

**THAIS FERNANDA DA SILVA VICENTE**

**ESTABILIDADE DE AGREGADOS E RELAÇÕES DE ATRIBUTOS  
DO SOLO COM A NEMATOFUNA EM ÁREAS DE CULTIVO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR**

Recife – PE

Agosto, 2011

**THAIS FERNANDA DA SILVA VICENTE**

**ESTABILIDADE DE AGREGADOS E RELAÇÕES DE ATRIBUTOS  
DO SOLO COM A NEMATOFUNA EM ÁREAS DE CULTIVO DE  
CANA-DE-AÇÚCAR**

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

**COMITÊ DE ORIENTAÇÃO:**

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

Prof<sup>o</sup>. Dr. Mário Monteiro Rolim – Co-orientador

Dr<sup>a</sup>. Andréa Cristina Baltar Barros – Co-orientadora

Recife – PE

Agosto, 2011

**THAIS FERNANDA DA SILVA VICENTE**

**ESTABILIDADE DE AGREGADOS E RELAÇÕES DE  
ATRIBUTOS DO SOLO COM A NEMATOFAUNA EM ÁREAS DE  
CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação defendida e aprovada pela Banca Examinadora em 11 / 08 /2011

ORIENTADORA:

---

Prof. Dra. Elvira Maria Régis Pedrosa (UFRPE)

EXAMINADORES:

---

Dra. Andréa Cristina Baltar Barros (CETENE – MCT/NE)

---

Prof. Dr. Mário Monteiro Rolim (UFRPE)

---

Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva (UFRPE)

Recife – PE

Agosto, 2011

“Nada é mais importante do que criar um ambiente no qual as pessoas sintam que fazem uma diferença. Não há como se sentir bem em relação ao que você está fazendo sem acreditar que está fazendo uma diferença”.

**Jack Stack**

Aos meus pais, **Jorge Augusto Vicente e Iêda Cristina da Silva Vicente**, pelo amor, pela força e dedicação, sempre presentes em todos os momentos da minha vida, proporcionando minha formação.

## **DEDICO**

Aos meus avós maternos **Lenita Vieira e Severino Ramos**, pelo incentivo e confiança, sempre apoiando minhas decisões.

Ao meu irmão **Ney Augusto da Silva Vicente**, pela amizade e apoio em todos os momentos de minha vida.

Aos meus avós paternos **José Augusto Vicente e Adalgisa Vicente** (*in memoriam*).

## **OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, presente em minha vida, principalmente nos momentos difíceis de minha caminhada;

À minha orientadora **Dra. Elvira Maria Régis Pedrosa**, a quem muito respeito e possuo um enorme carinho, meu agradecimento especial pela orientação, contribuindo para minha formação profissional e, sobretudo, pela seriedade, competência, atenção, amizade e hombridade;

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

À **Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE)**, pela concessão da bolsa de estudo e fomento do projeto;

Ao **Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (Profº. Dr. Mário Monteiro Rolim)**, pelo apoio e oportunidade de realização de parte desta pesquisa, oferecendo toda infra-estrutura de apoio material e laboratorial, para desenvolvimento de trabalhos práticos;

Ao professor **Dr. Veronildo de Souza Oliveira** pelo apoio, ensinamentos e valiosa contribuição nos estudos realizados;

Ao professor **Dr. Brivaldo Gomes de Almeida** pelos ensinamentos transmitidos com seriedade e compromisso e pela infra-estrutura de apoio laboratorial, para realização de algumas etapas necessárias para o presente trabalho;

A **Lílian Guimarães e Sandra Maranhão**, pela competência, atenção, carinho, compreensão, paciência e inestimável contribuição para a realização e conclusão deste trabalho;

À equipe das **Usinas Estreliana, Salgado, União Indústria e Trapiche** e aos **Engenheiros Agrônomos Pedro Souza, Paulo André Belo, Júlio Costa Filho e Cauby Peixoto**, pela cessão das áreas experimentais e pelo apoio durante todo o período de realização da pesquisa;

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

Em especial as minhas AMIGAS **Anailda Souza pelas palavras de apoio, Liliane Pinheiro, Patrícia Ângelo, Suzana Paula**, pela presença constante em todos os momentos, proporcionando-me tranquilidade nos momentos difíceis, pelos bons momentos de descontração, pelo carinho e amizade incondicionais;

A minha querida amiga que me acompanhou, auxiliou no desenvolvimento do estudo, **Ana Karina**, por momentos que passamos juntas, companheirismo e solidariedade durante essa jornada. A **Diego Huggins, Aluizio Cordeiro e Jefferson Serpa** pela inestimável ajuda prestada nas viagens á campo, nos laboratórios e pelos momentos de descontração. A **Gledson Pontes** pela solidariedade e presteza nos momentos de necessidade e a **Rodrigo Tadeu** pela colaboração nos ensaios de estabilidade de agregados;

À equipe e amigos do Laboratório de Fitonematologia, **Arinaldo Silva, Carmem Mareco, Carmem Virgínia, Cícero Costa, Daniela Salgues, Hugo Bentzen, Maurício Estolano**, minha irmãzinha **Mônica Freitas e Natália Ribeiro**,

pelas colaborações técnicas, amizade e agradável convívio nos momentos alegres e difíceis, sempre arrostados com muita união;

