhaça parece ter contribuído para elevação significativa do valor de  $Mg^{2+}$  nessa área (Tabela 2).

A redução do  $Ca^{2+}$  pode estar associada às características do solo que, por apresentar perfil extremamente arenoso e conseqüentemente baixa CTC (Tabela 1), tem seu poder de retenção de cátions diminuído nas camadas mais superficiais. Cambuim (1983), em experimento com duas doses de vinhaça em colunas com amostras de Neossolo Quartzarênico, afirmou que a lixiviação de cálcio, magnésio e potássio, ocorreu quase na mesma proporção das doses aplicadas. Por outro lado, Brito & Rolim

(2005), utilizando colunas de PVC contendo solo em cinco profundidades distintas, observaram que as concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  não apresentaram diferença considerável após aplicação de 0, 350 e 700  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  de vinhaça.

Na área 1, o aumento nos valores da SB (Tabela 3) não foi suficiente para aumentar de forma significativa os valores de CTC e V. O contrário ocorreu na área 2, que apresentou redução significativa no valor de SB, possivelmente em função da redução do  $\text{Ca}^{2+}$  (Tabela 2), após a aplicação do resíduo. Como na área 1, a mudança no valor de SB da área 2 não influenciou a CTC do solo, mas provocou redução significativa no valor de V, o qual é obtido pela razão entre SB e a CTC.

Tabela 3 – Efeito da aplicação de vinhaça nos atributos químicos ( $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ ), SB, CTC, V e m) do solo cultivado com cana-de-açúcar e coberto com o palhicho, em função do tempo de aplicação para as duas áreas de estudo.

Áreas	$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$		SB		CTC		V		m	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
1	2,28 A	2,35 A	1,56 B	1,94 A	3,84 A	4,29 A	42,25 A	46,24 A	8,95 A	5,11 B
2	1,82 B	1,95 A	1,27 A	1,12 B	3,09 A	3,07 A	41,46 A	37,03 B	10,38 A	9,50 A

\*Médias seguidas de mesmas letras, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

\*\*Valores de ( $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$ ), SB (soma de base), CTC (capacidade de troca catiônica) expressos em  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ; e valores de V e m expressos em (%)

A matéria orgânica proveniente da aplicação da vinhaça, como também do palhicho da cana ao longo dos 40 dias, favoreceu o aumento da MO do solo na área 1, não sendo verificada mudança significativa para esta variável na área 2 (Tabela 4). A matéria orgânica pode ser considerada fator importante na produtividade agrícola devido à influência que exerce sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Azeredo & Manhães, 1983). 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.

São atribuídos à matéria orgânica diversos efeitos sobre as populações de nematóides parasitos de plantas no solo. Almeida (2008) relata que o principal efeito é a multiplicação de populações de inimigos naturais dos nematóides, como fungos e bactérias nematófagas, nematóides predadores e protozoários. Ocorre ainda a liberação de compostos tóxicos com ação nematicida, como o ácido butírico e ácidos graxos voláteis.

Mesmo não havendo mudança significativa no valor de MO na área 2 após a aplicação da vinhaça ao solo, houve redução significativa, cerca de 51%, nas densidades

populacionais dos nematóides do gênero *Pratylenchus* na raiz. O mesmo não ocorreu com *Meloidogyne* na raiz e evolução do C-CO<sub>2</sub>, que não tiveram seus valores alterados estatisticamente (Tabela 4).

Mesmo com o acréscimo significativo do conteúdo de MO na área 1, esta não influenciou diretamente a densidade populacional de *Pratylenchus* e *Meloidogyne* na raiz. Esse resultado pode estar relacionados com o fato da variedade SP89-1011, implantada nesta área, ser boa hospedeira desses gêneros. Chaves et al. (2009), ao monitorarem as densidades populacionais de nematoides parasitos de planta em tabuleiros costeiros do litoral norte de Pernambuco em variedades comerciais, observaram que esta variedade estava entre as que apresentaram as maiores densidades populacionais de *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus* sp., com populações acima do nível de dano.

A maior quantidade de nematóides dos gêneros *Meloidogyne* e *Pratylenchus* pode ser conseqüência do tempo de implantação da cultura nas áreas estudadas, possibilitando maior desenvolvimento do sistema radicular da variedade como maior tempo de cultivo, favorecendo maior população desses nematóides, quando comparado um sistema radicular menos desenvolvido.

Pedrosa et al. (2005), avaliando o efeito de diferentes doses (0, 250, 500, 1000 e 1500 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) de vinhaça sobre a eclosão e reprodução *M. incognita* (Kofoid & White) Chitwood e *M. javanica* (Treb) Chitwood, concluíram que o efeito supressivo do resíduo foi diretamente proporcional ao volume de vinhaça adicionado. Para o manejo de *M. incognita* em cana-de-açúcar, recomendaram dosagem equivalente a 500 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, por não afetar o desenvolvimento das plantas (parte aérea e sistema radicular), mas inibir a reprodução do nematóide em relação à testemunha.

Tabela 4 – Efeito da aplicação de vinhaça nos valores de Matéria orgânica, *Meloidogyne* na raiz, *Pratylenchus* na raiz e Evolução do C-CO<sub>2</sub> do solo cultivado com cana-de-açúcar e coberto com o palhico, em função do tempo de aplicação para as duas áreas de estudo.

Área	Matéria orgânica		<i>Meloidogyne</i> na raiz		<i>Pratylenchus</i> na raiz		Evolução do C-CO <sub>2</sub>	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
1	1,30 B	1,56 A	33,25 A	54,78 A	54,59 A	52,28 A	12,36 A	10,21 A
2	1,18 A	1,14 A	106,89 A	80,15 A	114,96 A	56,69 B	11,62 A	10,96 A

\*\*Médias seguidas de mesmas letras, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

\*\*Valores de Matéria orgânica (20-40 cm) e Evolução de C-CO<sub>2</sub> expressos em (%) e (mgC) respectivamente

Analisando o comportamento das populações de nematóides (Tabela 5), verifica-se que, na área 1, o efeito da vinhaça restringiu-se aos ectoparasitos, os quais diminuíram de forma significativa após 40 dias da aplicação da vinhaça sobre o solo coberto pelo palhizo. Na área 2, o efeito da vinhaça foi mais pronunciado, provocando redução significativa em todos os grupos, inclusive no total de nematóides.

As maiores densidades populacionais de nematoides na área 2 (Tabela 5) reforça a hipótese de que o tempo de implantação da cultura afeta a quantidade de nematóide no solo e raiz. Após, em média, quatro ou cinco cortes consecutivos, a lavoura canavieira precisa ser renovada (CNA & SENAR, 2007). Na prática, contudo, a renovação é feita geralmente em função exclusiva da produtividade da cultura, estendendo-se para maiores períodos de exploração. A não redução dos nematóides após a aplicação da vinhaça pode também estar relacionada ao fato da variedade SP89-1011 comportar-se como boa hospedeira para os nematóides.

Alternativas recomendadas para estratégias de manejo consistem na utilização de variedades resistentes e/ou rotação de cultura. Segundo Fancelli (2003), a utilização de resistência é, sem dúvida, uma das alternativas mais desejáveis considerando sua compatibilidade com outras práticas de manejo e não ser prejudicial ao ambiente. A rotação de culturas pode afetar a sobrevivência de pragas e patógenos de plantas. A supressão é devida à quebra do ciclo desses organismos por um determinado tempo, o que dependerá basicamente das condições ambientais, além do nível de infestação e da espécie de praga ou patógeno considerada, além da presença de outros hospedeiros na área (Altieri, 1987; Johnson, et al., 2000; Ploeg, 2000; McSorley, 2001).

Tabela 5 – Efeito da aplicação de vinhaça nos valores de Endoparasitas, Ectoparasitas, Vida livre e Total de nematóides do solo cultivado com cana-de-açúcar e coberto com o palhizo, em função do tempo de aplicação para as duas áreas de estudo.

Área	Endoparasitos		Ectoparasitos		Vida livre		Total de nematóides	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
1	37,17 A	76,46 A	163,06 A	137,50 B	39,76 A	43,85 A	239,99 A	257,81 A
2	106,18 A	12,85 B	176,85 A	135,03 B	72,72 A	14,04 B	355,75 A	161,92 B

\*Médias seguidas de mesmas letras, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Os coeficientes de correlação significativa entre observado entre os nematoides e as variáveis químicas estudadas são apresentados na Tabela 6. Correlações negativas com o  $K^+$  foram observadas entre os nematóides do gênero *Meloidogyne* na raiz ( $r = -$

0,17) e o total de nematóides no solo ( $r = -0,06$ ). Essa relação inversa também foi verificada no estudo realizado por Pinheiro *et al.* (2009), que na tentativa de avaliar a reprodução do nematoide do cisto (*Heterodera glycines*) em plantas de soja, cultivadas em substrato contendo diferentes doses de  $K^+$ , observaram decréscimo linear significativo para número de cistos/vaso e de ovos/cisto, de acordo com o incremento das doses de  $K^+$  no solo. Embora sejam escassos os estudos sobre como os nutrientes minerais afetam as reações de defesa de plantas a patógenos, sabe-se que o  $K^+$  aumenta a espessura da parede celular em células da epiderme, promove rigidez da estrutura dos tecidos e também contribui para uma rápida recuperação dos tecidos injuriados (Huber & Arny, 1985; Marschner, 1995).

Os nematoides endoparasitas do solo (ENDOS), apresentaram um maior número de correlações,  $Na^+$  ( $r = 0,20$ ),  $Ca^{2+}$  ( $r = 0,20$ ), V ( $r = 0,18$ ), MO ( $r = 0,20$ ) e m ( $r = -0,17$ ), demonstrando maior sensibilidade, desse grupo, a esses atributos no solo. Esses resultados se assemelham aos encontrados por Matos *et al.* (2011), que na tentativa de correlacionar variações nos atributos químicos dos solos e comunidades de nematóides em função da fertirrigação com vinhaça em áreas de encosta e tabuleiro cultivadas com cana-de-açúcar, verificaram correlações significativas entre cálcio e parasitos de planta ( $r = 0,17$ ) e entre cálcio e total de nematóides ( $r = 0,21$ ). Da mesma forma, esses autores relataram correlações entre saturação de bases e parasitos de planta ( $r = 0,16$ ) e saturação de bases e total de nematóides ( $r = 0,17$ ).

Ao estudar características do solo em reboleiras de soja (*Glycine max* L.) parasitadas com *Heterodera glycines* Ichinohe, Sologuren & Santos (1997) observaram correlações positivas entre densidades de cistos viáveis e de juvenis de 2º estágio ( $J_2$ ) com cálcio, magnésio e saturação de bases. Pinheiro *et al.* (2009) obtiveram correlações positivas entre cálcio e densidades de cistos viáveis,  $J_2$ , densidades de cistos não viáveis e ovos por cistos de *H. glycines*.

O total de nematóides na raiz correlacionou-se negativamente com o  $Ca^{2+}$  ( $r = -0,19$ ) e SB ( $r = -0,17$ ). O  $Na^+$  se correlacionou negativamente ( $r = -0,17$ ) com o total de nematóides no solo e de forma positiva ( $r = 0,18$ ) com o total geral de nematóides.

Tabela 6 - Coeficientes de correlação significativa entre tempo,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ , SB, V, m, MO e nematoides no solo sob cultivo mecanizado coberto com palhço da cana-de-açúcar.

	TEMPO	K	Na	Ca	SB	v	m	MO
RMELO		-0,17*						

VL	-0,19*						
ENDOS			0,20*	0,20*		0,18*	-0,17*
TOTS	-0,18*	-0,06*	-0,17*				
TOTR				-0,19*	-0,17*		
TOTG	-0,20*		0,18*				

\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pela análise de correlação de Pearson;

\*\*RMELO: *Meloidogyne* na raiz, VL: Vida Livre, ENDOS: Endoparasitos no solo, TOTS: Total de nematóides no solo, TOTR: Total de nematóides na raiz, TOTG: Total de nematóides geral.

Os valores de coeficiente de assimetria e curtose em uma distribuição normal devem estar mais próximo de 0 e 3, respectivamente, segundo Snedecor & Cochran, (1967). Dessa forma, analisando os resultados da estatística descritiva para  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , e  $\text{K}^+$  antes e após a aplicação da vinhaça na área 1 (Tabelas 7), verifica-se que o  $\text{Na}^+$  foi o que mais se aproximou de tal condição. Para área 2 (Tabela 8), o  $\text{Ca}^{2+}$  foi o que mais se aproximou da condição estabelecida por Snedecor & Cochran (1967). A partir do teste de Kolmogorov Smirnov ficou indicado a normalidade dos dados ao nível de 1% de significância para  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  na área 1 e  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  para área 2.

Com base nos limites de CV propostos por Warrick & Nielsen (1980), para a classificação de propriedades do solo, observa-se, que para área 1 os dados para os três elementos apresentaram variação média ( $12\% < \text{CV} < 60\%$ ) antes à aplicação da vinhaça. Depois da aplicação, apenas o  $\text{Na}^+$  apresentou baixa variabilidade dos dados ( $12\% < \text{CV}$ ), mantendo variabilidade média para os outros elementos. Para área 2, o  $\text{Ca}^{2+}$  antes e após a aplicação da vinhaça, como também o  $\text{K}^+$  após a aplicação, demonstraram média variabilidade (Tabela 8).

O aumento da variabilidade para o  $\text{K}^+$  na área 1 deve estar associado à alta concentração deste elemento na vinhaça que, ao ser aplicada ao solo via canhão hidráulico, sistema com baixa uniformidade de distribuição (Urchei, 2001), pode ter contribuído para o aumento da variabilidade.

Silva & Chaves (2001), avaliando os teores de potássio em Alissolos em Petrolina, Pernambuco, também verificaram média variabilidade ( $\text{CV} = 37,03$ ) para este elemento. Mendes et al. (2007), estudando a variabilidade espacial de características químicas de um Cambissolo cultivado com mamão no semi-árido do Rio Grande do Norte, verificaram valores de CV para  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  de 50,9% e 29,3%, respectivamente, o que também indica média variabilidade dos dados, no entanto, o valor de CV para o  $\text{Na}^+$  foi de 64,7%, demonstrando alta variabilidade dos dados nas condições de estudo.

Os melhores ajustes para os semivariogramas foram obtidos com o modelo esférico, concordando com vários trabalhos, que mostram ter este modelo melhor adaptação ao semivariograma das propriedades químicas do solo, quando estudadas do

ponto de vista espacial (Trangmar et al., 1985; Souza, 1992; Cambardella et al., 1994; Salviano et al., 1998; Oliveira et al., 1999).

Quando não foi possível identificar a estrutura da variância, como no caso do teor de  $Mg^{2+}$ , nas duas áreas, e o  $Na^+$  na área 2, assumiu-se que o semivariograma apresentou efeito pepita puro (EPP). Dessa forma, assumiu-se que a distribuição dessas variáveis foi completamente ao acaso, indicando independência entre amostras e, conseqüentemente, assumindo-se que os métodos da estatística clássica podem ser aplicados, sendo a média aritmética um valor que representa bem o conjunto de dados. Com relação ao  $Mg^{2+}$  os resultados corroboram com Mendes et al. (2007) que também encontraram EPP para este elemento.

O efeito pepita constitui medida importante do semivariograma e indica variabilidade não explicada, que pode ser devida a erros de medidas ou microvariação não detectada, considerando a distância de amostragem utilizada (Cambardella et al., 1994). O efeito pepita pode ser expresso como percentagem do patamar, com o objetivo de facilitar a comparação do grau de dependência espacial das variáveis em estudo (Trangmar et al., 1985).

Analisando o grau de dependência espacial dessas variáveis, a partir da classificação proposta por Cambardella et al. (1994), verificou-se fraco grau de dependência para  $Ca^{2+}$  e  $K^+$  e moderado grau para  $Na^+$ , antes da aplicação da vinhaça na área 1 (Tabela 7). Após a aplicação do resíduo nesta área, houve aumento no grau de dependência espacial para  $Ca^{2+}$  e  $K^+$ , alterando-os para moderado grau de dependência. O  $Na^+$  permaneceu com o mesmo grau de dependência. Na área 2, como na área 1, o moderado grau de dependência para  $Ca^{2+}$  e  $K^+$  após aplicação da vinhaça voltou a se repetir, sendo que para o  $Ca^{2+}$  esse grau de dependência já existia antes mesmo da aplicação. Os resultados divergem dos encontrados por Mendes et al. (2007), que encontraram forte grau de dependência espacial para esses elementos.

Foram apresentados valores de alcance maiores que 10 m, distância utilizada no espaçamento da malha experimental. O alcance da dependência espacial é um parâmetro importante no estudo do semivariograma, uma vez que indica a zona de influência de uma amostra, ou seja, define a distância máxima até onde o valor de uma variável possui relação de dependência espacial com o seu próximo (Guerra, 1988). Dessa forma, o valor do alcance de determinada variável garante que todos os vizinhos situados dentro de um círculo com esse raio são tão semelhantes que podem ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre eles (Vieira & Lombardi Neto, 1995).

Segundo Oliveira et al. (1999) o conhecimento dos valores do alcance e as localizações das áreas onde estão concentrados os maiores e/ ou menores valores de determinada variável química, são importantes para o planejamento do manejo da fertilidade do solo, tanto na agricultura convencional como na agricultura de precisão.