As amigas do curso **Adriana Guedes, minha meia xará Marcela TAÍS Barreto, Uilka Elisa, Taciana Oliveira**, pelos bons momentos vividos. **A Rafael Fernandes** pela ajuda e constante consulta, **a Samuel Marcus, Sonyvagno Silva, Wellington Pereira**;

Aos meus eternos amigos, inesquecíveis e especiais **Eduardo Ribeiro e Robertson Fontes** por maravilhosos anos vividos juntos, eterna atenção, carinho, paciência e estímulo;

Aos **trabalhadores das usinas Estreliana, Salgado, Trapiche e União e Indústria**, que me ajudaram nas coletas das amostras;

**Aos funcionários do Setor de Conservação de Veículos (SCV)**, em especial a **Antônio José Barbosa Melo (Zeca)**, pela atenção e valioso esforço, tornando possível à realização das viagens de campo;

Finalmente, a **todos** que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização desse trabalho.



## SUMÁRIO

	pág.
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>X</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO I – Introdução Geral</b> .....	<b>16</b>
Cana-de-açúcar: aspectos econômicos.....	17
Influência da vinhaça nas propriedades do solo.....	18
Agregados do solo.....	19
Nematoides como bioindicadores de qualidade do solo.....	21
Referências Bibliográficas.....	24
<b>CAPÍTULO II - Estabilidade de agregados do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar no litoral sul de Pernambuco</b> .....	<b>29</b>
Resumo.....	30
Abstract.....	30
Introdução.....	31
Material e Métodos.....	33
Resultados e Discussão.....	37
Conclusões.....	47
Agradecimentos.....	47
Literatura Citada.....	47
<b>CAPÍTULO III – Relações de atributos do solo com a nematofauna em áreas de cultivo de cana-de-açúcar</b> .....	<b>52</b>
Resumo.....	53
Abstract.....	54
Introdução.....	54
Material e Métodos.....	56
Resultados e Discussão.....	63
Conclusões.....	79
Agradecimentos.....	79
Referências Bibliográficas.....	79

## LISTA DE TABELAS

	pág.
<b>Capítulo 2</b>	
<b>Tabela 1.</b> Análise dos dados nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar no litoral sul de Estado de Pernambuco.....	33
<b>Tabela 2.</b> Caracterização física das 12 áreas estudadas.....	35
<b>Tabela 3.</b> Correlações entre os índices de estabilidade de agregados, as propriedades físicas e a matéria orgânica do solo.....	37
<b>Tabela 4.</b> Diâmetro médio ponderado, módulo de finura e percentagem de agregados > 2,00 mm, determinados nos sistemas de manejo com duas profundidades.....	39
<b>Tabela 5.</b> Correlações significativas entre os atributos do solo nas 12 áreas cultivadas com cana-de-açúcar no litoral sul de Pernambuco.....	45
<b>Capítulo 3</b>	
<b>Tabela 1.</b> Caracterização das áreas estudadas no litoral sul do Estado de Pernambuco.....	57
<b>Tabela 2A.</b> Caracterização física e química das áreas 1 a 4 estudadas.....	58
<b>Tabela 2B.</b> Caracterização física e química das áreas 5 a 9 estudadas.....	59
<b>Tabela 2C.</b> Caracterização física e química das áreas 10 a 14 estudadas.....	60
<b>Tabela 3.</b> Atributos físicos e químicos de 14 áreas cultivadas com cana-de-açúcar nas camadas 0,0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4 e 0,4-0,5 m do solo no litoral sul de Pernambuco.....	65
<b>Tabela 4.</b> Densidade populacional da nematofauna nas camadas de 0,0-0,1, 0, 0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4 e 0,4-0,5 m do solo de 14 áreas cultivadas com cana-de-açúcar no litoral sul de Pernambuco.....	66
<b>Tabela 5.</b> Coeficiente de correlação significativa entre os nematoides e as características dos solos cultivados com cana-de-açúcar no litoral sul de Pernambuco.....	68
<b>Tabela 6.</b> Correlação entre variáveis e eixos gerados, significância do teste de permutação de Monte Carlo e variância explicada.....	71
<b>Tabela 7.</b> Atributos físicos e químicos do solo e namatóides em 14 áreas cultivadas com cana-de-açúcar no litoral sul de Pernambuco.....	767