Os mapas de isolinhas para  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ , antes e após a aplicação da vinhaça na área 1, estão apresentadas nas Figuras 2 e 3; para o  $\text{Ca}^{2+}$  antes e após e o  $\text{K}^+$  após aplicação da vinhaça na Figura 4. Segundo Mendes et al. (2007), as linhas fechadas e próximas para este tipo de mapa, caracterizam a área com maior variabilidade, enquanto a presença de linhas espaçadas é condição de uma menor variabilidade. Comparando-se os mapas para cada elemento, antes e após a aplicação (Figura 2, 3 e 4), nota-se que não há semelhança no padrão de distribuição espacial entre os mapas, indicando que a aplicação da vinhaça associada às características do solo, que apresenta baixa CTC, pode ter interferido na dinâmica desses elementos na área.

Tabela 7 – Estatística descritiva para atributos cálcio, sódio e potássio e parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados aos dados experimentais na área 1, antes e após 40 dias da aplicação da vinhaça.

Estatística descritiva	Cálcio		Sódio		Potássio	
	antes	após	antes	após	antes	após
Média	1,08	1,15	0,06	0,04	0,05	0,11
Desvio Padrão	0,39	0,39	0,01	0,01	0,02	0,05
Mediana	1,00	1,10	0,05	0,04	0,05	0,11
CV (%)	35,59	33,77	20,05	14,20	38,14	44,57
Assimetria	0,50	0,35	0,79	0,67	0,37	0,71
Curtose	-0,97	-0,37	1,29	1,12	-0,70	0,99
Quartil superior	0,80	0,90	0,05	0,04	0,03	0,07
Quartil inferior	1,30	1,35	0,06	0,05	0,06	0,15
Amplitude total	0,50	0,45	0,01	0,01	0,03	0,08
Parâmetros de ajuste do semivariograma						
Efeito Pepita (Co)	0,13	0,11	0,68	0,23	2,73	18,77
Patamar (Co + C1)	0,17	0,17	1,06	0,34	3,47	26,54
Alcance	13,90	15,80	24,33	16,46	13,47	14,31
Co/(Co + C1)	76,36	67,58	64,13	66,80	78,51	70,72
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico

Co/ Co + C1- grau de dependência espacial de Cambardella (%); CV - Coeficiente de Variação

Tabela 8 – Estatística descritiva para atributos cálcio, sódio e potássio e parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados aos dados experimentais na área 2, antes e após 40 dias da aplicação da vinhaça.

Estatística descritiva	Cálcio		Potássio
	antes	após	após
Média	0,68	0,50	0,28
Desvio Padrão	0,15	0,16	0,06
Mediana	0,70	0,50	0,27
CV (%)	22,50	32,07	19,95
Assimetria	0,25	0,53	0,08
Curtose	1,41	-0,72	-0,15
Quartil superior	0,60	0,40	0,24
Quartil inferior	0,80	0,60	0,31
Amplitude total	0,20	0,20	0,07
Parâmetros de ajuste do semivariograma			
Efeito Pepita (Co)	0,02	0,014	0,16
Patamar (Co + C1)	0,03	0,03	0,29
Alcance	17,29	29,30	13,04
Co/(Co + C1)	75,48	59,93	56,99
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico

Co/ Co + C1- grau de dependência espacial de Cambardella (%); CV - Coeficiente de Variação

Assim como para os atributos químicos, para os nematóides também ficou indicada a normalidade dos dados ao nível de 1% de significância a partir do teste de Kolgomorov Smirnov. De maneira geral, ocorreu alta variabilidade, sendo a maior obtida pelos nematóides ectoparasitos. Diversos trabalhos em campo demonstram valores de CV semelhantes aos encontrados no presente estudo (OLIVEIRA et al., 2005; MARANHÃO, 2008; PINHEIRO et al., 2008; Cardoso, 2010; Matos et al., 2011).

Com base nas semivariâncias experimentais obtidas, ajustou-se o modelo esférico para todos os grupos de nematóides analisados. Foram observados alcances acima de 10 m, cujo valor mínimo foi de 12,76 para ectoparasitas antes da aplicação e, o valor máximo, de 18,02 para total de nematóides após aplicação da vinhaça, ambos na área 2 (Tabela 9). Portanto, a estatística clássica pode ser aplicada a partir de amostras coletadas acima destas distâncias.

Maranhão (2008), caracterizando a magnitude da dependência espacial das densidades populacionais de *Pratylenchus* sp. em raízes de cana-de-açúcar, nas condições do Nordeste, como também Caswell & Chellemi (1986), estudando a distribuição espacial de *Rotylenchulus reniformis* Linford & Oliveira, em abacaxi (*Ananas comusus* (L.) Merr.) no Havaí, encontram no modelo esférico o melhor ajuste para seus dados. Similarmente, Chen & Bird (1992) estudando a distribuição de

*Pratylenchus penetrans* (Coob) Chitwood & Oteifa, *Tylenchus maius* Andácssy e *Heterodera glycines* Ichinohe, em batata (*Solanum tuberosum* L.), obtiveram os melhores ajustes em suas estimativas através de modelos esféricos em seus semivariogramas. Entretanto Matos (2010) encontrou no modelo gaussiano o melhor ajuste do semivariograma experimental para *Meloidogyne* spp. na malha de 1×1 m e *P. zae* nas malhas de 1×1 e 50×50 m. Para *Meloidogyne* spp. na malha de 50×50 m o modelo exponencial apresentou o melhor ajuste. Matos (2010) também encontrou efeito pepita puro para *Meloidogyne* spp. e *P. zae* utilizando uma malha experimental com espaçamento de 10 m.

Tabela 9 – Estatística descritiva para os grupos de nematóides e parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados aos dados experimentais na área 1 após 40 dias da aplicação da vinhaça.

Estatística descritiva	Total nematóides	Ectoparasitos	Endoparasitos	Total nematóides	Ectoparasitos
	Área 1	Área 2			
	após	antes	Antes	após	após
Média	150,60	162,96	65,82	130,54	102,89
Desvio Padrão	111,29	129,12	47,55	119,36	102,51
Mediana	133,00	132,00	60,00	110,00	78,00
CV (%)	73,90	79,23	72,24	91,44	99,63
Assimetria	0,68	0,77	0,38	0,74	0,89
Curtose	0,45	-0,25	-0,47	-0,44	-0,25
Quartil superior	86,25	55,25	31,00	10,00	0,00
Quartil inferior	216,00	251,50	92,75	192,00	142,75
Amplitude total	129,75	196,25	61,75	182,00	142,75
Parâmetros de ajuste do semivariograma					
Efeito Pepita (Co)	13555,00	10860,80	1653,31	6374,06	1653,31
Patamar (Co + C1)	14674,99	15620,80	2246,62	7748,12	2246,62
Alcance	13,01	12,76	16,23	18,02	16,23
Co/(Co + C1)	92,37	69,52	73,59	82,27	73,59
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico

Co/ Co + C1- grau de dependência espacial de Cambardella (%); CV - Coeficiente de Variação

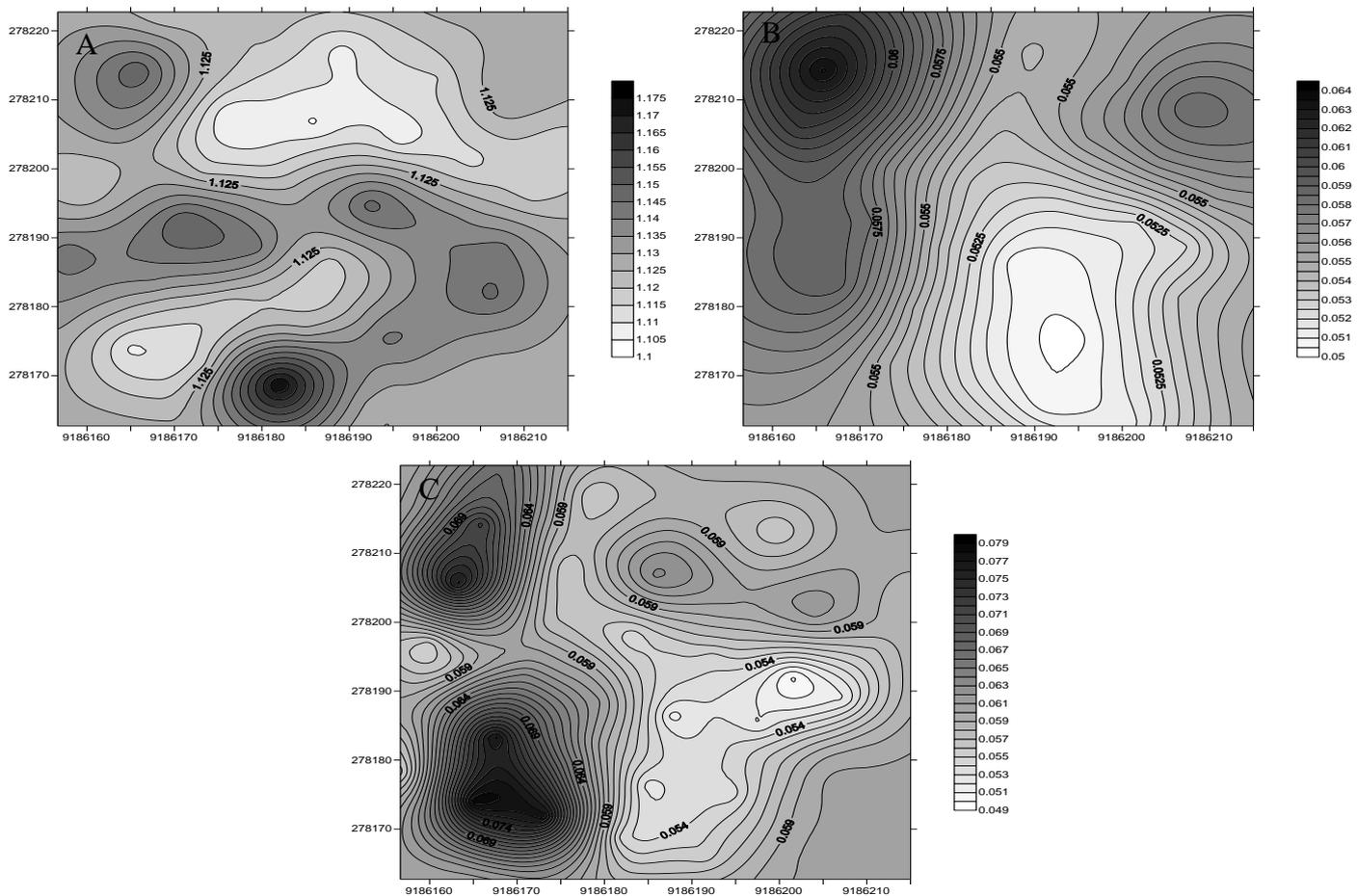
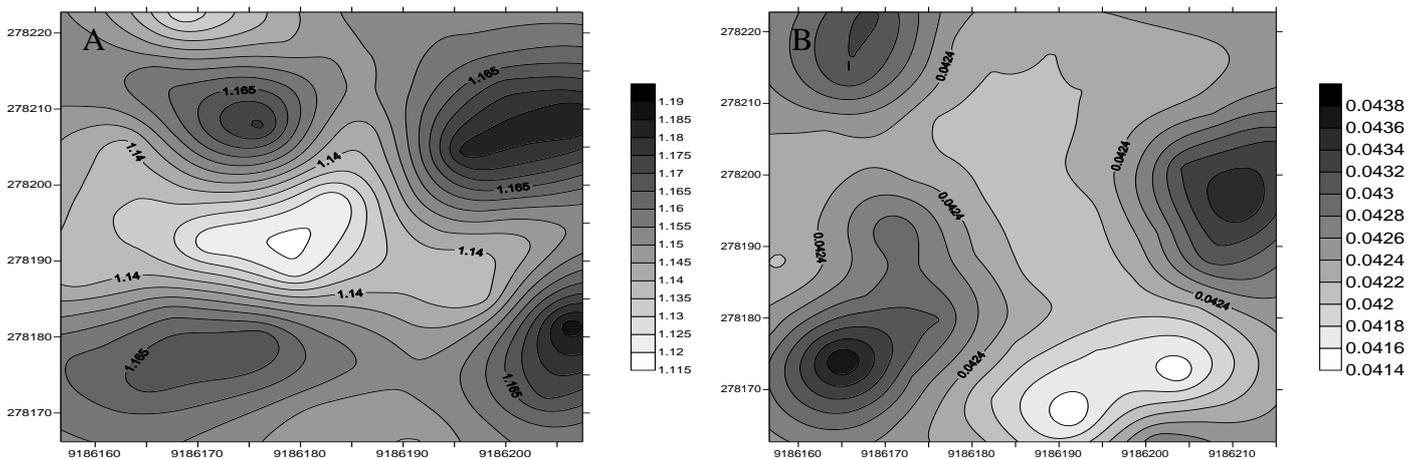


Figura 2 – Mapas de isolinhas para Cálcio (A), Sódio (B) e Potássio (C) na área 1, antes da aplicação da vinha.



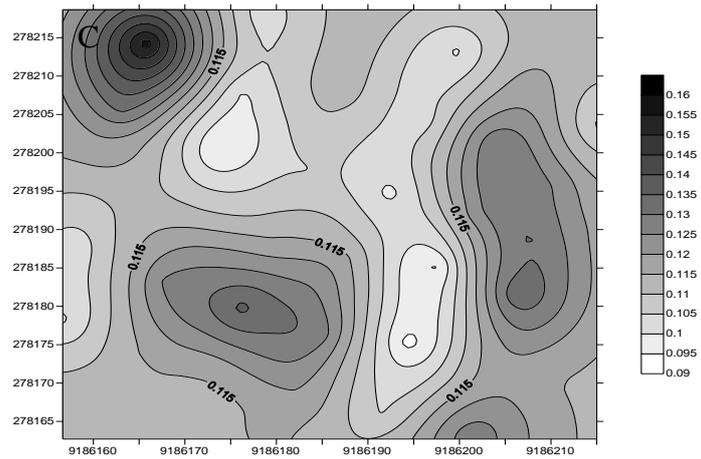


Figura 3 – Mapas de isolinhas para Cálcio (A), Sódio (B) e Potássio (C) na área 1, após 40 dias da aplicação da vinha.

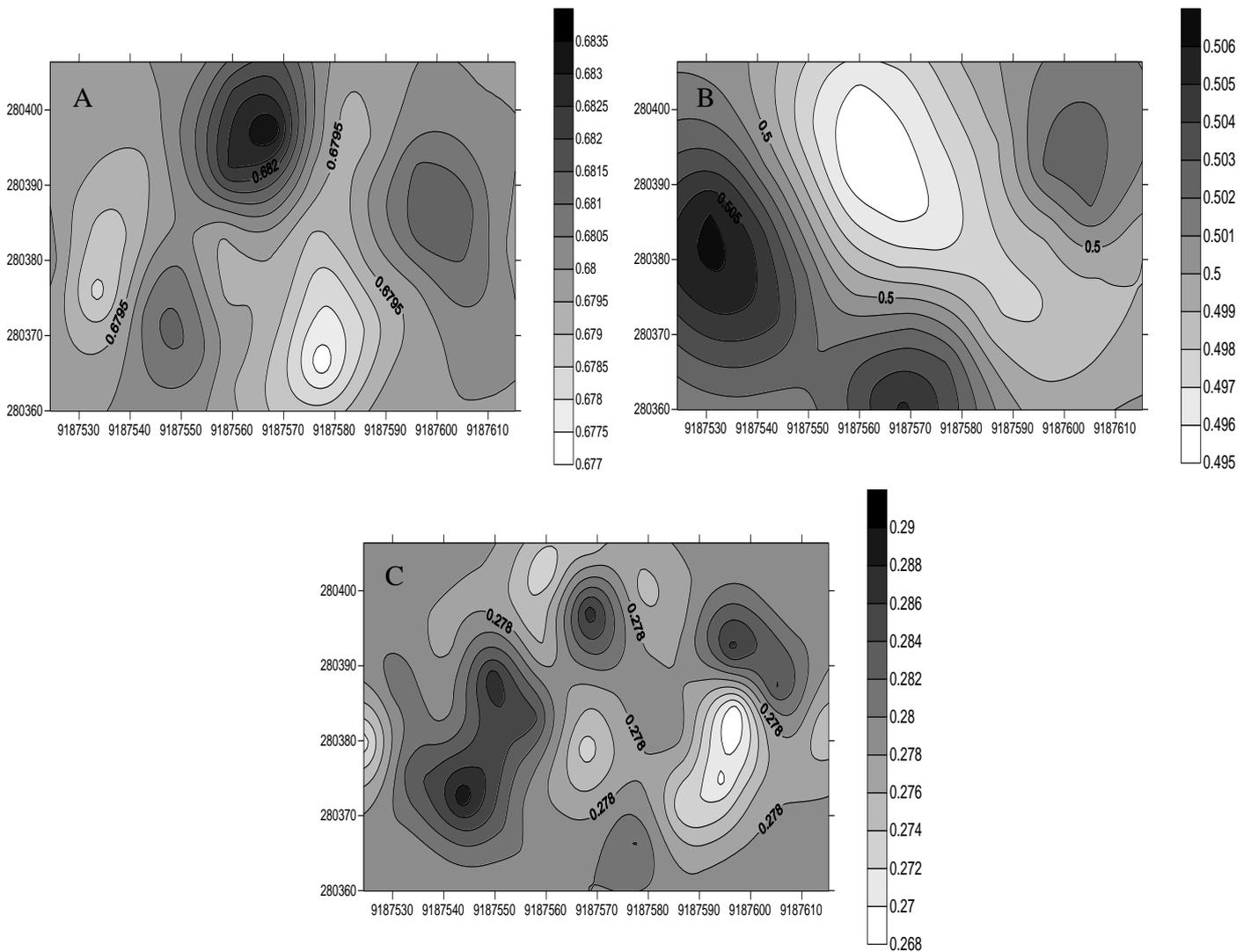


Figura 4 – Mapa de isolinhas para área 2, dos valores de Cálcio antes (A) e após (B) aplicação da vinha; e Potássio (C) após aplicação da vinha.