## LISTA DE FIGURAS

	pág
<b>Capítulo 2</b>	
<b>Figura 1.</b> Distribuição dos agregados estáveis em água na profundidade de 0,0-0,2 m em áreas com vinhaça (A.) e sem vinhaça (B.), no litoral sul de Pernambuco.....	40
<b>Figura 2.</b> Distribuição dos agregados estáveis em água na profundidade de 0,2 – 0,4 m em áreas com vinhaça (A.) e sem vinhaça (B.), no litoral sul de Pernambuco.....	40
<b>Figura 3.</b> Relação entre o diâmetro médio ponderado (DMP) e o carbono orgânico (COT) de diferentes áreas com vinhaça (A.) e sem vinhaça, nas duas camadas (0,0-0,2 e 0,2-0,4 m).....	42
<b>Figura 4.</b> Relação entre a percentagem de agregados (AGRI) e o carbono orgânico (COT) de diferentes áreas com vinhaça (A.) e sem vinhaça (B.), nas duas camadas (0,0-0,2 e 0,2-0,4 m).....	42
<b>Figura 5.</b> Relação entre o Módulo de finura (MF) e o Carbono orgânico (COT) de diferentes áreas com vinhaça (A.) e sem vinhaça (B.), nas duas camadas (0,0-0,2 e 0,2-0,4 m).....	43
<b>Capítulo 3</b>	
<b>Figura 1.</b> Diagrama de ordenação da Análise de Correspondência Canônica para os atributos do solo e comunidades de nematóides. <i>GFA</i> grau de floculação das argilas, <i>U</i> umidade gravimétrica, <i>Arg</i> teor de argila, <i>ADA</i> argila dispersa em água, <i>Si</i> teor de silte, <i>Ar</i> teor de Areia, <i>Ag</i> areia grossa, <i>Af</i> areia fina. <i>Endo</i> Endoparasitas, <i>PP</i> parasitos de planta, <i>Ecto</i> ectoparasitas, <i>Pred</i> predadores, <i>VL</i> vida livre, <i>Bac</i> bacteriófagos e <i>Mic</i> micófagos.....	72
<b>Figura 2.</b> Dendograma horizontal da análise hierárquica de agrupamento pelo método de <i>UPGMA</i> para comunidades de nematóides em áreas com e sem aplicação de vinhaça. <i>SV1</i> sem vinhaça (área 1), <i>SV2</i> sem vinhaça (área 2), <i>SV3</i> sem vinhaça (área 3), <i>SV4</i> sem vinhaça (área 4), <i>SV5</i> sem vinhaça (área 5), <i>SV6</i> sem vinhaça (área 6), <i>SV7</i> sem vinhaça área 7, <i>CV1</i> com vinhaça (área 1), <i>CV2</i> com vinhaça (área 2), <i>CV3</i> com vinhaça (área 3), <i>CV4</i> com vinhaça (área 4), <i>CV5</i> com vinhaça área 5, <i>CV6</i> com vinhaça (área 6), <i>CV7</i> com vinhaça (área 7)	74
<b>Figura 3.</b> Dendograma horizontal da análise hierárquica de agrupamento pelo método de Ward para comunidades de nematóides e em áreas com e sem aplicação de vinhaça. <i>SV1</i> sem vinhaça (área 1), <i>SV2</i> sem vinhaça (área 2), <i>SV3</i> sem vinhaça (área 3), <i>SV4</i> sem vinhaça (área 4), <i>SV5</i> sem vinhaça (área 5), <i>SV6</i> sem vinhaça (área 6), <i>SV7</i> sem vinhaça área 7, <i>CV1</i> com vinhaça (área 1), <i>CV2</i> com vinhaça (área 2), <i>CV3</i> com vinhaça (área 3), <i>CV4</i> com vinhaça (área 4), <i>CV5</i> com vinhaça área 5, <i>CV6</i> com vinhaça (área 6), <i>CV7</i> com vinhaça (área 7)	75

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivos avaliar efeitos da aplicação da vinhaça na estabilidade dos agregados do solo, correlacionar atributos físicos do solo com os índices de agregação e nematofauna em áreas cultivadas com cana-de-açúcar no litoral sul do estado de Pernambuco. Para os estudos de estabilidade de agregados, as 96 amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m, em 12 áreas com e sem aplicação de vinhaça. Para caracterização do solo foram realizadas análises granulométricas, densidade do solo, porosidade total, densidade de partículas, argila dispersa em água, grau de flocculação das argilas, pH em água, pH em KCl, carbono orgânico total, matéria orgânica e evolução C-CO<sub>2</sub> do solo. Amostras de solo foram coletadas para avaliação da estabilidade dos agregados estáveis em água, por meio dos índices de agregação: diâmetro médio ponderado (DMP), módulo de finura (MF) e percentagem de agregados > 2,00 mm (AGRI). Os dados foram submetidos à análise de variância e análise de correlação de Pearson ao nível de 5% de probabilidade. Os índices de agregação do solo DMP, AGRI e MF apresentaram diferença significativa na avaliação das áreas com e sem aplicação de vinhaça. Para as áreas com vinhaça o carbono orgânico apresentou melhores correlações com os indicadores DMP, AGRI e MF. As maiores percentagens de agregados estáveis em água > 2,00 mm ocorreram na profundidade de 0,0-0,2 m, nas áreas com vinhaça. Para os estudos com a nematofauna, as amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0,0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4 e 0,4-0,5 m, e as de raízes na camada de 0,2-0,3 m, em 14 áreas. Nas 258 amostras de solo coletadas foram realizadas análises granulométricas, densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total, argila dispersa em água, grau de flocculação das argilas, pH em água e pH em KCl, matéria orgânica, evolução C-CO<sub>2</sub> do solo e caracterização da nematofauna, sendo determinado o grau de correlação linear simples entre os pares de dados obtidos pelo coeficiente de correlação de Pearson a 5% de probabilidade. As relações dos componentes da nematofauna com as frações granulométricas, densidade do solo e densidade de partícula variaram com o nematoide envolvido. O carbono orgânico total, a matéria orgânica e a atividade heterotrófica da biomassa do solo influenciaram diretamente a densidade populacional dos nematóides, no entanto, as áreas estudadas foram mais heterogêneas em atributos

de solo do que em estrutura de nematofauna. Foram realizadas análises de Correspondência Canônica (CCA) e de agrupamento hierárquico através dos algoritmos *UPGMA* e Ward. A CCA apresentou baixas correlações entre as propriedades do solo e os *taxa* de nematóides, conferindo a outros fatores ambientais o poder de explicar as relações entre *taxa*-ambiente. Os agrupamentos utilizando os algoritmos *UPGMA* e Ward, baseados nas distâncias Euclidiana e Sorensen(Bray-Curtis) foram semelhantes. Não diferenciando a estrutura das comunidades de nematóides entre as áreas com e sem aplicação de vinhaça.

**PALAVRAS-CHAVE:** Índice de agregação do solo, matéria orgânica, nematoide, qualidade de solo, *Saccharum*, vinhaça

## ABSTRACT

The present study had as objective evaluating effects of vinasse application on aggregates stability and correlating physical and chemical soil attributes with indices of soil aggregation and nematode community in sugarcane growing areas at south coast of Pernambuco, Brazil. For aggregates stability studies, soil samples were collected from layers at 0.0-0.2 and 0.2-0.4 m in 12 areas with and without vinasse application. Textural analysis of soils was carried out and it was evaluated particle density, soil density, total porosity, clay disperses in water, flocculation grade of clay, pH in water and in KCl, total organic carbon, organic matter and C-CO<sub>2</sub> evolution in soil. No deformed soil samples were collected and evaluated for stability of aggregates in water through the aggregation indices: ponder medium diameter (PMD), finer module (FM) and percentage of aggregate > 2.00 mm (AGRI). Data were submitted to analysis of variance and Pearson's correlation coefficient at 0.05 level of probability. There was no difference in areas with and without vinasse for the soil aggregation indices PMD, FM and AGRI. In areas with vinasse organic carbon presented better correlations with PMD, FM and AGRI. The higher percentage of AGRI occurred at 0.0-0.2 m in areas with vinasse. For nematode community studies, soil samples were collected from layers at 0.0-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.3, 0.3-0.4 and 0.4-0.5 m and roots at 0.2-0.3 m, in 14 areas. In the 258 samples collected, it was carried out textural analysis of soils and evaluated particle density, soil density, total porosity, clay disperse in water, flocculation grade of clay, pH in water and in KCl, organic matter, C-CO<sub>2</sub> evolution in soil and nematode community structure. The grade of linear correlation between pair of points was determined through Pearson's correlation coefficient at 0.05 level of probability. The relations of the nematode community components with soil texture, soil density and particle density varied with nematode. The soil total organic carbon, organic matter and biomass heterotrophic activity directly influenced nematode population density, however, the areas studied were more heterogeneous within soil attributes than in nematode structure. Were conducted canonical correspondence analyses and Hierarchical cluster analyses using algorithms *UPGMA* and Ward. The CCA showed low correlations between soil properties and the rate of nematodes, giving other environmental factors the power to explain relations between rate-environment. The clusters using *UPGMA* and Ward algorithms, based

on Euclidean distances and Sorensen (Bray-Curtis) were similar. Not differentiating the structure of nematode communities between areas with and without application of vinasse.

**KEYWORDS:** Aggregation indices, nematode, organic matter, soil quality, *Saccharum*, vinasse

# **CAPÍTULO 1**

---

## **INTRODUÇÃO GERAL**



## INTRODUÇÃO GERAL

### 1. Cana-de-Açúcar: aspectos econômicos

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). A área colhida da cana na safra 2010/2011 é de mais de 9 milhões de hectares, distribuídos por todas as unidades produtoras, a produção nacional foi de aproximadamente 719 milhões de toneladas de cana e a produtividade foi de mais de 79 milhões de t/h de cana. O estado de São Paulo lidera a produção total, cerca de 60 milhões, seguido pelo Paraná e Minas Gerais. Pernambuco com aproximadamente 20 milhões e toneladas ocupa o sétimo lugar no ranking da produção nacional de cana-de-açúcar. (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2011).

Os produtos gerados pela cana, além de servirem como fonte de alimentação animal, são também utilizados para a produção de álcool (etanol), bebidas e açúcar, gerando eletricidade a partir do bagaço via indústria alcoolquímica. (MARANHÃO, 2008).

Dentre os produtos originados da cana-de-açúcar o etanol, tem se destacado devido à importância na produção de combustíveis com recursos renováveis e menos poluentes, logo, o aumento em investimentos tem gerado uma maior produção. O etanol além do uso como combustível automotivo é um importante oxigenante para ser adicionado à gasolina no lugar de aditivos altamente poluentes. (SINDICATO DA INDÚSTRIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO ESTADO DE PERNAMBUCO – SINDAÇÚCAR, 2011).