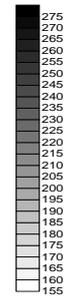
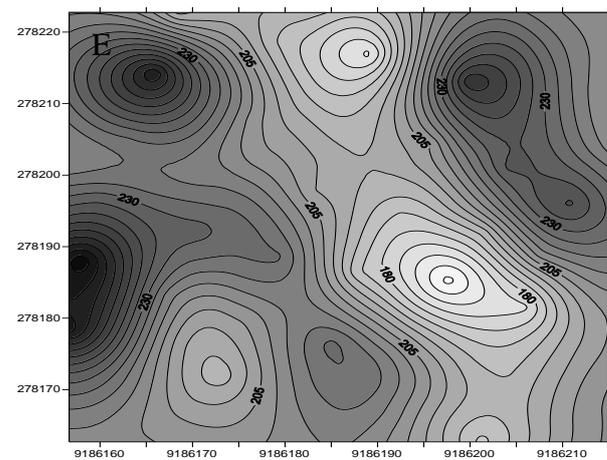
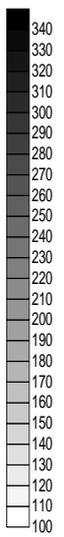
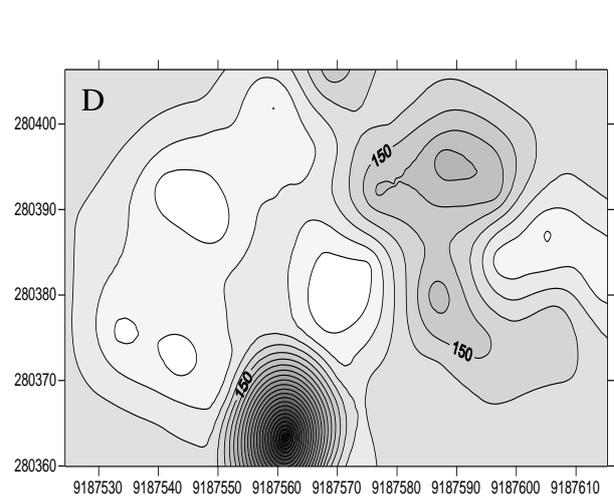
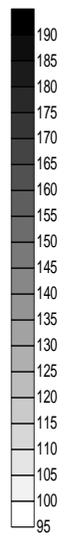
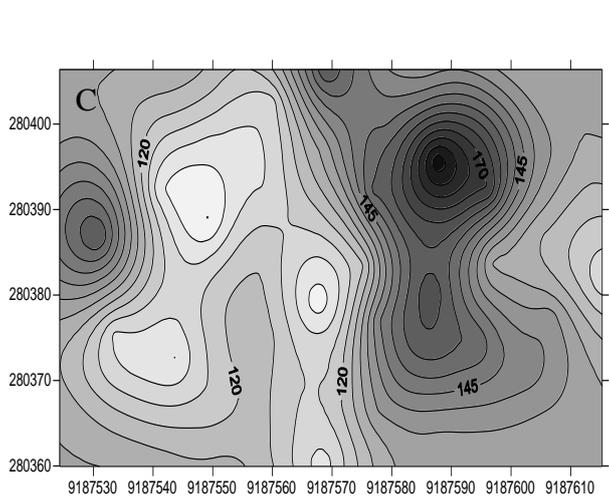
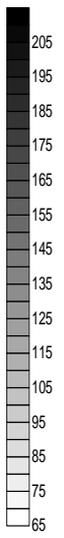
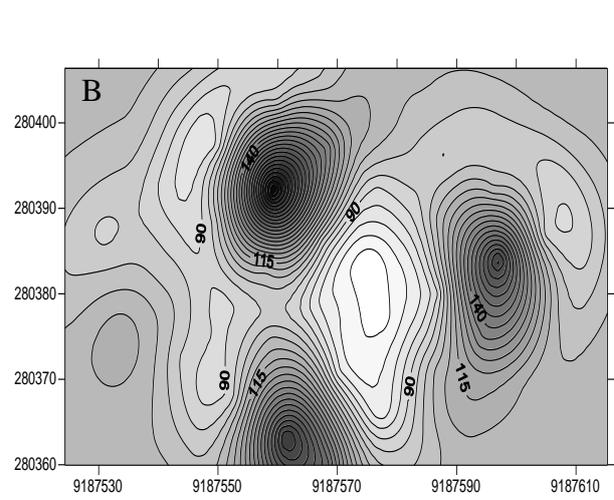
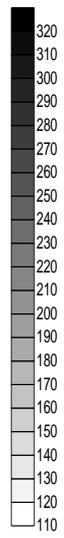
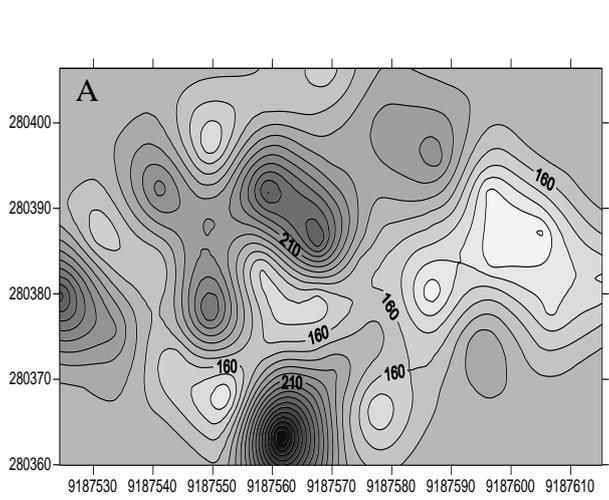


Figura 5 – Mapas de isolinhas para Ectoparasitas (A), Endoparasitas (B) antes da aplicação, na área 2. Total de nematóides (C), Ectoparasitas (D), na área 2, após 40 dias da aplicação da vinhaça. Total de nematóides (E) após aplicação da vinhaça na área 1.

## CONCLUSÕES

A adição de vinhaça ao solo, coberto com o palhicho da cana-de-açúcar, numa dosagem média de  $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , provocou modificações significativas nas propriedades químicas da camada (20-40 cm) do solo, entretanto, essa prática não melhorou sua fertilidade, após 40 dias.

Os elementos  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  apresentaram uma relação inversa, onde o aumento do K provocou a diminuição do Na, na camada de 20-40 cm do solo, após a aplicação da vinhaça.

Os nematóides se apresentaram sensíveis aos atributos químicos do solo, indicando que, mesmo de forma indireta, se apresentam como bons indicadores da atividade microbiana do solo em função desses atributos.

Os valores de alcance encontrados acima de 10m, tanto para os valores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ , como para os grupos de nematóides estudados, indicam a que a amostragem dos solos nas condições de estudo podem ser realizadas com espaçamentos a partir dessa distância.

## LITERATURA CITADA

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, n.26, p.27-34, 2002.

Almeida, J. R.; Ranzani, G.; Valsecchi, O. O Emprego da Vinhaça na Agricultura. Instituto Zimotécnico, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1950.

Altieri, M. A. Agroecology: the scientific bases of alternative agriculture. ed. Boulder: Westview Press, 1987. 227p.

- Amaral, A. P. A vinhaça como adubo. B. Agric., v.18, p.125-131, 1917.
- Azeredo, D. F.; Manhães, M. S. Adubação orgânica. In: Orlando Filho, J. Nutrição e adubação da cana de açúcar no Brasil. Piracicaba: IAA/Planalsucar, 1983, p.227-264.
- Bayer, C.; Mielniczuk, J. Dinâmicas e função da matéria orgânica. In: Santos, G. A.; Camargo, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.9-26.
- Bebé, F. V.; Rolim, M. M.; Pedrosa, M. E. R.; Silva, G. B.; Oliveira, V. S. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.13, p.781-787, 2009.
- Brito, F. L.; Rolim, M. M. Comportamento do efluente e do solo fertirrigado com vinhaça. Revista Agropecuária Técnica, v.26, p.78-88, 2005.
- Brito, F. L.; 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 Ciência Agrária, v.4, p.456-462, 2009.
- Brito, F. L.; Rolim, M. M.; Pedrosa, E. M. R. Teores de potássio e sódio no lixiviado e em solos após a aplicação de vinhaça. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, Suplemento, p.52-56, 2005.
- Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Pakin, T. B.; Karlem, D. L.; Turco, R. F.; Konopa, A. A. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, v.58, p.1501-1511, 1994.
- Cambuim, F. A. A ação da vinhaça sobre a retenção de umidade, pH, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes em solo arenoso. Recife: UFRPE, 1983. 133p. Dissertação Mestrado.
- Chaves, A.; Maranhão, R. V. L.; Pedrosa, E. M. R.; Guimarães, L. M. P.; Oliveira, M. K. R. Incidência de *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus* sp. em cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco, Brasil. Nematologia Brasileira, v.33, p.278-280, 2009.

CNA – CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL; SENAR – SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. Cana-de-açúcar: orientações para o setor canavieiro. Ambiental, fundiário e contratos. Brasil, 2007. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cana-de-acucar\\_orientacoes\\_para\\_o\\_setor\\_canavieiro\\_000fipw96tk02wyiv80z4s4733kvhu6q.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cana-de-acucar_orientacoes_para_o_setor_canavieiro_000fipw96tk02wyiv80z4s4733kvhu6q.pdf)>. Acesso em: 04 jan. 2012.

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.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

Englund, E.; Sparks, A. Geo-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software). Las Vegas: U.S. Environmental Protection Agency, 1991. EPA/600/4-88/033<sup>a</sup>.

Fancelli, M. Resistência e alternativas de controle de pragas. In: Simpósio Brasileiro sobre Bananicultura, 5, Workshop do Genoma Musa, 1, 2003, Paracatu. Anais... Cruz das Almas: Gráfica e Editora Nova Civilização, 2003. p.127-133.

Feigin, A.; Ravina, I.; Shalhevet, J. Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.

Freixo, A. A.; Machado, P. L. O. A.; Guimarães, C. M.; Silva, C. A.; Fadigas, F. S. Estoque de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.425-434, 2002.

Glória, N. A.; Orlando Filho, J. Aplicação de vinhaça como fertilizante. ed. São Paulo: Coopersucar, 1983. 38p.

Guerra, P. A. G. Geoestatística operacional. ed. Brasília: Ministério das Minas e Energia/ Departamento de Produção Mineral, 1988. 145p.

Hoaglin, D.C.; Mosteller, F.; Tykey, J. W. Análisis exploratória de datos: Técnicas robustas, un guia. Lisboa: Salamandra, 1983. 446p.

- Huber, D. M.; D. C. Arny. Interactions of potassium with plant disease. In: Munson, R. D. Potassium in Agriculture. Madison: ASA, CSSA, SSA, 1985, p.467-488.
- JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. Plant Disease Reporter, Beltsville, v. 48, n. 9, p. 692, 1964.
- Johnson, A. W.; Dowler, C. C.; Handoo, Z.A. Population dynamics of *Meloidogyne incognita*, *M. arenaria*, and other nematodes and crop yields in rotation of cotton, peanut, and wheat under minimum tillage. Journal of Nematology, v.32, p.52-61, 2000.
- Ludovice, M. T. F. Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre lençol freático. Campinas: UNICAMP, 1997. 143p. Dissertação Mestrado
- Mai, W. F.; Mullin, P. G.; Lyon, H. H.; Loeffle, K. Plant-Parasitic nematodes: a pictorial key to genera. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1996.
- 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. Recife: UFRPE, 2008. 126p. Tese Doutorado.
- Marschner, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2ª. ed. London: Academic Press, 1995, 889p.
- Matos, D. S. S.; Pedrosa, E. M. R.; Guimarães, L. M. P.; Rodrigues, C. V. M. A.; Barbosa, N. M. R.. Relações entre a nematofauna e atributos químicos de solo com vinhaça. Nematrópica, v.41, p.231-38, 2011.
- Matsuoka, M.; Mendes, I. C.; Loureiro, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.27, n.3, p.425-433, 2000.
- McSorley, R. Nematode problems on banana and plantains in Florida. Gainesville: IFAS, University of Florida, 1986. 4p. (Nematology Circular, 133).

- Mielniczuk, J.; Bayer, C.; Vezzani, F. M.; Lovato, T.; Fernandes, F. F.; Debarba, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: Novais, R. F.; Alvarez V. V. H.; Schaefer, C. E. G. R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p.209-248.
- Moura, R. M. Controle integrado dos nematóides da cana-de-açúcar no nordeste do Brasil. Anais, 22º Congresso Brasileiro de Nematologia, Uberlândia, MG. 2000. p.88-94.
- Nunes, M. R.; Leal, J. R.; Velloso, A. C. X. “Efeito da vinhaça na lixiviação de nutrientes do solo. III. Potássio, cálcio e magnésio”. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.17, p.371, 1982.
- Oliveira, C. M. G.; Perigo, C. V.; Kubo, R. K Primeira ocorrência de *Aphelenchoides besseyi* Allen & Jensen, 1951 em begônia. Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo, v.72, p.81, 2005. Suplemento 2.
- Oliveira, J. J.; Chaves, L. H. G.; Queiroz, J. E.; Luna, J. G. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, p.783-789, 1999.
- 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, n.9 (Supl.), p.197-201, 2005.
- Pinheiro, J. B.; Pozza, E. A.; Pozza, A. A. A.; Moreira, A. S.; Alves, M. C.; Campos, V. P. Influência da nutrição mineral na distribuição espacial do nematóide de cisto da soja. Nematologia Brasileira, v.32, p.270-278, 2008.
- Pinheiro, J. B.; Pozza, E. A.; Pozza, A. A. A.; Moreira, A. S.; Campos, V. P. Estudo da Influência do Potássio e do Cálcio na Reprodução do Nematóide do Cisto da Soja. Nematologia Brasileira, Piracicaba, v.33, p.17-27, 2009.
- Ploeg, A. T. Effects of amending soil with *Tagetes patula* cv. Single Gold on *Meloidogyne incognita* infestation of tomato. Nematology, v.2, p.489-493, 2000.

- Roscoe, R.; Mercante, F. M.; Mendes, I. C.; Reis Junior, F. B.; Franchini, J. C. S.; Hungria, M. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: Roscoe, R.; Mercante, F. M.; Salton, J. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p.163-198.
- Rossetto, A. J. Utilização agrônômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: Paranhos, S. B. Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987, p.435-504.
- Salviano, A. A. C.; Vieira, S. R.; Sparovek, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.22, p.115-122, 1998.
- SAS - Institute Inc. SAS/STAT 9.3 User's guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. 2009.
- Sengik, E.; Ribeiro, A. C.; Condé, A. R. Efeito da vinhaça em algumas propriedades de amostras de dois solos de Viçosa, MG. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.12, p.11-15, 1988.
- Silva, A. J. N.; Ribeiro, M. R. Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: propriedades químicas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.22, p.291-299, 1998.
- Silva, P. C.; Chaves, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, p.431-436, 2001.
- Snedecor, G. W.; Cochran, W. G. Statistical methods. 6. ed. Ames: The Iowa State University Press, 1967. 593 p.
- Sologuren, L. J.; Santos, M. A. Estudo de características químicas do solo em reboleiras de soja com *Heterodera glycines*. Fitopatologia Brasileira, v.22, p.339, 1997.
- Souza, L. Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1992. 162p. Tese Doutorado.

- Souza, Z. M.; Prado, R. M.; Paixão, A. C. S.; Cesarin, L. G. Sistemas de colheita e manejo de palhada da cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.40, p.271-278, 2005.
- Tenório, Z.; Carvalho, O. S.; Silva, O. R. R. F.; Montes, J. M. G.; López, F. G.. Estudio de la actividad biológica de solos de los tabuleros costeros del NE de Brasil enmendados con residuos agrícolas: vinaza y torta de caña de azúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, p.70-74, 2000.
- Trangmar, B. B.; Yost, R.S.; Uehara, G. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, Kent, v. 38, p.45-94, 1985.
- Trivelin, P. C. O.; Rodriguês, J. C. S.; Victoria, R. L.; Reichardt, K. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia-<sup>15</sup>N e uréia-<sup>15</sup>N aplicado ao solo em complemento a vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.31, p.89-99, 1996.
- Urchei, M. A. Potencial dos solos de Mato Grosso do Sul para agricultura irrigada. In: Urchei, M. A.; Fietz, C. R. *Princípios de agricultura irrigada: caracterização e potencialidades em Mato Grosso do Sul*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. p.77-99.
- Warrick, A.W.; Nielsen, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. *Application of soils physics*. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.
- Yates, G. W.; Bongers, T.; De Goede, R. G. M.; Freckman, D. W.; Georgieva, S. S. Feeding habits in nematode families and genera- an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*, v.25, p.315-331, 1993.

## **CAPÍTULO 3**

---

**Efeitos da aplicação de vinhaça nas propriedades físicas e população de nematóides do solo coberto com palhico de cana-de-açúcar**

## **Efeitos da aplicação de vinhaça nas propriedades físicas e população de nematóides do solo coberto com palhiço de cana-de-açúcar**

**Resumo:** Áreas submetidas à aplicação de vinhaça têm sido associada às condições físicas favoráveis ao desenvolvimento radicular, aeração, infiltração e movimento de água no perfil do solo. Dessa forma o trabalho teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de vinhaça, nas propriedades físicas do solo e na população de nematóides nele presente, como também examinar a dependência espacial desses parâmetros numa área sob cultivo mecanizado de cana-de-açúcar. Os dados foram submetidos a análises, físicas, nematológicas e de geoestatística. A adição da vinhaça ao solo coberto pelo palhiço da cana-de-açúcar se mostrou eficiente na redução da população de nematóides Endoparasitas, Ectoparasitas e de Vida livre, na cultura da cana-de-açúcar. Analisando a variabilidade espacial dos nematóides em cana-de-açúcar, antes e após 40 dias da aplicação da vinhaça, verificou-se a presença de efeito pepita puro para maiorias dos dados. Quanto evidenciada a presença de dependência espacial, essa variou entre moderado à baixo grau de dependência.

**Palavras chave:** aproveitamento de resíduo, *Saccharum*, variabilidade espacial.

### **Effects of vinasse application on soil physical properties and nematode density under sugarcane mulch**

**Abstract:** Areas under vinasse application have been associated to favorable physical conditions for root development, aeration, infiltration and water movement in soil profile. This study had as objective to evaluate the influence of vinasse application on both physical properties of soil under sugarcane mulch and nematode density, as well their spatial dependence, in two sugarcane growing areas under mechanized management in Paraíba state, Brazil. Samplings were carried out in a 10×10-m mesh with 36 points per area, before and 40 days after vinasse application. Data were submitted to multivariate analysis to repeated-measures, correlation analysis and geostatistics. Vinasse application decreased nematode density. Sugarcane mulch was

not enough to maintain adequate soil humidity after 40 days, but it contributed for higher levels of C-CO<sub>2</sub> evolution. When present, spatial dependence varied from moderate to low degree.

**Key words:** residue use, *Saccharum*, spatial variability

## INTRODUÇÃO

A queima da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) promove a degradação de atributos físicos do solo por meio da redução do diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis e pelo aumento da densidade do solo nas camadas mais superficiais, com consequente diminuição da velocidade de infiltração instantânea de água no solo (Ceddia et al.,1999).

Por outro lado, no sistema de colheita de cana crua, ocorre a manutenção da palha sobre o solo, o que, segundo Panachuki et al. (2006), é o fator mais importante no favorecimento da taxa de infiltração de água durante as chuvas. Bezerra & Cantalice (2006), avaliando o efeito de diferentes coberturas do solo em área de cultivo de cana-de-açúcar sobre o escoamento superficial na erosão entressulcos, verificaram que os efeitos do dossel e do resíduo da cana-de-açúcar promoveram o aumento da rugosidade hidráulica e dos volumes de interceptação pela vegetação, reduzindo o escoamento de água, aumentando os volumes de infiltração e proporcionando menores taxas de desagregação do solo.

Segundo Souza et al. (2004), a qualidade estrutural do solo, nas áreas tratadas com vinhaça, tem sido associada às condições físicas favoráveis ao desenvolvimento radicular, aeração, infiltração e movimento de água no perfil do solo. Entretanto, a cultura da cana-de-açúcar no Brasil sofreu rápido processo de modernização, onde são adotadas técnicas de cultivo e colheita intensamente mecanizadas que promovem alterações no comportamento das propriedades físicas e hídricas do solo e na produtividade dos canaviais. As principais alterações são evidenciadas pelo aumento da densidade do solo e, como consequência, o aumento da resistência do solo à penetração

radicular, redução da aeração e modificações na disponibilidade e fluxo de água (Utset & Cid, 2001; Robaina & Seijas, 2002).

Embora Camilotti et al. (2006) afirmem que os efeitos da aplicação de vinhaça sejam passageiros, Canellas et al. (2003) constataram que um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar teve aumento de carbono orgânico depois 35 anos de aplicação de vinhaça. A agregação das partículas de solo tratado com vinhaça por longo tempo se dá, principalmente, em função da mucilagem excretada pelos microrganismos que metabolizam açúcares de cadeia pequena, presentes em grande quantidade na vinhaça, de tal forma que altas taxas de aplicação do resíduo juntamente com o tempo adequado de contato com o solo favorecem a aglutinação das partículas, promovendo aumento na sua estabilidade estrutural (Camargo et al., 1983).

Vasconcelos et al. (2010), estudando Latossolo Amarelo distrocoeso dos tabuleiros costeiros de Alagoas, confirmam que a vinhaça mostrou-se eficiente no desenvolvimento dos agregados, constatado pela ocorrência de macroagregados. Estudando os atributos físicos de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de  $1200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de vinhaça, Andrioli (1986) verificou que não houve alteração na densidade, porosidade total, macroporosidade nem microporosidade do solo, devido ao fato de não ocorrer aumento de matéria orgânica do solo. No entanto, este fato foi contestado por Canellas et al. (2003) e Zolin et al. (2011) que relataram aumento do teor de matéria orgânica e, com isto, melhoria nas condições físicas do solo em virtude de aplicações de vinhaça ao longo dos anos, como observado para a densidade do solo e porosidade total.

Por apresentar heterogeneidade espacial e temporal, o solo fornece milhares de habitats para uma diversidade de organismos. Alguns organismos invertebrados de solo foram utilizados como bioindicadores e, com menor ou maior sensibilidade, demonstraram o estado da qualidade do solo sob ações antrópicas (Turco & Blume, 1999). Cordeiro et al. (2004) observaram que a fauna do solo é sensível a alterações da cobertura vegetal e ao manejo, sendo, portanto, um bom indicador da qualidade do solo.

Dinardo-Miranda & Menegatti (2003) estimaram que na cultura da cana-de-açúcar os danos causados pelos nematoides parasitos de planta eram superiores a 20% da produção. Estes nematoides danificam o sistema radicular das plantas, chegando a comprometer a absorção de água e nutrientes e, conseqüentemente, o desenvolvimento da cultura. Além disso, os prejuízos causados pelo parasito, em áreas cultivadas, podem

inviabilizar a utilização dessas áreas para novos cultivos, tornando, assim, antieconômica a exploração de certas culturas em determinadas áreas.

Avanços tecnológicos na agropecuária têm mostrado a importância do conhecimento da variação espacial e temporal de propriedades que afetam a produtividade da cultura para aperfeiçoar o aproveitamento de recursos e diminuir custos (Carvalho et al., 2002). O estudo da variabilidade espacial de atributos do solo é particularmente importante em áreas sob diferentes manejos (Souza et al., 2001). A análise geoestatística pode indicar alternativas de manejo que reduzam os efeitos da variabilidade espacial sobre a produção das culturas, como também, estimar respostas das plantas a determinadas práticas adotadas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da aplicação de vinhaça nas propriedades físicas do solo coberto com palhicho de cana-de-açúcar e na população de nematóides presentes, como também examinar a dependência espacial dessas variáveis em área sob cultivo mecanizado de cana-de-açúcar.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em duas áreas Usina Giasa, localizada no município de Pedras de Fogo no Estado de Paraíba. Em cada área foram utilizadas demarcados 36 pontos de coletas, formando uma malha de 10 x 10m entre os pontos, totalizando 2500 m<sup>2</sup> (50 x 50m) (Figura 1). A primeira área (área 1): (latitude -07° 21' 29''S e longitude -35° 00' 34''W) era cultivado com a variedade SP79-1011 pelo 2° ano; e a segunda área (área 2) (latitude -07° 20' 45''S e longitude -34° 59' 22'' W) com a variedade RB855536 de 7° ano.

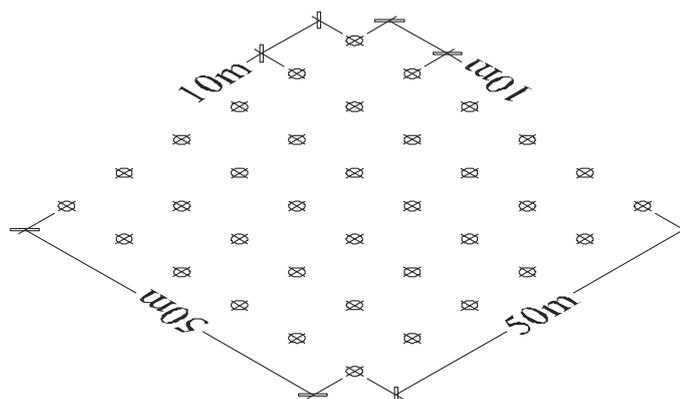


Figura 1. Representação dos pontos de amostragem na malha

O sistema de manejo da cultura era todo mecanizado, desde o plantio até a colheita. O solo das duas áreas é visivelmente arenoso, característico da região de estudo. A colheita mecanizada fornecia considerável cobertura vegetal sobre o mesmo, proveniente do palhicho da cana, triturado no ato da colheita mecanizada. As coletas foram realizadas no período de fevereiro a março de 2011, sendo a primeira um dia antes da aplicação de vinhaça e a segunda 40 dias após. A vinhaça era aplicada nessas áreas há 20 anos, com dosagem média de  $600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , realizada via aspersão com a utilização de canhão hidráulico.

As amostras foram coletadas nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm, em duas épocas (antes e depois da aplicação de vinhaça), totalizando 216 amostras de solo por área. Também em cada ponto de coleta foram retiradas plantas e com auxílio de uma tesoura foram coletadas amostras de raízes na camada de 20-40 cm. As amostras de solo e raiz foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas para o Laboratório de Fitonematologia e Mecânica dos Solos e Aproveitamento de Resíduos, ambos da UFRPE, para caracterização química e análises físicas e nematológicas.

A determinação da umidade foi realizada em estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ . Para avaliação da evolução do C-CO<sub>2</sub> do solo utilizou-se a metodologia descrita por Grisi (1978), encubando-se o solo em recipiente fechado na presença de 10 ml de KOH 0,5N. Após incubação ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ) por 15 dias, o CO<sub>2</sub> absorvido foi determinado por titulação com HCL 0,1N, usando-se fenolftaleína e metilorange como indicadores. Os valores de CO<sub>2</sub> acumulados foram expressos em mg de C.

Para realização das análises físicas, as amostras de solo foram secas ao ar e posteriormente destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm, de acordo com metodologia descrita pela EMBRAPA (1997). A densidade solo (Ds) foi determinada pelo método do anel volumétrico; a densidade de partículas (Dp), pelo método do balão volumétrico com álcool; e a granulometria, pelo método do densímetro de Bouyocos. A porosidade total (Pt) foi calculada pela expressão:  $Pt = 1 - (Ds/Dp)$ . Também foi determinada a umidade volumétrica ( $\Theta_v$ ) de cada amostra de solo coletada em estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ .

A caracterização química do solo foi realizada na camada 20-40 cm (Tabela 1). Foram efetuadas análises de pH em água com o potenciômetro na relação solo:solução

de 1:2,5; Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) trocáveis extraídos em KCL 1 mol L<sup>-1</sup>, por espectrometria de absorção atômica; Sódio ( $\text{Na}^+$ ) e Potássio ( $\text{K}^+$ ) trocáveis extraído em solução de Mehlich 1, por fotometria de chama; H+Al por titulometria. Todas conforme metodologia adotada pela EMBRAPA (1997). A partir dos resultados foi determinada a CTC pela equação  $\text{CTC} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+ + (\text{H}+\text{Al})$ .

Tabela 1 - Caracterização química do solo para as duas áreas experimental na usina Giasa.

Áreas	pH	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	SB	CTC	V	m	MO
1	5,3	0,10	0,10	1,10	0,30	0,10	2,10	1,60	3,80	42,20	8,95	1,30
2	5,2	0,20	0,10	0,70	0,30	0,10	1,70	1,30	3,10	41,50	10,40	1,18

SB: soma de base; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; C: carbono orgânico; MO: matéria orgânica

Para as análises nematológicas, as amostras de solo foram homogeneizadas e tomadas sub-amostras de 300 cm<sup>3</sup> de solo, das quais foram extraídos os nematóides segundo metodologia descrita por Jenkins (1964). As suspensões obtidas foram colocadas em frascos de vidro com tampas plásticas, e acondicionados sob refrigeração a temperatura de ± 4 °C. A estimativa populacional foi obtida através da contagem em lâminas de Peters, com o auxílio de um microscópio óptico, em duas repetições, e os resultados computados em número de espécimes por 300 cm<sup>3</sup> de solo. Os nematóides foram classificados quanto ao hábito alimentar em cinco grupos tróficos (parasitos de planta, bacteriófagos, micófagos, predadores e onívoros) baseado na morfologia do estoma e esôfago (Yates et al., 1993). Os bacteriófagos, micófagos, predadores e onívoros foram considerados de vida livre. Os parasitos de planta foram identificados ao nível de gênero, de acordo com a chave de Mai et al. (1996), e os gêneros agrupados quanto ao tipo de parasitismo (ectoparasitos e endoparasitos). 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 análises estatísticas, os dados foram submetidos à análise de medidas repetidas com o tempo, e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Visando avaliar a possível relação entre as variáveis químicas do solo e população de nematóides, foi determinado o grau de correlação linear simples entre os pares de dados obtidos pelo coeficiente de correlação de Pearson a 5% de probabilidade.

Para ambas as análises, foi utilizado o programa SAS – Statistical Analytical System (SAS, 2009).

Para as análises geoestatísticas, foi aplicada a análise estatística descritiva (média, desvio padrão, erro padrão da média, mínimo, máximo e coeficiente de variação) e verificada a aderência dos dados a distribuição Normal, segundo o teste de Kolgomorov-Smirnov. Os dados discrepantes foram eliminados com base no critério de Hoaglin et al. (1983), que consideram discrepantes aqueles dados abaixo do limite inferior ( $L_i$ ) ou acima do limite superior ( $L_s$ ) respectivamente, estimados por:  $L_i = Q_i - 1,5A_i$  e  $L_s = Q_s + 1,5A_i$ , sendo  $Q_i$  e  $Q_s$  os quartis inferior e superior, respectivamente, e  $A_i$  a amplitude interquartílica. Para análise de variabilidade espacial, foi utilizada a ferramenta geoestatística Geo-EAS (Englund & Sparks, 1991). Após a obtenção dos semivariogramas experimentais, foi realizado o ajuste dos dados a um modelo teórico testado (exponencial, gaussiano e esférico).

O grau dependência espacial foi avaliado a partir da classificação proposta por CAMBARDELLA et al. (1994), na qual um determinado atributo pode ser considerado como exibindo forte, moderada ou fraca dependência espacial, em função da relação entre o efeito pepita e o patamar de seu semivariograma ajustado. Valores inferiores a 25% caracterizam forte dependência espacial, entre 25% e 75% moderada, enquanto que acima de 75% fraca dependência. Os parâmetros da função de semivariância com ajuste dos modelos teóricos foram usados na construção de mapas de isolinhas das propriedades estudadas pelo processo de krigagem, visando definir zonas de variabilidade semelhantes e dividir a área por sub-regiões mais homogêneas. Para confecção dos mapas de isolinhas foi utilizado o software Surfer 8.0.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A textura dos perfis dos solos das áreas estudadas se mostraram uniformes até 60 cm de profundidade (Tabela 1). Essa uniformidade é mais evidente na área 1, destacando-se a percentagem de areia, que ficou em aproximadamente 95% nas três camadas. Na área 2, o solo também apresentou grande quantidade de areia ao longo dos 60 cm avaliados, entretanto, este solo além de apresentar um percentual de argila um pouco maior que o anterior, teve sua camada mais inferior (40-60 cm) classificada como

areia franca, diferentemente das camadas mais superiores que foram classificadas como areia.

Tabela 2 - Caracterização física do solo para as duas áreas experimental na usina Giasa.

Camada	Ds	Dp	Ptotal	$\Theta_v$	areia	silte	argila	Textura
cm	— kg dm <sup>-3</sup> —	— % —	— % —	— % —	g kg <sup>-1</sup>			
Área 1								
0–20	1,56	2,65	41,05	13,12	948,27	24,42	27,31	areia
20–40	1,61	2,64	38,95	9,02	952,18	24,21	23,61	areia
40–60	1,59	2,66	39,86	7,94	956,73	20,52	22,75	areia
Área 2								
0–20	1,51	2,63	42,66	18,98	897,17	47,03	55,80	areia
20–40	1,62	2,67	39,10	15,59	894,44	27,33	78,23	areia
40–60	1,62	2,65	38,79	15,87	861,85	25,11	113,04	areia franca

Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas; Ptotal: porosidade total;  $\Theta_v$ : umidade volumétrica.

Após 40 dias da aplicação de vinhaça, não houve alteração nos valores Dp em ambas as áreas de estudo, independente da profundidade (Tabela 3). Esses resultados corroboram com Camilotti et al. (2006) que não observaram influência da vinhaça na Dp de um Latossolo Vermelho distroférico argiloso após as colheitas do 3º e 4º cortes da cultura.

Tabela 3 – Efeito da aplicação de vinhaça no solo coberto pelo palhico da cana-de-açúcar, na densidade de partículas, em função da profundidade e do tempo para as duas áreas.