A produção do etanol alcançou 24,72 bilhões de litros, crescimento de 14,04% comparado ao mesmo período de 2009. Do total produzido de etanol, 17,51 bilhões de litros foram de etanol hidratado e 7, 21 de etanol anidro (UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – ÚNICA, 2011). O etanol anidro com um teor alcoólico superior a 99,3° INPM, serve como oxigenante para ser adicionado à gasolina no lugar de aditivos altamente poluentes, o álcool hidratado, com graduação alcoólica em torno de 93,2° INPM, em geral é utilizado como combustível automotivo.

No estado de Pernambuco, a safra 2010/2011, foi equivalente a 159.837m<sup>3</sup> de álcool. Na safra 2010/2011, o estado de Pernambuco, teve participação com produção de 225.259 m<sup>3</sup>. (SINDICATO DA INDÚSTRIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO

ESTADO DE PERNAMBUCO – SINDAÇÚCAR, 2011).

Em Pernambuco a produção sucroalcooleira está distribuída em 22 unidades, divididas 15 usinas mistas, 3 destilarias e 4 usinas de açúcar (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA, 2010) as quais estão distribuídas entre as Zonas da Mata Norte, Setentrional e Sul. Esta última possui a maior quantidade de unidades produtoras, devido à história da colonização e implantação da cultura da cana no Estado e ao recente desenvolvimento econômico dessa região.

## **2. Influência da vinhaça nas propriedades do solo**

Um dos subprodutos derivados da produção do etanol é a vinhaça que possui maior importância por causa do grande volume produzido (BARROS, 2008). De acordo com a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, (2006), a vinhaça é um líquido derivado da destilação do vinho, que é resultante da fermentação do caldo da cana-de-açúcar ou melaço, produzido em muitos países do mundo como subproduto da produção de álcool (SILVA; BARROS; COSTA, 2006; GEMTOS; CHOULIARAS; MARAKIS, 1999).

O resíduo é formado a partir de três tipos de mostos diferentes, o que lhe confere níveis variáveis para cada elemento mineral. O mosto do melaço é o mais rico porque apresenta os maiores níveis de NPK. O mosto misto é produzido em usinas como destilarias, e o mosto de caldo, produzido em destilarias isoladas (BARROS, 2008; GIACHINI; FERRAZ, 2009).

A vinhaça tem como características, alto poder poluente e fertilizante; o poder poluente, cerca de cem vezes maior que no esgoto doméstico, decorrente da sua riqueza em matéria orgânica, elevada concentração de potássio, baixo pH, elevada corrosividade e altos índices de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) variando de 20.000 a 35.000 mg L<sup>-1</sup> (BARROS, 2008). Rica em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e potássio a vinhaça está sendo utilizada como fonte de nutrientes para cultura da cana-de-açúcar (SEVERIANO, 2007; GONÇALVES; BORGES; SILVA, 2009).

Segundo Vasconcelos et al. (2010), a matéria orgânica exerce influência sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas quando é incorporada ao solo. Os resíduos orgânicos diminuem a densidade do solo e criam poros de diâmetro grande,

que favorecem a entrada de ar e drenagem de água.

Canellas et al. (2003) estudaram as propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça por longo tempo. Os autores observaram, que sucessivas aplicações de vinhaça por longo período pode aumentar o teor de matéria orgânica, melhorando a condição física do solo.

Dessa forma aplicações de vinhaça podem alterar a condição física de solos cultivados com cana-de-açúcar, que estão sujeitos à desagregação provocada por determinados implementos, e compactação, causada pela pressão exercida por máquinas que trafegam intensamente na área (CAMILOTTI et al., 2006).

A utilização intensiva de máquinas e equipamentos agrícolas em todas as etapas de produção ocasiona mudanças nos atributos físicos do solo, que podem ser verificadas em superfície ou subsuperfície, principalmente através da formação de camada compactada. A compactação do solo é o processo de decréscimo de volume de solos não saturados quando determinada pressão externa é aplicada, seja por máquinas agrícolas, equipamentos ou animais (LIMA, 2004; JESUS, 2006). Para Stone; Guimarães e Moreira (2002); Ralisch et al.(2008), este processo ocorre quando o solo é submetido a mesma pressão, ocasionando redução de volume com conseqüente aumento da resistência mecânica do solo à penetração e densidade.

### **3. Agregados do solo**

O solo é um sistema complexo o qual é composto por três fases: gasosa, líquida e sólida. Na fase gasosa existem os gases  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ , em composições diferentes da atmosfera. O  $\text{CO}_2$  se encontra em maior proporção, enquanto o  $\text{O}_2$  em menor, devido às reações que ocorrem nos microorganismos e ao consumo de dióxido de carbono pelas plantas que é transportado para o solo. A líquida formada pela água, que promove mobilidade aos microorganismos e elementos químicos necessários ao desenvolvimento da planta. E por último a fase sólida, da qual fazem parte partículas de tamanhos diferentes, areia, silte e argila, populações microbianas e matéria orgânica em estágios de decomposição diferentes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; BARBOSA, 2010).

O solo tem como principais funções conceder sustentação às culturas, produzir alimentos e proteger a biodiversidade se tornando então, um recurso de vital

importância para a vida na terra. Perturbações no meio podem provocar rupturas na estrutura, alterações nas propriedades físicas e movimentação da água no solo, diminuição dos espaços porosos, alteração da diversidade de populações microbianas e modificação dos agregados do solo.

Os agregados são formados por partículas de areia, argila e silte. A matéria orgânica e os sais agem como agente cimentante, unindo as partículas primárias, exercendo uma força mecânica e provocando a união das partículas do solo (KIEHL, 1979; RECH; THOMAZ, 2008). A matéria orgânica não só age formando os agregados do solo, como também tem notável influência sobre as características químicas, físicas e biológicas (BAYER; BERTOL, 1999; MARTINS, 2009). Por esse motivo, é ótimo indicador das alterações no solo, pois não é apenas sensível às variações de clima e manejo, mas, às mudanças que ocorrem no solo como resultado da interferência humana (CORDEIRO, 2006).

De acordo com Tisdall e Oades (1982) a matéria orgânica que está diretamente ligada à formação dos agregados pode ser dividida em três grupos: os transitórios que são decompostos de forma rápida pelos microorganismos, sendo associados à formação de agregados maiores que 0,25 mm; os temporários são compostos por hifas de fungos e raízes que são responsáveis pela formação de macroagregados jovens; os persistentes são formados pelos materiais humificados, que ao se ligarem à fração mineral, formam os microagregados, ou agregados menores que 0,25 mm.

A estabilização dos agregados é avaliada através de alguns índices como diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade dos agregados (IEA), propostos por Kemper e Chepil (1965). Quanto maior for a percentagem de macroagregados retidos em peneiras com maiores malhas, maior será o DMP, podendo refletir na resistência do solo à erosão (CASTRO FILHO; MUZILLI; PODANOSCHI, 1998). Por outro lado, o DMG representa uma estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência, enquanto o IEA é uma medida da agregação total do solo e não considera a distribuição por classes de agregados, ou seja, quanto maior a quantidade de agregados menor o IEA.

Estudos vêm sendo realizados para comprovar que o tipo de manejo e também a utilização de implementos agrícolas comprometem os agregados do solo. Garcia e Rosolem (2010) avaliaram a influência dos cultivos de outono-inverno e primavera,

em sistema de plantio direto, nos agregados e matéria orgânica de um Latossolo. Os tratamentos no outono-inverno foram: braquiária (*Urochloa ruziziensis* (R.Germ.& Evrard) Crins), sorgo granífero (*Sorghum bicolor*, (L.) Moench) e sorgo consorciado com braquiária. Na primavera foram cultivados milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown)), ‘Cober Crop’ (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.), crotalária (*Crotalaria juncea* L.) ou pousio, e no verão foi cultivada a soja (*Glycine max* (L.) Merr.), onde concluíram que a estruturação do solo melhorou com a rotação dos cultivos antecedentes ao verão. O cultivo de ‘Cover Crop’ e milheto influenciou a formação de macroagregados nas camadas superficiais.

Vasconcelos et al. (2010), estudaram os diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar e diversos níveis de resíduos orgânicos sobre a distribuição dos agregados em Latossolo Amarelo Distrocoeso nos tabuleiros Costeiros de Alagoas. Os autores observaram que os diferentes sistemas de manejo promoveram alterações na distribuição de agregados e que a estabilização dos agregados na camada superficial dependeu do teor de matéria orgânica e da ação dos ciclos sucessivos de umedecimento e secagem do solo.

A estabilidade e a distribuição dos agregados em Argissolo Distrocoeso cultivado com cana-de-açúcar e três tipos de manejo em comparação com a mata nativa foram estudadas por Oliveira et al. (2010). Os autores concluíram que os agregados se mantêm em condições originais na área com mata nativa, seguido de área na qual era aplicada vinhaça, por causa da adição de matéria orgânica, favorecendo a agregação do solo e registrando também os menores índices de agregação na área sem aplicação do resíduo.

Em face ao que foi estudado na literatura, a estabilidade de agregados tem sido usada como indicador da qualidade física do solo, pois de acordo com o manejo do solo é sensível a alterações.

#### **4. Nematoides como bioindicadores de qualidade do solo**

Os nematoides estão entre os mais numerosos e diversos organismos multicelulares encontrados em qualquer ecossistema. Estima-se que quatro de cada cinco animais na Terra sejam nematoides (BONGERS; FERRIS, 1999; PAUL, 2007). Fazem parte do mais abundante filo de metazoários e em termos de quantidade é um

dos mais importantes *taxa* dos ecossistemas do solo (WALL; SKENE; NEILSON, 2002). Compõem um rico grupo da fauna, com 20.000 espécies descritas, encontrados em alguns ambientes como água doce, sedimentos marinhos e solos, estimando-se que esta quantidade seja menor do que 5% da diversidade total de nematoides (WALL; VIRGINIA, 1999).