Camada de solo (cm)	Densidade de partículas (g cm <sup>-3</sup> )	
	Antes	Depois
Área 1		
0 – 20	2,65 Aa	2,63 Aa
20 – 40	2,64 Aa	2,67 Aa
40 – 60	2,66 Aa	2,66 Aa
Área 2		
0 – 20	2,63 Aa	2,64 Aa
20 – 40	2,67 Aa	2,64 Aa
40 – 60	2,64 Aa	2,66 Aa

\*Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, na linha, e minúsculas, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Avaliando os valores  $\Theta_v$ , Ds, Pt e matéria orgânica, em função do tempo de aplicação da vinhaça, para cada área de estudo (Tabela 4), verifica-se que apenas a  $\Theta_v$  não foi influenciada pela aplicação da vinhaça em solo coberto com palhico. Esses resultados divergem dos encontrados por Peres et al. (2010), que avaliando os efeitos de

uma cobertura de palha de cana-de-açúcar sobre a umidade e as perdas de água do solo, verificaram que, na camada de 0-0,20 m, a presença da palha da cana-de-açúcar na superfície do solo reduziu as perdas de água praticamente à metade daquela verificada na condição de solo descoberto.

Esses autores também verificaram que a influência da cobertura de palha da cana-de-açúcar sobre  $\Theta_v$  diminuiu com o aumento da profundidade do solo. Efeito semelhante foi encontrado no presente trabalho, quando a umidade foi analisada em função da profundidade (Tabela 5). Entretanto, os autores afirmam que a perda de água ocorreu preponderantemente por percolação profunda. Sendo assim, esse último fator, pode ter sido o principal responsável pela diminuição da umidade ao longo do tempo, favorecida pela alta predominância da fração areia, nas camadas do solo de ambas as áreas.

Ainda para área 1, a adição da vinhaça ao solo promoveu redução da Ds, tendo como consequência aumento da Pt. Miranda (2009), trabalhando com um solo com 93% de areia, também observou diminuição da Ds e aumento da Pt após 30 dias da aplicação da vinhaça. Porém se em curto prazo a Ds do solo diminui em função da aplicação da vinhaça, o mesmo parece não acontecer ao longo do tempo.

Camilotti *et al.* (2006) concluíram que os atributos físicos do solo não foram alterados pela aplicação da vinhaça, mesmo após a realização de quatro aplicações anuais sucessivas e à conclusão de quatro ciclos da cultura. Zolin *et al.* (2011) observaram que a área que recebeu aplicação de vinhaça durante 12 anos, apresentou maior valor de densidade na camada superficial do solo, quando comparado com áreas que receberam o resíduo por períodos menores (um, dois e quatro anos), chegando a evidenciar certo grau de compactação dessa área.

Para área 2, diferentemente do que ocorreu na área 1, apenas a matéria orgânica não diferiu em função da aplicação da vinhaça (Tabela 4). Para Ds e Pt, o comportamento foi semelhante ao demonstrado na área 1.

Tabela 4 – Efeito da aplicação de vinhaça no solo coberto pelo palhicho da cana-de-açúcar, na umidade, densidade do solo, porosidade total e matéria orgânica em função do tempo, nas duas áreas.

Áreas	Umidade volumétrica (%)		Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )		Porosidade total (%)		Matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ )	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
1	10,03 A	8,16 A	1,58 A	1,47 B	39,52 B	44,50 A	1,30 B	1,56 A
2	16,82 A	12,59 B	1,58 A	1,52 B	40,18 B	42,16 A	1,18 A	1,14 A

\*Médias seguidas de mesmas letras, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

De maneira geral houve interação entre tempo e profundidade para umidade, densidade do solo e porosidade total, independentemente da área estudada. Antes da aplicação da vinhaça, os valores  $\Theta_v$  diminuíram com o aumento da profundidade, entretanto, após a aplicação, os valores de  $\Theta_v$  não se diferenciaram em função da profundidade devido à diminuição significativa que ocorreu nas duas primeiras camadas após a aplicação do resíduo (Tabela 5). Esses resultados confirmam que em solos cobertos pelo palhicho de cana as perdas por evaporação são diminuídas.

Os valores de  $D_s$  diminuíram significativamente após a aplicação da vinhaça em todas as camadas do solo (Tabela 5). No entanto, a camada 0-20 apresentou os menores valores diferindo das demais que não diferiram entre si. Esses resultados se assemelham aos encontrados por Silva et al. (2005), que observaram que a aplicação de vinhaça não promoveu diferença significativa na  $D_s$  de um Argissolo Amarelo coeso de textura média/argilosa nas camadas 20–40 e 40–80 cm em diferentes sistemas de manejo (sequeiro, aplicação de vinhaça e irrigação) o que, segundo os autores, deve-se aos maiores diâmetros dos poros na camada de 0-20 cm do solo com vinhaça, o que provavelmente está relacionado com um melhor desenvolvimento do sistema radicular da cultura (Silva, 2003).

Influenciada pela diminuição da densidade do solo após a aplicação da vinhaça, os valores  $P_t$  aumentaram significativamente em todas as profundidades, após a aplicação do resíduo, embora, nos dois períodos, tenha se mantido significativamente maior na camada mais superficial (0-20 cm) (Tabela 5).

Tabela 5 – Efeito da aplicação de vinhaça no solo coberto pelo palhicho da cana, nos valores de umidade volumétrica, densidade do solo e porosidade total, em função do tempo e da profundidade.

Camadas (cm)	Umidade volumétrica (%)		Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )		Porosidade total (%)	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
0–20	16,05 Aa	10,13 Ba	1,53 Ab	1,44 Bb	41,86 Bb	45,50 Ab
20–40	12,31 Ab	9,90 Ba	1,62 Aa	1,55 Ba	39,02 Ba	41,60 Aa
40–60	11,91 Ab	11,04 Aa	1,60 Aa	1,51 Ba	39,32 Ba	42,89 Aa

\*Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, na linha, e minúsculas, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Foram detectados dois gêneros de nematoides endoparasitos (*Meloidogyne* e *Pratylenchus*), sete ectoparasitos (*Criconemella*, *Helicotylenchus*, *Hemicyclophora*,

*Paratrichodorus*, *Rotylenchulus*, *Trichodorus*, *Xiphinema*) e cinco famílias de vida livre (Cephalobidae, Rhabditidae, Aphelenchidae, Dorylamidae e Mononchidae). A densidade populacional dos ectoparasitos diminuiu significativamente após a aplicação de vinhaça na área 1, enquanto na área 2 todos os grupos de nematoides tiveram a densidade populacional diminuída após a aplicação do resíduo (Tabela 6).

Avaliando o efeito de diferentes doses (0, 250, 500, 1000 e 1500 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) de vinhaça sobre a eclosão e reprodução dos nematóides de galhas em cana-de-açúcar, Pedrosa et al. (2005) concluíram que o efeito supressivo do resíduo foi diretamente proporcional ao volume de vinhaça adicionado. Para manejo, os autores indicaram dosagem equivalente a 500 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, por não afetar o desenvolvimento das plantas (parte aérea e sistema radicular) e diminuir a reprodução do nematoide.

Tabela 6 – Efeito da aplicação de vinhaça na densidade populacional de nematoides endoparasitos, ectoparasitos e de vida livre, em duas áreas com solo coberto por palhiço da cana-de-açúcar.

Áreas	Endoparasitos		Ectoparasitos		Vida livre	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
1	39,29 A	56,43 A	141,33 A	120,71 B	38,48 A	64,95 A
2	87,62 A	14,87 B	170,55 A	117,14 B	103,00 A	23,26 B

\*Médias seguidas de mesmas letras, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A aplicação de vinhaça diminuiu a densidade dos endoparasitos nas três camadas estudadas (Tabela 7). No entanto, ectoparasitos e vida livre tiveram suas densidades populacionais reduzidas nas camadas 20-40 e 40-60 cm, mas não na camada de 0-20 cm. Por completarem todo o ciclo no solo, esses organismos são afetados mais diretamente pelas condições ambientais do que os endoparasitos. Então, é possível que num primeiro momento a vinhaça tenha reduzido a densidade populacional desses *taxa*, mas as populações se reestabeleceram rapidamente devido às condições favoráveis, principalmente umidade e disponibilidade de alimentos, fornecidas pela cobertura de palhiço.

Tabela 7 – Efeito da aplicação de vinhaça em solo coberto por palhiço da cana-de-açúcar na densidade populacional de nematoides endoparasitos, ectoparasitos e de vida livre, em função da profundidade.

Camadas (cm)	Endoparasitos		Ectoparasitos		Vida livre	
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
0 – 20	64,11 Aa	39,13 Ba	144,50 Aa	131,72 Aa	61,60 Aa	79,39 Aa
20 – 40	71,67 Aa	44,65 Ba	169,95 Aa	136,25 Ba	56,24 Aa	28,94 Bab

40 – 60	54,57 Aa	23,22 Ba	153,36 Aa	88,80 Ba	94,38 Aa	23,98 Bb
---------	----------	----------	-----------	----------	----------	----------

\*Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas, na linha, e minúsculas, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A adição da vinhaça ao solo coberto pelo palhicho da cana provocou redução significativa na evolução C-CO<sub>2</sub> do solo, de 14,95 mgC para 11,92 mgC, após os 40 dias da aplicação, como também provocou sua redução em função da profundidade. Essa redução corrobora com as reduções observadas nas densidades populacionais dos nematoides (Tabela 7). Por outro lado, independente da área, a evolução C-CO<sub>2</sub> do solo foi significativamente maior na camada mais superficial (0-20 cm) (Tabela 8), onde se concentrou a cobertura de palhicho. Então, é plausível assumir que a matéria orgânica proveniente da decomposição do palhicho tenha aumentado a população microbiana e contribuído para o aumento da emissão de CO<sub>2</sub> na camada mais superficial do solo. Correlação negativa entre a evolução C-CO<sub>2</sub> e a profundidade foi observada ( $r = -0,22$ ) (Tabela 9).

Tabela 8 – Efeito da aplicação de vinhaça no solo coberto pelo palhicho da cana-de-açúcar na evolução do C-CO<sub>2</sub>, em função da profundidade, para os dois períodos avaliados.

Camadas (cm)	Evolução C-CO <sub>2</sub> (mg C)	
	Antes	Depois
0-20	19,80 a	15,83 a
20-40	13,05 b	10,58 b
40-60	11,99 b	9,35 b

\*Médias seguidas de mesmas letras, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Vicente (2011), correlacionando a nematofauna com características físicas e químicas de solos cultivados com cana-de-açúcar no litoral sul de Pernambuco, também observaram que os maiores valores para evolução C-CO<sub>2</sub> ocorreram nas camadas 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m, confirmando a influência da profundidade sobre este atributo do solo. Segundo Silva et al. (2006), vários fatores, incluindo temperatura, umidade, profundidade do solo, aeração e populações microbianas determinam a taxa de fluxo de CO<sub>2</sub> para a superfície do solo.

De acordo com Campos et al. (2004), a quantidade de carbono no solo em sistema de cultivo é a resposta entre a taxa de adição de resíduos, a taxa de mineralização e a taxa de humificação desse conjunto. Esses três fatores combinados determinam a dinâmica do carbono no sistema, a qual é conduzida por outros fatores: climáticos, edáficos, vegetação e

manejo. Todavia, Brun (2008) ressalta que o manejo pode condicionar a estrutura da vegetação, pois sistemas cultivados são mais passíveis à ação antrópica.

Na tabela 9, fica demonstrado que tempo se correlacionou negativamente com a evolução C-CO<sub>2</sub> (r = -0,12), ectoparasitos (r = -0,13), endoparasitos (r = -0,18) e total de nematóides (r = -0,18). A evolução C-CO<sub>2</sub> também se correlacionou negativamente com o teor de argila (r = -0,10) no solo, indicando que o período de 40 dias foi suficiente para verificar modificações na comunidade de nematóides no solo.

Os ectoparasitos (r = 0,14) e total de nematóides (r = 0,12) apresentaram correlações positivas com o teor de silte. Variações na textura tem explicado, em parte, as variações nas densidades populacionais de muitos nematoides parasitos de planta, a exemplo de *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus penetrans* (Cobb) Filipjev e Schuumans Stekhoven, *Helycotylenchus multycinctus* (Cobb) Goldn, *H. Dihystera* (Cobb) Sher e *Heterodera glycines* Ichinohe (Noe & Barker, 1985; Quénéhervé, 1988; Francl, 1993; Wallace et al., 1993), muito embora algumas relações sejam inconsistentes em diferentes ambientes.

Populações de *P. penetrans* apresentaram densidades populacionais mais elevada em solos de textura fina (Jordaan & Waele, 1989), enquanto em outros estudos a maior densidade ocorreu em solos arenosos (Florini et al., 1987; Olabiyi et al., 2009). Já Cardoso (2010) observou correlações negativas entre areia e Acrobeles, silte e Aphelechoides e *Trichorus*, argila e *Hemicycliophora*.

Tabela 9 – Coeficientes de correlação significativa entre tempo, profundidade, silte e argila versus evolução de C-CO<sub>2</sub> e grupos de nematoides no solo sob cultivo mecanizado de cana-de-açúcar, coberto pelo palhicho da cultura.

	Tempo	Profundidade	Silte	Argila
Evolução C-CO <sub>2</sub>	-0,12*	-0,22*		-0,10*
Ectoparasitas	-0,13*		0,14*	
Endoparasitas	-0,18*			
Total de nematoides	-0,18*		0,12*	

\*significativo em nível de 5%.

A estatística descritiva, como também os parâmetros de ajuste dos semivariogramas, para os diferentes grupos de nematóides em diferentes profundidades, estão apresentados nas Tabelas 10, 11, 12 e 13. Para estes conjuntos de dados o teste de Kolgomorov Smirnov indicou normalidade dos dados ao nível de 1% de significância.

De maneira geral os dados apresentaram grande heterogeneidade, o que pode ser confirmado pelos altos valores de CV, para cada grupo de nematóide. Outros estudos

com nematóides, também mostraram alta variação dos dados e conseqüentemente altos valores de CV (OLIVEIRA et al., 2005; MARANHÃO, 2008; PINHEIRO et al., 2008; CARDOSO, 2010; MATOS, et al., 2011). Esses resultados se devem à irregular distribuição populacional dos nematóides em campo.

O modelo esférico proporcionou o melhor ajuste para praticamente todos os grupos de nematóides estudados. Maranhão (2008), caracterizando a magnitude da dependência espacial das densidades populacionais de *Pratylenchus* em raízes de cana-de-açúcar, nas condições do Nordeste, como também Caswell & Chellemi (1986), estudando a distribuição espacial de *Rotylenchulus reniformis* Linford & Oliveira, em abacaxi (*Ananas comusus* (L.) Merr.) no Havaí, encontram neste modelo o melhor ajuste para seus dados. Nos experimentos conduzidos por Chen & Bird (1992) em batata (*Solanum tuberosum* L.), a distribuição de *Pratylenchus penetrans* (Coob) Chitwood & Oteifa, *Tylenchus maius* Andássy e *Heterodera glycines* Ichinohe foi estudada através de modelos esféricos em seus semivariogramas para obter os melhores ajustes em suas estimativas.

Avaliando-se o grau de dependência espacial a partir dos índices proposto por Cambardella et al. (1994), para área 1 antes e após da aplicação da vinhaça (Tabela 10 e 11), verifica-se que apenas os nematóides de vida livre na camada 0-20 cm antes da aplicação da vinha e o total de nematóides na camada 20-40 cm após a aplicação, apresentaram índices abaixo de 75%, demonstrando assim, moderada dependência espacial. Para os demais grupos foram apresentados índices acima de 75%, o que demonstra fraca dependência espacial.

Tabela 10 - Estatística descritiva para os grupos de nematóides e parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados aos dados experimentais na área 1 antes da aplicação da vinhaça.

Estatística descritiva	Total nematóides	Vida livre	Endoparasitas	Vida livre	Ectoparasitas
	0-20	0-20	0-20	40-60	40-60
Média	197,16	33,93	28,23	24,28	119,56
Desvio Padrão	97,48	33,98	32,15	26,22	77,86
Mediana	182,00	24,50	21,75	22,00	110,00
CV (%)	49,44	100,15	113,89	108,00	65,12
Assimetria	0,37	0,66	1,17	0,89	0,54
Curtose	0,47	-0,75	0,90	-0,05	-0,42
Quartil superior	141,38	0,00	0,00	0,00	65,63
Quartil inferior	247,50	62,63	43,50	41,00	159,75
Amplitude total	106,13	62,63	43,50	41,00	94,13

Parâmetros de ajuste do semivariograma

Efeito Pepita (Co)	7026,70	807,60	862,31	514,77	4280,78
Patamar (Co + C1)	9055,40	1265,20	1024,62	629,54	5561,56
Alcance	17,88	10,45	14,29	13,49	12,22
Co/(Co + C1)	77,60	63,83	84,16	81,77	76,97
Modelo	Esférico	Gaussiano	Esférico	Esférico	Esférico

Co/ Co + C1- grau de dependência espacial de Cambardella (%); CV - Coeficiente de Variação

Tabela 11 – Estatística descritiva para os grupos de nematóides e parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados aos dados experimentais na área 1 após 40 dias da aplicação da vinhaça.

Estatística descritiva	Total nematóides		Ectoparasitas		Total nematóides		Ectoparasitas	
	0-20	0-20	20-40	40-60	40-60	40-60	40-60	
Média	213,53	139,07	150,60	105,39	60,83			
Desvio Padrão	133,59	107,73	111,29	66,53	57,21			
Mediana	206,50	121,50	133,00	111,00	50,00			
CV (%)	62,56	77,46	73,90	63,13	94,05			
Assimetria	0,47	0,52	0,68	-0,05	1,02			
Curtose	0,13	-0,52	0,45	-0,74	0,52			
Quartil superior	132,00	44,75	86,25	66,00	20,00			
Quartil inferior	286,00	203,63	216,00	159,75	104,00			
Amplitude total	154,00	158,88	129,75	93,75	84,00			
Parâmetros de ajuste do semivariograma								
Efeito Pepita (Co)	16758,30	10773,60	13555,00	3487,67	3213,50			
Patamar (Co + C1)	19516,60	12547,22	14674,99	4925,34	3487,00			
Alcance	15,00	13,68	13,01	14,71	13,47			
Co/(Co + C1)	85,87	85,86	92,37	70,81	92,16			
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico			

Co/ Co + C1- grau de dependência espacial de Cambardella (%); CV - Coeficiente de Variação

Para área 2 foi verificado moderado grau de dependências espacial, apenas no período antes à aplicação da vinhaça e para os ectoparasitos (20-40 cm), endoparasitos (20-40 cm) e total de nematoides (40-60 cm) (Tabela 12). Para os demais grupos desse período, como também para o período após a aplicação da vinhaça (Tabela 13) foi observado fraco grau de dependência.

Através da geoestatística, Pinheiro et al. (2008) verificaram a existência de relação entre a fertilidade do solo e a distribuição espacial do nematóide do cisto da soja. Dinardo-Miranda & Fracasso (2009), estudando a distribuição espacial de *Pratylenchus zaeae*, *P. brachyurus* (Godfrey) Filipjev & Schuurmans em cana-de-açúcar, também obtiveram moderado grau de dependência espacial em seus respectivos estudos. Matos (2010), caracterizando a variabilidade espacial de *Meloidogyne* spp. e *P. zaeae*, em área de cultivo comercial de cana-de-açúcar, também encontraram moderada

dependência espacial para estes gêneros, utilizando uma malha amostral de  $1 \times 1\text{m}$ , e para *P. zae*, numa malha de  $50 \times 50\text{m}$ .

Tabela 12 – Estatística descritiva para os grupos de nematóides e parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados aos dados experimentais na área 2, antes da aplicação da vinhaça.

Estatística descritiva	Endoparasitas	Ectoparasitas	Endoparasitas	Total nematóides	Ectoparasitas
	0-20	20-40	20-40	40-60	40-60
Média	61,94	162,96	65,82	296,73	137,26
Desvio Padrão	47,09	129,12	47,55	146,92	97,02
Mediana	61,50	132,00	60,00	311,50	112,75
CV (%)	76,03	79,23	72,24	49,51	70,68
Assimetria	0,60	0,77	0,38	0,28	0,73
Curtose	-0,45	-0,25	-0,47	-0,57	-0,33
Quartil superior	26,00	55,25	31,00	166,13	72,50
Quartil inferior	84,00	251,50	92,75	394,88	192,63
Amplitude total	58,00	196,25	61,75	228,75	120,13
Parâmetros de ajuste do semivariograma					
Efeito Pepita (Co)	1907,58	10860,80	1653,31	16958,90	8790,78
Patamar (Co + C1)	2313,16	15620,80	2246,62	23317,83	10085,56
Alcance	21,81	12,76	16,23	20,65	16,78
Co/(Co + C1)	82,47	69,52	73,59	72,73	87,16
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico

Co/ Co + C1- grau de dependência espacial de Cambardella (%); CV - Coeficiente de Variação

Tabela 13 – Estatística descritiva para os grupos de nematóides e parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados aos dados experimentais na área 2, APÓS 40 dias da aplicação da vinhaça.

Estatística descritiva	Vida livre	Total nematóides	Ectoparasitas	Total nematóides
	0-20	20-40	20-40	40-60
Média	30,22	130,54	102,89	104,74
Desvio Padrão	28,87	119,36	102,51	69,09
Mediana	27,75	110,00	78,00	110,00
CV (%)	95,53	91,44	99,63	65,96
Assimetria	0,38	0,74	0,89	-0,27
Curtose	-1,24	-0,44	-0,25	-1,05
Quartil superior	0,00	10,00	0,00	54,00
Quartil inferior	53,75	192,00	142,75	160,50
Amplitude total	53,75	182,00	142,75	106,50
Parâmetros de ajuste do semivariograma				
Efeito Pepita (Co)	716,40	6374,06	7956,73	4996,47
Patamar (Co + C1)	832,80	7748,12	9913,46	5702,94
Alcance	14,19	18,02	14,65	29,27
Co/(Co + C1)	86,02	82,27	80,26	87,61
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico

Co/ Co + C1- grau de dependência espacial de Cambardella (%); CV - Coeficiente de Variação

Foram encontrados valores de alcance superiores a 10 m para todos os grupos de nematoides que demonstraram algum grau de dependência, independente da área, profundidade ou da época de avaliação. Dessa forma pode-se concluir que o espaçamento (10 × 10 m) utilizado na malha de experimental, foi suficiente para avaliar a zona de influência de parte dos dados observados. Segundo Reichardt (1985), o alcance estabelece o limite de dependência espacial entre as amostras, isto é, para distâncias iguais ou menores que o alcance, podendo-se dizer que os valores vizinhos de uma variável estão espacialmente correlacionados e podem ser utilizados para estimar valores em qualquer ponto entre eles.

Os valores de alcance no presente estudo se assemelham aos encontrados por Maranhão (2008) que obtiveram alcance médio de 10m e Caswell & Chellemi (1986) que estudando a distribuição de *Rotylenchulus reniformis* em abacaxi encontraram valor médio para o alcance de 15m. Rossi et al. (1996) afirmaram que o padrão de distribuição espacial de espécies de nematoides parasitos de planta é fortemente afetado pelo espaçamento das plantas hospedeiras, arquitetura do sistema radicular e fisiologia da planta.

Para os grupos de nematóides avaliados em função das três camadas, nas duas épocas de avaliação, observa-se que mesmo havendo um certo grau de dependência espacial, a maior parte dos conjuntos de dados apresentaram efeito pepita puro, demonstrando não haver dependência espacial para esses dados. Liebhold et al. (1993) afirmam que, em estudos envolvendo insetos, tal ocorrência é bastante comum. Os autores atribuem esse resultado principalmente ao fato da dependência espacial ocorrer numa escala menor do que a escala espacial de amostragem que é frequentemente adotada. O mesmo pode ser dito de estudos envolvendo nematóides (Dinardo-Miranda, & Fracasso, 2009).

Um dos motivos para a baixa ou inexistente dependência espacial em muitos valores referentes aos nematóides pode estar relacionado ao intenso cultivo das áreas utilizadas, ao longo de mais de 20 anos, fazendo com que a heterogeneidade existente nessas áreas diminuísse drasticamente com o passar dos anos. Este efeito também pode estar associado às características do solo, que por apresentar um perfil com alta predominância da fração areia, pode ter a translocação dos nematóide facilitada ao longo da área, seja pelas chuvas ou pela própria água de irrigação. Maranhão (2008), ao trabalhar em áreas de tabuleiro irrigada e não irrigada com água, observou que em áreas

irrigadas nematóides do gênero *Pratylenchus* se distribuiu mais uniformemente, alastrando-se por toda área, situação inversa a verificada na área não irrigada.

A distribuição pluviométrica ao longo do ano de 2011, como também a média de 41 anos, na região de estudo estão apresentadas na Figura 2.

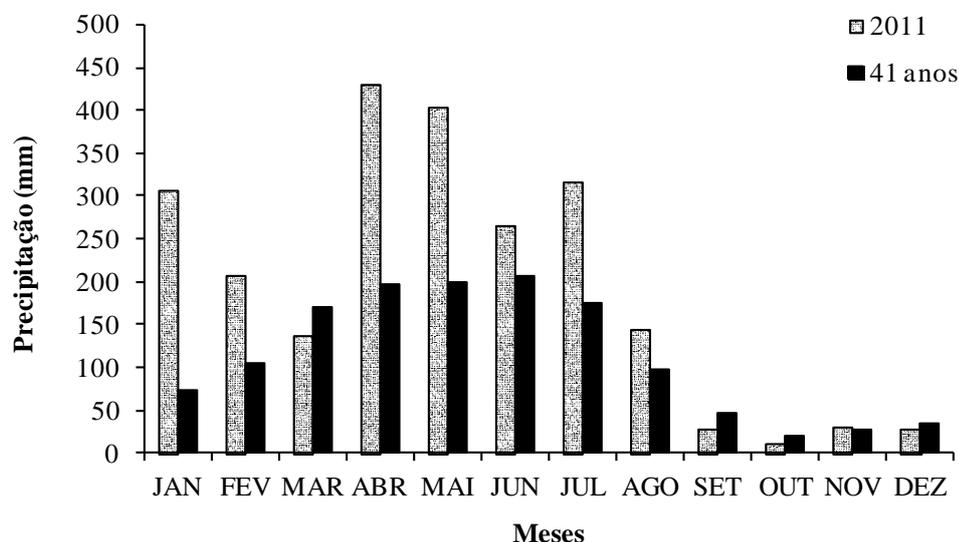


Figura 2 – Precipitação dos meses de 2011 e média de 41 anos na região de estudo.

Em 2011 no mês de janeiro choveu 307,64 mm contra 72,27 mm da média de 41 anos (Figura 2). No mês seguinte choveu praticamente duas vezes mais que a media. Os nematoides movem-se, por meio próprio, poucos centímetros por ano. BLAKE (1969) apresentou resultados de pesquisas que demonstraram a movimentação de *Radopholus similis* em distâncias de 2 a 3 m por ano. Solo infestado com nematóides aderidos aos implementos agrícolas e águas de irrigação e escoamento superficial são formas de disseminação a curtas distâncias e favorecem os aumentos das reboleiras.

Nas Figuras 3, 4, 5 e 6 estão apresentados os mapas de isolinhas para os diversos grupos de nematóides, em diferentes profundidades, antes e após da aplicação da vinhaça nas duas áreas de estudo. Em todos os mapas foi apresentada uma distribuição aleatória picos de nematoides, representados pelas áreas escuras. Rossi et al. (1996), estudando o arranjo espacial para quatro espécies de nematóides em cana-de-açúcar na Martinique, através de geoestatística, apresentaram índices que mostraram que nematóides tiveram distribuição agregada.

Segundo Barker et al. (1985), a densidade populacional pode diferir numa distância de poucos metros, resultando em grupos como picos populacionais em determinados locais. Esses autores ainda afirmam que a distribuição horizontal dos nematóides é irregular, não sendo confiável para estimar a densidade populacional. Essa distribuição irregular também pode ser correlacionada com fatores biológicos e propriedades do solo, evidente em campos com pouco pousio (Francel, 1993).

De maneira geral, os mapas para os nematóides apresentaram linhas suavizadas, cuja ocorrência pode ser atribuída aos altos valores de efeito pepita apresentados pelos conjuntos de dados. Segundo Chieregati & Pitard (2009), o reconhecimento do efeito pepita é de extrema importância para as estimativas dos modelos. Quanto maior o efeito pepita, maior o grau de suavização necessário na estimativa de recursos, pois a estimativa, nesse caso, aproxima-se de uma simples média aritmética das amostras contidas dentro do raio de influência do bloco em estudo.

Comparando-se os mapas para o total de nematóides na área 1 antes (Figura 3-E) e após (Figura 4-D) a aplicação da vinhaça na camada de 0-20 cm, verifica-se um ligeiro deslocamento dos picos populacionais. Entretanto o mapeamento dos dados na camada 0-20, após aplicação da vinhaça na área 1, só foi possível para o total de nematóides. Os outros dois grupos (vida livre e endoparasitos) mapeados nessa camada apresentaram efeito pepita puro após 40 dias da aplicação, não sendo o mapeamento nessa profundidade.

Para os ectoparasitos da área 1, ficou demonstrado na camada 40-60 cm que após a aplicação da vinhaça houve uma maior agregação dos picos de nematóides (Figura 4-B), quando comparado ao período antes da aplicação, onde os picos se apresentavam mais dispersos (Figura 3-C).

Na área 2 verifica-se para o total de nematóides na camada 40-60 cm, que apesar de ter havido alterações nos valores de pico, a tendência na distribuição dos agregados foi mantida, após o período de 40 dias (Figuras 4-E e 5-D). Comportamento semelhante também foi observado para os ectoparasitos dessa área, na camada de 20-40 cm (Figura 4-B e 5-C). Para os demais grupos mapeados na área 2 não foi possível a comparação, para o mesmo período, devido a presença de efeito pepita puro para estes conjuntos de dados.

Dinardo-Miranda & Fracasso (2009) também encontraram dificuldades em seu estudo de variabilidade espacial em áreas com *Meloidogyne*, uma vez que não foi possível o mapeamento de três das quatro áreas amostradas. Os autores atribuíram tais

dificuldades à adoção de uma escala amostral maior do que a escala em que ocorre a dependência espacial entre os pontos. Outro fator ressaltado pelos autores é que o cultivo comercial de cana no Brasil envolve um grande número de variedades, cultivadas nos mais diferentes ambientes de produção, o que interfere na distribuição espacial de nematóides.

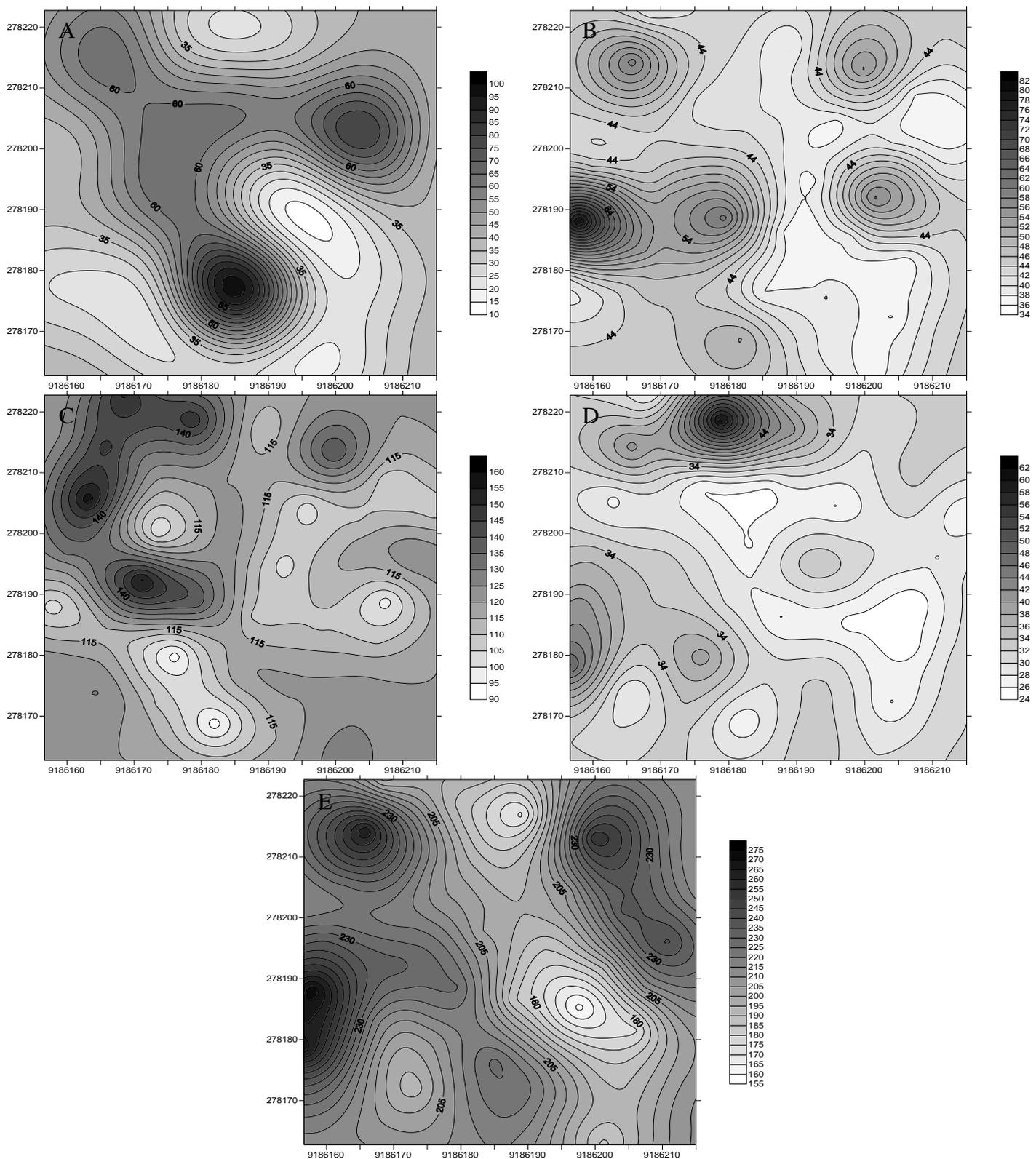


Figura 3 – Mapas de isolinhas para Vida livre (0-20 cm) (A), Endoparasitas (0-20 cm) (B), Ectoparasitas (40-60 cm) (C), Vida livre (40-60 cm) (D) e Total de nematóides (0-20 cm) (E), na área 1 antes da aplicação da vinha.