De acordo com Yeates et al. (1993) os nematoides são classificados segundo o hábito alimentar, onde são divididos em cinco grupos principais: (1) parasitos de plantas, que se alimentam de plantas vasculares e possuem estiletos; (2) bacteriófagos, compostos por espécies que se alimentam de qualquer fonte procaríota, onde se incluem as bactérias, fazendo parte desta ordem o gênero *Rhabditidae* que são importantes na decomposição da matéria orgânica; (3) micófagos onde a principal fonte de alimento são os fungos, possuem estiletos para poder penetrar nas hifas, os membros da ordem do *Aphelenchidae* fazem parte deste grupo; (4) predadores, alimentam-se de nematoides, outros grupos funcionais e outros invertebrados do solo e (5) onívoros, que não ocupam uma posição separada na cadeia alimentar, mas se alimentam de todos os níveis tróficos.

Os nematoides vêm sendo utilizados como indicadores da qualidade do solo, bem como da estabilidade do habitat (GORALCZYK, 1998), por causa de sua abundância, diversidade e presença nos ecossistemas, servindo como indicadores de distúrbios ambientais (FERRIS; BONGERS; GOEDE, 2001; YEATES, 2003; HÖSS et al., 2004; SCHRATZBERGER et al., 2006; HEININGER et al., 2007). Possuem também, os atributos mais importantes que o qualificam como possível bioindicador, tais como, diversidade de estratégias de vida e hábitos alimentares, curto ciclo de vida e bem definidos procedimentos de amostragem (PORAZINSKA et al., 1999; MEDEIROS et al., 2008).

Apesar do curto ciclo de vida, os nematoides possuem estratégias de sobrevivência importantes para entender os fenômenos de epidemia e dispersão desses bioindicadores sob condições adversas. No estágio de dormência a atividade metabólica do nematóide diminui sob condições de estresse ambiental. Quando as condições ambientais voltam ao normal, a atividade metabólica cessa, fazendo com que os nematoides retornem a atividade normal (RITZINGER; FANCELLI; RITZINGER, 2010).

Na fase de dormência vai além do esperado, o metabolismo do microorganismo pode chegar a níveis muito baixos. Wharton (1986) define como anidrobiose o estágio de dormência em decorrência da perda gradual de água provocada por situações de estresse. Tal processo acontece quando através da diminuição dos poros por compactação do solo e exposição de solos a temperatura elevadas, ocasionando a perda de água no solo (RITZINGER; FANCELLI; RITZINGER, 2010).

Qualquer mudança ambiental ou perturbação que afete a composição ou fisiologia das plantas tais como textura, química e fatores climáticos do solo, podem alterar a diversidade de espécies em grupos funcionais. Esses grupos podem ser divididos em cinco a oito, em solos de regiões temperadas, tropicais ou mesmo árticas (WALL; VIRGINIA, 1999).

Estudos onde os nematoides atuam como indicadores de qualidade do solo apresentaram resultados favoráveis, mostrando distúrbios sofridos pelo solo. Medeiros et al. (2008) descreveram a estrutura trófica da comunidade de nematoides em ecossistema costeiro de dunas móveis no Rio Grande do Norte. Os autores encontraram baixa diversidade de famílias e baixa abundância de dorilaimídeos refletindo alto nível de distúrbio ao qual o habitat está sujeito. Zhang et al. (2011) utilizaram nematoides como bioindicadores para indicar possível poluição do solo por metais pesados, e evidenciaram que a comunidade de nematoides é uma das mais importantes e significantes indicador biológico de poluição do solo.

A comunidade de nematoides prevalece em áreas de mata nativa e em áreas de cultivo perenes do que em áreas com cultivos anuais como evidencia Tomazini, Ferraz e Monteiro (2008). Os autores constataram que através dos índices de maturidade (MI), índice de maturidade modificado (mMI) e índice de parasitos de planta (PPI) indicaram menor ocorrência de distúrbio na mata e no pomar cítrico que nas demais áreas cultivadas.

Cardoso (2010) estudou o potencial de utilização dos nematoides como bioindicadores da qualidade do solo, as relações entre as propriedades físicas do solo e a nematofauna associada à área com cana-de-açúcar e remanescentes da Floresta Atlântica, na Zona da Mata Norte de Pernambuco. O autor observou, que a diversidade de nematoides foi maior em áreas remanescentes da Floresta Atlântica, e

que a resistência mecânica do solo à penetração foi maior em área cultivada com cana-de-açúcar, afetando a comunidade de nematoides de vida livre, em especial os Dorylaimidae, que se mostraram sensíveis às alterações físicas do solo.

Mondino (2010), estudando a diversidade da comunidade de nematoides sob dois sistemas de plantio (direto e convencional) e com duas rotações (agricultura-pastagem e agricultura contínua), concluiu que a diversidade foi maior nos tratamentos onde ocorreu menor atividade do homem, e aqueles que tinham a rotação com pastagem em algum momento do cultivo.