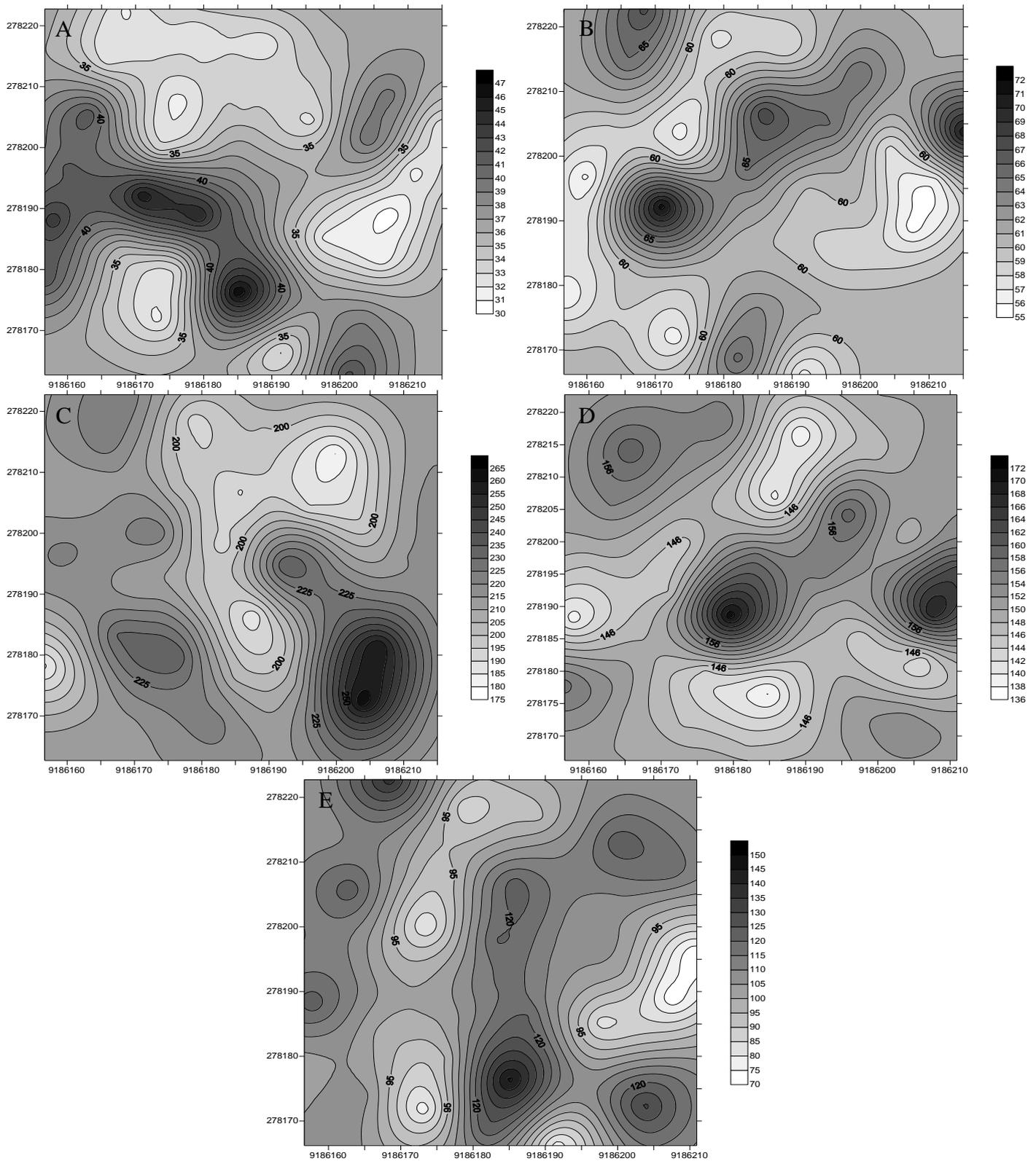


Figura 4 – Mapas de isolinhas para Endoparasitas (40-60 cm) (A), Ectoparasitas (40-60 cm) (B), Total de nematóides (40-60 cm) (C), Total de nematóides (0-20 cm) (D) e Total de nematóides (40-60 cm) (E), na área 1 após à aplicação da vinha.

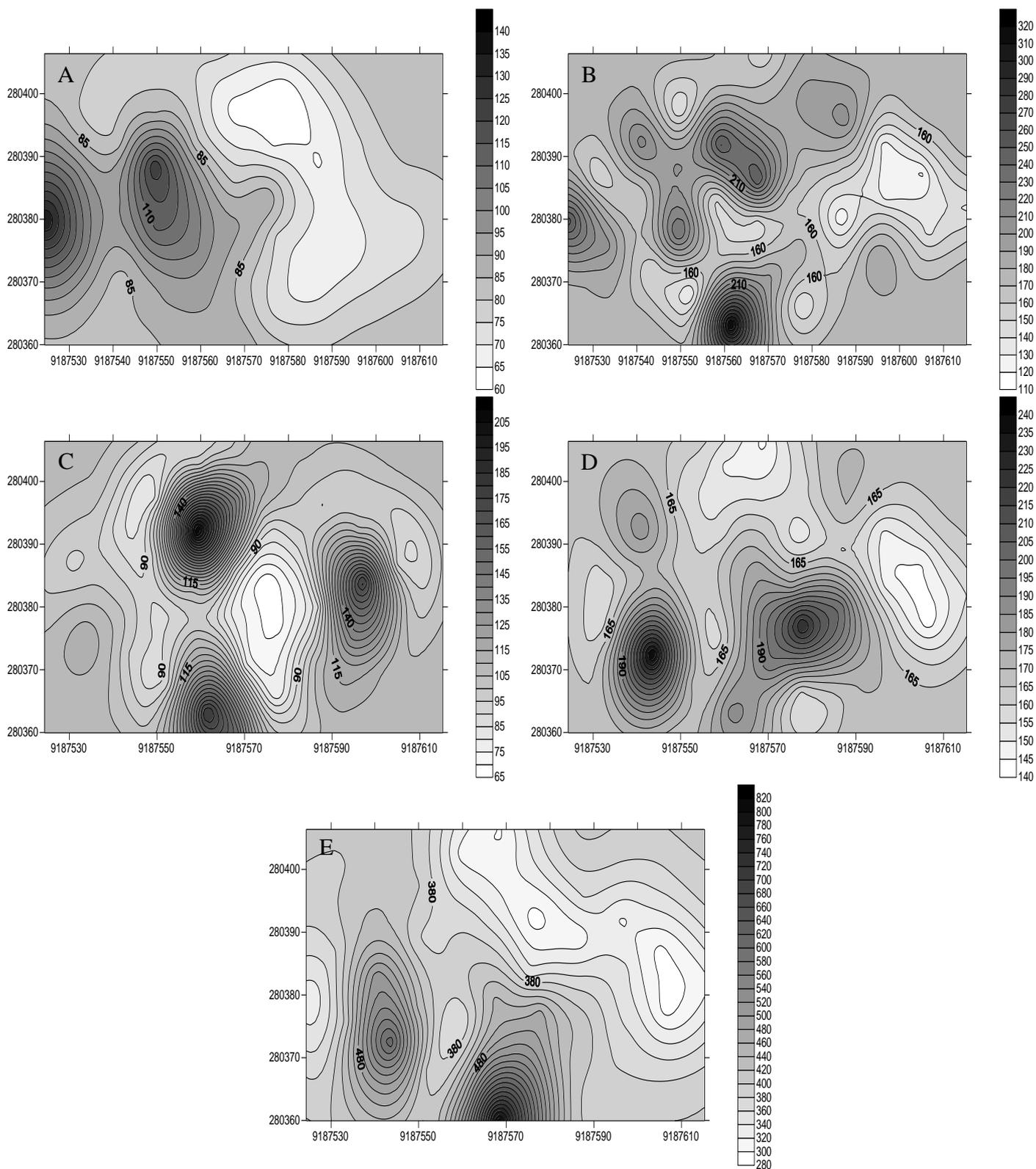


Figura 5 – Mapas de isolinhas para Endoparasitas (0-20 cm) (A), Ectoparasitas (20-40 cm) (B), Endoparasitas (20-40 cm) (C), Ectoparasitas (40-60 cm) (D) e Total de nematóides (40-60 cm) (E), na área 2, antes da aplicação da vinha.

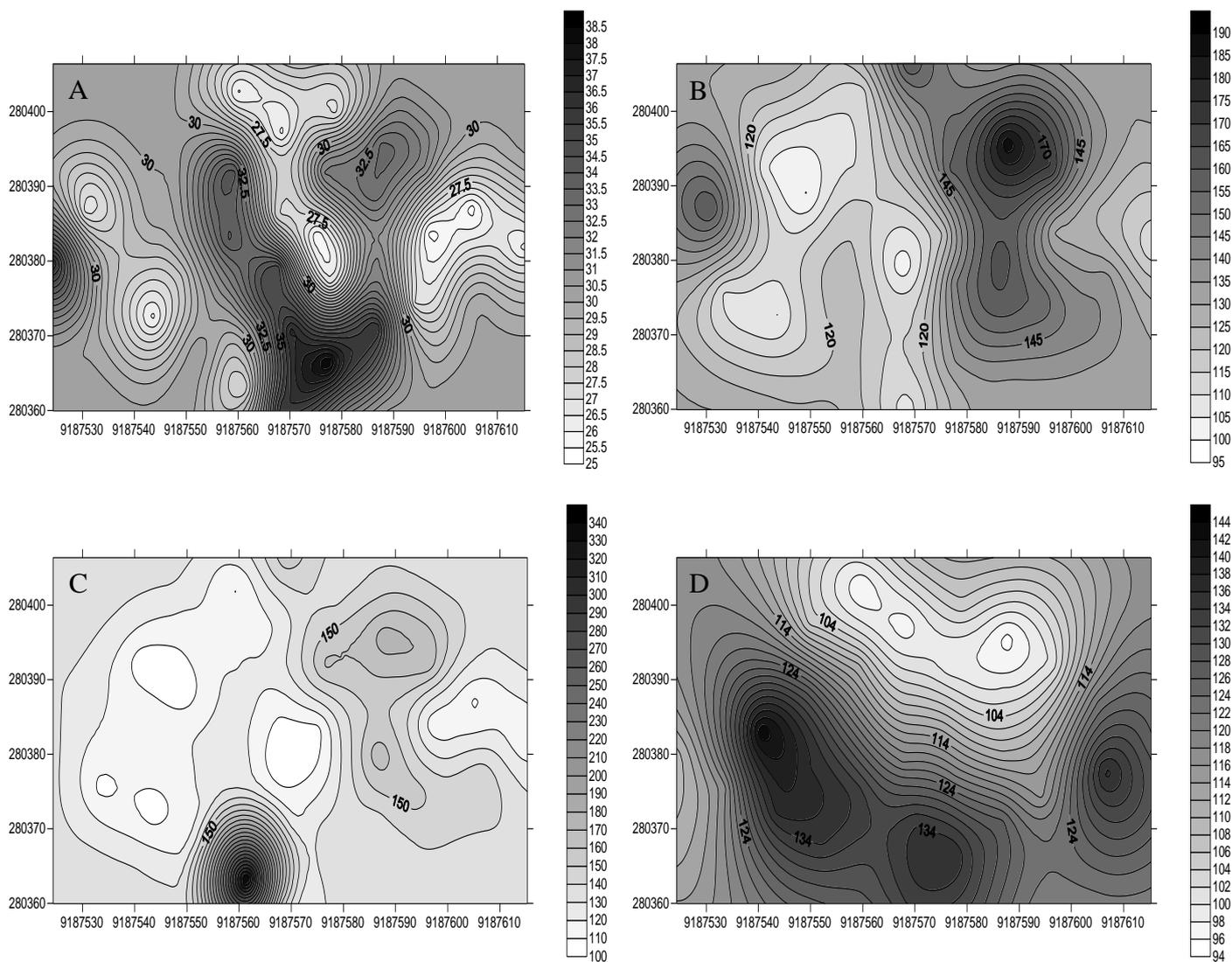


Figura 6 – Mapas de isolinhas para Vida livre (0-20 cm) (A), Total de nematóides (20-40 cm) (B), Ectoparasitas (20-40 cm) (C), e Total de nematóides (40-60 cm) (D), na área 2, após 40 dias da aplicação da vinha.

Na Tabela 14 estão apresentados a estatística descritiva e os parâmetros de ajuste dos semivariogramas, para as frações granulométricas (areia, silte e argila) do solo. Semelhantes aos dados analisados para os nematóides, o teste de Kolmogorov Smirnov também indicou normalidade dos dados ao nível de 1% de significância.

Na análise do coeficiente de variação, adotando-se o critério proposto por Warrick & Nielsen (1980), cujos coeficientes são classificados em três níveis: baixo ( $CV < 12\%$ ), médio ( $12\% < CV < 62\%$ ) e alto ( $CV > 62\%$ ), observou-se que para os

dados referentes às frações granulométricas areia (2,36) e silte (4,99) os valores de CV foram baixos, enquanto para fração argila (12,98 e 16,03) foram verificados médios valores de CV (Tabela 14).

Campos et al. (2007) na tentativa de caracterizar a variabilidade espacial de atributos físicos e hídricos de um Espodossolo Cárbico hidromórfico na zona da mata de Pernambuco, também encontraram baixos valores de CV para as frações areia (3,12), silte (10,24) e argila (11,73), diferenciando do presente estudo apenas na fração argila. Por outro lado, Souza et al. (2008) examinando a dependência espacial das frações granulométricas de um solo aluvial sob cultivo agrícola em um lote aluvial irrigado, encontraram valores médios de CV para as frações granulométricas areia (26,08), silte (16,01) e argila (14,81). Silva et al. (2010), trabalhando com o mesmo tipo de solo, também observaram médios valores de CV para as três frações granulométricas.

O modelo de semivariograma que melhor se ajustou às variáveis areia, silte e argila foi o esférico (Tabela 14). Segundo McBratney & Webster (1986) o modelo esférico é um dos modelos mais frequentes no ajuste aos semivariogramas dos atributos do solo. Entretanto esse resultado difere do encontrado por Souza *et al.* (2008), que obtiveram com o modelo Gaussiano o melhor ajuste para os semivariogramas das três frações granulométricas.

Foi verificado um efeito pepita puro para areia, silte e argila na área 1, independente da camada de solo. Isso deve ter ocorrido, em função da grande uniformidade na área, no que diz respeito à textura do solo, sendo esta composta por 95% da fração areia ao longo das três camadas avaliadas.

Para área 2 o efeito pepita puro ficou evidenciado, principalmente nas camadas mais superficiais, com exceção da fração argila que apresentou um moderado grau de dependência espacial, segundo a classificação proposta por Cambardella et al. (1994), na camada de 20-40 cm. Na camada mais profunda (40-60 cm) ficou demonstrado um moderado grau de dependência espacial para fração areia e silte e baixo grau para fração argila (Tabela 14).

Campos et al. (2007) também encontraram moderado grau de dependência espacial para as três frações granulométricas do solo e divergem de Souza *et al.* (2008) que encontraram forte grau de dependência para essas mesmas variáveis. Já Silva et al. (2010) observaram fraca dependência espacial para areia, silte e argila, independente da profundidade de estudo.

No presente trabalho foram encontrados valores de alcances de 15,07, 18,60 e 18,20 para areia, silte e argila respectivamente na camada de 40-60 cm. Resultados semelhantes foram encontrados por Vieira (1997) que obteve alcances de 15m para argila e silte em um Latossolo Roxo Distrófico sob preparo convencional, trabalhando em uma parcela de 30 x 30m, com malha de regular de 5m nas duas direções, formando 49 pontos amostrais.

Souza et al. (2008), trabalhando com um Neossolo Flúvico, verificou alcances de 56, 50 e 55m para areia, argila e silte respectivamente, entretanto Silva et. al. (2010) verificou valores de alcance máximo de 23,04 para silte na camada mais superficial (0-20 cm) enquanto que nas camadas mais profundas (20-40 e 40-60 cm) os valores de alcances foram 5,69 para areia e 7,11 para argila, respectivamente. Essas diferenças podem ser decorrentes das características físicas de cada solo, mesmo no caso do Neossolo Flúvico que apesar de ser o mesmo tipo de solo para os estudos de Souza et al. (2008) e Silva et. al. (2010), apresentam características físicas distintas.

Tabela 14 – Estatística descritiva para atributos físicos do solo e parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados aos dados experimentais na área 2.

Estatística descritiva	Areia	Silte	Argila	
	40-60 cm	40-60 cm	20-40 cm	40-60 cm
Média	86,19	2,51	8,36	11,30
Desvio Padrão	2,03	0,75	1,09	1,81
Mediana	86,48	2,50	8,16	11,02
CV (%)	2,36	4,99	12,98	16,03
Assimetria	-0,12	-0,26	0,43	0,20
Curtose	-0,09	-0,55	-0,67	-0,20
Quartil superior	84,84	2,00	7,66	10,09
Quartil inferior	87,52	3,00	8,77	12,88
Amplitude total	2,68	1,00	1,11	2,79
Parâmetros de ajuste do semivariograma				
Efeito Pepita (Co)	2,76	0,45	0,90	2,66
Patamar (Co + C1)	3,85	0,60	1,26	3,17
Alcance	15,07	18,60	15,78	18,20
Co/(Co + C1)	71,77	74,96	71,87	83,96
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico

Co/ Co + C1- grau de dependência espacial de Cambardella (%); CV - Coeficiente de Variação

Analisando-se os mapas de isolinhas para as frações granulométricas (Figura 7) destaca-se o mapa da fração silte na camada (40-60 cm) (Figura 7-B) que confirma a relação encontrada pela análise de correlação de Pearson (Tabela 9) entre essa fração e os

ectoparasitos da mesma camada (Figura 5-D). A correlação da fração silte com o total de nematóides nesta mesma camada (Tabela 9) também ficou evidenciada nos mapas de isolinha (Figura 5-E), entretanto com menor evidência quando comparado com a relação entre os ectoparasitos e silte.

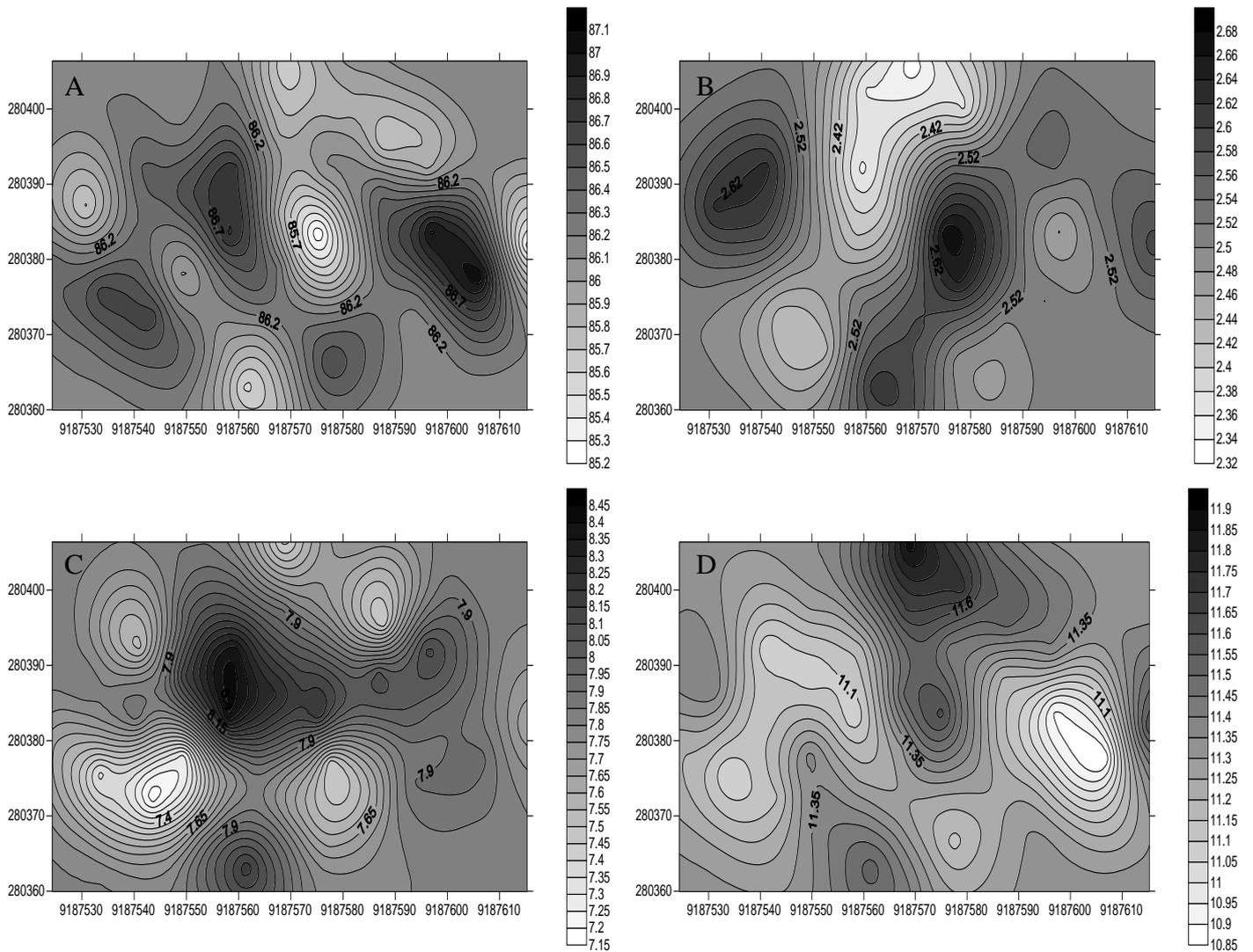


Figura 7 – Mapas de isolinhas para, areia (40-60 cm) (A), Silte (40-60 cm) (B), Argila (20-40 cm) (C), e Argila (40-60 cm) (D), na área 2, após 40 dias da aplicação da vinha.

## CONCLUSÕES

O período de 40 dias após aplicação da vinhaça no solo coberto pelo palhiço da cana-de-açúcar foi suficiente para provocar mudanças significativas na densidade do solo e porosidade total nas duas áreas estudadas.

A cobertura com o palhiço da cana-de-açúcar, nos dois solos estudados, ambos classificados como areia, não foi suficiente para manter a umidade desses solos após um período de 40 dias, entretanto contribuiu para manter níveis maiores de evolução de C-CO<sub>2</sub> na superfície do solo.

A adição da vinhaça ao solo coberto pelo palhiço da cana-de-açúcar se mostrou eficiente na redução da população de nematóides endoparasitos, ectoparasitos e de vida livre, na cultura da cana-de-açúcar.

Analisando a variabilidade espacial dos nematóides em cana-de-açúcar, antes e depois da aplicação da vinhaça, verificou-se a presença de efeito pepita puro para maiorias dos dados. Quanto evidenciada a presença de dependência espacial, essa variou entre moderado à baixo grau de dependência.

## LITERATURA CITADA

- Andrioli, I. Efeitos da vinhaça em algumas propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro textura média. Piracicaba: ESALQ, 1986. 85p. Tese Doutorado.
- Barker, K. R.; Campbell, C. L. Sampling nematode populations. In: Zuckerman, B. M.; Rohde, R. A. Plant parasitic nematodes. New York: Academic Press, 1985. p.452-474.
- Bezerra, S.A.; Cantalice, J. R. B. Erosão entre sulcos em diferentes condições de cobertura do solo, sob cultivo da cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.30, p.565-573, 2006.

- Blake, C. D. Nematodes parasites of bananas and their control. In: Nematodes of tropical crops. St. Albans: Tech. Commun. Commonw. Bur. Helmith.,1969. p.109-132.
- Brun, E. J. Matéria orgânica do solo em plantios de Pinus taeda e P. elliottii em duas regiões do Rio Grande do Sul. Santa Maria: UFSM, 2008. 119p. Tese Doutorado.
- Camargo, O. A.; Valadares, J. M. A. S.; GeraldI, R. N. Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 1983. 30 p. (Boletim Técnico, 76).
- Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Pakin, T. B.; Karlem, D. L.; Turco, R. F.; Konopa, A. A. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, v.58, p.1501-1511, 1994.
- Camilotti, F.; Andrioli, I.; Marques, M. O.; Silva, A. R.; Tasso Júnior, L. C.; Nobile, F. O. Atributos físicos de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar após aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. Engenharia Agrícola, v.26, p.738-747, 2006.
- Campos, D. V. B.; Braz, S. P.; Machado, P. L. O. A.; Santos, G. A.; Lima, E.; Alves, B. J. R., Boddey, R. M.; Urquiaga, S. Mudança no conteúdo de matéria orgânica do solo sob a cultura de cana-de-açúcar e pastagem em argissolo de Conceição da Barra – ES. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004. 4p. (Circular Técnica, 10).
- Campos, M. C. C.; Ferraz, F. B.; Freitas, E. W. S.; Souza, Z. M. Dependência espacial de atributos físicos e hídricos de um Espodossolo da zona da mata de Pernambuco. R. Bio. Ci. Terra, v.7, p.84-91, 2007.
- Canellas, L. P.; Velloso, A. C. X.; Marciano, C. R.; Ramalho, J. F. G. P.; Roumjaneck, V. M.; Rezende, C. E.; Santos, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação de palhiço e adição de vinhaça por longo tempo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.935-944, 2003.
- Cardoso, M. O. Relações entre a nematofauna e o grau de compactação do solo em área cultivada com cana-de-açúcar e em remanescente de Floresta Atlântica. Recife: UFRPE, 2010, 70p. Dissertação Mestrado.

- Carvalho, J. R. P.; Silveira, P. M.; Vieira, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.1151-1159, 2002.
- Caswell, E. P.; Chellemi, D. A. A geostatistical analysis of spatial pattern of *Rotylenchus reniformis* in Hawaiian pineapple field. *Journal of Nematology*, v.16, p.603, 1986.
- Ceddia, M. B.; Anjos, L. H. C.; Lima, E.; Ravelli Neto, A.; Silva, L. A. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo podzólico amarelo no Estado do Espírito Santo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, p.1467-1473, 1999.
- Chieregati, A. C.; PitarD, F. F. The challenge of sampling gold. In: World Conference on Sampling and Blending, 4, 2009. Cape Town. Proceedings... Johannesburg: SAIMM, 2009. p. 107-112.
- Cordeiro, F. C.; Dias, F. C.; Merlim, A. O.; Correia, M. E. F.; Aquino, A. M.; Brown, G. Diversidade da macrofauna invertebrada do solo como indicadora da qualidade do solo em sistema de manejo orgânico de produção. *Agronomia*, v.24, p.29-30, 2004.
- 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.
- Dinardo-Miranda, L. L.; Fracasso, J. V. Spatial distribution of plant-parasitic nematodes in sugarcane fields. *Sci. Agric.*, v.66, p.188-194, 2009.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- Englund, E.; Sparks, A. Geo-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software). Las Vegas: U.S. Environmental Protection Agency, 1991. EPA/600/4-88/033<sup>a</sup>.

- Florini, D. A.; Loria, R.; Kotcon, J. B. Influence of edaphic factors and previous crop on *Pratylenchus* spp. Population densities in potato. *Journal of Nematology*, v.19, p.85-92, 1987.
- Francl, L. J. Multivariate analysis of selected edaphic factors and their relationship to *Heterodera glycines* population density. *Journal of Nematology*, v.25, p.270-276, 1993.
- Grisi, B. M. Método químico de medição da respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. *Revista. Ciência e Cultura*, v.30, p.82-88, 1978.
- Hoaglin, D.C.; Mosteller, F.; Tykey, J. W. Análisis exploratória de datos: Técnicas robustas, un guia. Lisboa: Salamandra, 1983. 446p.
- JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, Beltsville, v. 48, n. 9, p. 692, 1964.
- Jordaan, E. M.; Waele, D. D.; Van Rooyen, P. J. Endoparasitic nematodes in maize roots in the Western Transvaal as related to soil texture and rainfall. *Journal of Nematology*, v.21, p.356-360, 1989.
- Liebhold, A. M.; Rossi, R. E.; Kemp, W. P. Geostatistic and geographic information system in applied insect ecology. *Annual Review of Entomology*, v.38, p.303-327, 1993.
- Mai WF, Mullin PG, Lyon HH, Loeffle K (1996) Plant-Parasitic nematodes: a pictorial key to genera. Cornell University Press. Ithaca, NY.
- Mai, W. F.; Mullin, P. G.; Lyon, H. H.; Loeffle, K. Plant-Parasitic nematodes: a pictorial key to genera. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1996.
- 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. Recife: UFRPE, 2008. 126p. Tese Doutorado.

- Matos, D. S. S. Amostragem e efeito da vinhaça sobre a distribuição de nematóides associados à cana-de-açúcar em áreas de encosta e tabuleiro da mata norte de Pernambuco. Recife: UFRPE, 2010. 90p. Tese Doutorado.
- Matos, D. S. S.; Pedrosa, E. M. R.; Guimarães, L. M. P.; Rodrigues, C. V. M. A.; Barbosa, N. M. R.. Relações entre a nematofauna e atributos químicos de solo com vinhaça. *Nematrópica*, v.41, p.23-38, 2011.
- McBratney, A. B.; Webster, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. *Soil Science*, v.37, p.617-639, 1986.
- Miranda, T. L. Relações entre atributos físicos e biológicos do solo após operações de colheita e aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar. Recife: UFRPE, 2009, 81p. Dissertação Mestrado.
- Noe, J. P.; Barker, K. R. Relation of within-field spatial variation of plant-parasitic nematode population densities and edaphic factors. *Phytopathology*, v.75, p.247-252, 1985.
- Olabiyi, T. I.; Olayiwola, A. O.; Oyediran, G. O. Influence of soil textures on distribution of phytonematodes in the South Western. *World Journal of Agricultural Sciences*, v.5, p.557-560, 2009.
- Oliveira, C. M. G.; Perigo, C. V.; Kubo, R. K Primeira ocorrência de *Aphelenchoides besseyi* Allen & Jensen, 1951 em begônia. *Arquivos do Instituto Biológico*, v.72, p.81, 2005. Suplemento 2.
- Panachuki, E.; Alves Sobrinho, T.; Vitorino, A. C. T.; Carvalho, D. F.; Urchei, M. A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada em área de integração agricultura-pecuária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.261-268, 2006.
- 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, (Suplemento), p.197-201, 2005.

- Peres, J. G.; Souza, C. F.; LavorentI, N. A. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. *Engenharia Agrícola*, v.30, p.875-886, 2010.
- Pinheiro, J. B.; Pozza, E. A.; Pozza, A. A. A.; Moreira, A. S.; Alves, M. C.; Compos, V. P. Influência da nutrição mineral na distribuição espacial do nematóide de cisto da soja. *Nematologia Brasileira*, v.32, p.270-278, 2008.
- Quénéhervé, P. Populatin of nematodes in soil inder banana cv. Poyo in the Ivory Coast. 2. Influence of soil texture, pH and organic matter on nematode populations. *Revue de Nématologie*, v.11, p.245-251, 1988.
- Reichardt, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445p.
- Robaina, F. G.; SeijaS, T. L. Distribución especial de la conductividad hidráulica de saturación en un área cañera de la llanura Habana-Matanzas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, v.11, p.71-76, 2002.
- Rossi, J. P.; Delaville, L.; Quénéhervé, P. Microspotal structure of a plant-parasitic nematode community in a sugarcane field in Martinique. *Applied Soil Ecology*, v.3, p.17-26, 1996.
- SAS - Institute Inc. SAS/STAT 9.3 User's guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. 2009.
- Silva, A. J. N. Alterações físicas e químicas de um Argissolo Amarelo coeso sob diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 120p. Tese Doutorado.
- Silva, A. J. N.; Cabeda, M. S. V.; LimA, J. F. W. F. Efeitos de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um argissolo amarelo de Tabuleiro Costeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.833-842, 2005.
- Silva, G. A.; Souto, J. S.; Araujo, J. L. Atividade microbiana em Luvisolo do Semi-árido da Paraíba após incorporação de resíduos vegetais. *Agropecuária Técnica*, v. 27, p.13-20, 2006.

- Silva, J. J. N.; Montenegro, A. A. A.; Silva, E. F. F.; Fontes Júnior, R. V. P.; Silva, A. P. N. Variabilidade espacial de parâmetros de crescimento da mamoneira e de atributos físico-químicos em Neossolo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v.14, p.921–931, 2010.
- Souza, Z. M.; Silva, M. L. S.; Guimarães, G. L.; Campos, D. T. S.; Carvalho, M. P. & Pereira, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob semeadura direta, em Selvíria, MS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.699-707, 2001.
- Souza, Z. M.; Júnior, J. M.; Pereira, G. T.; Moreira, L. F. Influência da pedofórmula na variabilidade espacial de alguns atributos físicos e hídricos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Irriga*, v.9, p.1-11, 2004.
- Souza, E. R.; Montenegro, A. A. A.; Montenegro, S. M. G. L.; Santos, T. E. M.; Andrade, T. S.; Pedrosa, E. R. Variabilidade espacial das frações granulométricas e da salinidade em um Neossolo Flúvico do semi-árido. *Ciência Rural*, v.38, p.698-704, 2008.
- Turco, R. F.; Blume, E. Indicators of soil quality. In: Siqueira, J. O.; Moreira, F. M. S.; Lopes, A. S.; Guilherme, L. G. R.; Faquin, V.; Furtini Neto, A. E.; Carvalho, J. G. *Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas*. Viçosa: SBCS, 1999. p.529-549.
- Utset, A.; Cid, G. Soil penetrometer resistance spatial variability in a Ferralsol at several soil moisture conditions. *Soil Tillage Research*, v.61, p.193-202, 2001.
- Vasconcelos, R. F. B.; Cantalice, J. R. B.; Oliveira, V. S.; Costa, Y. D. J.; Cavalcante, D. M. Estabilidade de agregados de um latossolo amarelo distrófico de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v.34, p.309-316, 2010.
- Vicente, T. F. S. Estabilidade de agregados e relações de atributos do solo com a nematofauna em áreas de cultivo de cana-de-açúcar. Recife: UFRPE, 2011. 83p. Dissertação Mestrado.

Wallace, M. K.; Rust, R. H.; Hawkins, D. M.; Macdonald, D. H. Correlation of Edaphic Factors with Plant-Parasitic Nematode Population-Densities in a Forage Field. *Journal of Nematology*, n.25, p.642-653, 1993.

Yates, G. W.; Bongers, T.; De Goede, R. G. M.; Freckman, D. W.; Georgieva, S. S. Feeding habits in nematode families and genera- an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*, v.25, p.315-331, 1993.

Zolin, C. A.; Paulino, J.; Bertonha, A.; Freitas, P. S. L.; Folegatti, M. V. Estudo exploratório do uso da vinhaça ao longo do tempo. I. Características do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.22-28, 2011.