Face o exposto, pode-se observar que os nematoides podem ser utilizados como bioindicadores de qualidade do solo, sendo sensível à mudança de manejo e à atuação antrópica no solo. Os objetivos do presente estudo foram avaliar efeitos da aplicação da vinhaça na estabilidade dos agregados do solo e correlacionar variações na nematofauna com características físicas e químicas de solos com diferentes atributos edáficos cultivados com cana-de-açúcar no litoral sul de Pernambuco.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, L. A. **Impacto de Sistemas de cultivo orgânico e convencional da cana-de-açúcar, nos atributos do solo**. 2010, 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

BARROS, R. P. **Estudo dos efeitos da aplicação da vinhaça na qualidade de solos em cultivos de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), e o uso de indicadores no sistema de produção**. Alagoas: Universidade Estadual de Alagoas, 2008.  
Disponível em: < <http://www.webartigos.com/articles/5211/1/Estudo-Dos-Efeitos-Da-Aplicacao-Da-Vinhaca-Na-Qualidade-De-Solos-Em-Cultivos-De-Cana-de-acucar-saccharum-Officinarum-L-E-O-Uso-De-Indicadores-No-Sistema-De-Producao/pagina1.html#ixzz0yLNOzIKf>>. Acesso em: 04 jul. 2010.

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.

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**, Jaboticabal, v. 26, p.738-747, 2006.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de



vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 935-44, 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**. 2010, 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistema de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 527-538, 1998.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. **Norma Técnica P4.231–Vinhaça – critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola – jan 2005**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/residuos-solidos/base3.pdf>>. Acesso em: 16. jan. 2010.

CORDEIRO, F. C. **Atributos edáficos em áreas de pastagem plantada em relevo movimentado no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro**. 2006, 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

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

GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Agregados em um latossolosob sistema de plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, p. 1489-1498, 2010.

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, p. 283-296, 1999.

GIACHINI, C. F; FERRAZ, M. V. Benefícios da Utilização de vinhaça em Terras de Plantio de Cana-de-açúcar – Revisão de Literatura. São Paulo: **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. Ano VII – Número 15 – junho de 2009 [ON LINE]. Disponível em:< [www.revista.inf.br](http://www.revista.inf.br)>. Acesso em: 04 jul. 2011.

GONÇALVES, H. M.; BORGES, J. D.; SILVA, M. A. S. Acúmulo de metais pesados e enxofre no solo em áreas de influência de canais de vinhaça de fertirrigação. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.25, p. 66-74, 2009.

GORALCZYK, K. Nematodes in a coastal dune succession: Indicators of soil properties. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 9, p. 465-469, 1998.

HEININGER, P.; HÖSS, S.; CLAUS, E.; PELZER, J.; TRAUNSPURGER, W. Nematode communities in contaminated river sediments. **Environmental Pollution**, Koblenz, v. 146, p. 64–76, 2007.

HÖSS, S.; TRAUNSPURGER, W.; SEVERIN, G. F.; JÜTTNER, I.; PFISTER, G.; SCHRAMM, K. W. Influence of 4-nonylphenol on the structure of nematode communities in freshwater microcosms. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 23, p. 1268-1275, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática**. Banco de dados gregados. Brasília: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011. Disponível em: <[HTTP://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1618&z=t&o=26](http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1618&z=t&o=26)>. Acesso em: 28 jun. 2011.

JESUS, C. P. **Atributos físicos do solo e produtividade da soja após um ano de integração lavoura-pecuária em área sob plantio direto**. 2006, 47f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina, 2006.

KEMPER, W. D., CHEPIL, W. S. Size of distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 1. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v. 1, p. 449-510.

KIEHL, E.J. (Ed.). **Manual de Edafologia: relação solo – planta**. 1. ed. São Paulo: Editora Agronômica CERES, 1979. v. 1, 264 p.

LIMA, C. L. R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004, 60f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **MAPA**. Brasília/DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/registros-autorizacoes/cadastro>>. Acesso em: 25 de jul. 2011.

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

MEDEIROS, H. A.; TORRES, G. R. C.; GUIMARÃES, I. M.; SALES JÚNIOR, R.; OLIVEIRA, O. F. Estrutura trófica e composição da nematofauna em um ecossistema costeiro de dunas. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, p. 102-112, 2008.

MONDINO, E. A. **Comunidade de nematoides do solo no ecossistema do Pampa Austral da Argentina sob diferentes sistemas de cultivo**. 2010, 122 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

MOREIRA, F. M. S., SIQUEIRA, J. O. (Ed.). **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. v. 1, 729 p.

OLIVEIRA, V. S.; ROLIM, M. M.; VASCONCELOS, R. F. B.; PEDROSA, E. M. R. Distribuição de Agregados e carbono orgânico em um argissolo amarelo distrocoeso em diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, p. 907-913, 2010.

PAUL, E. A. (Ed.). **Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry**. 3. ed. Oxford: UK. Elsevier Inc, 2007. 532 p.

PORAZINSKA, D. L.; DUNCAN, L. W.; MCSORLEY, R.; GRAHAM, J. H. Nematode communities as indicators of status and processes of a soil ecosystem influenced by agricultural management practices. **Applied Soil Ecology**. Amsterdam, v. 13, p. 69-86, 1999.

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, p.381-384, 2008.

RECH, L. C.; THOMAZ, E. L. Uso da terra e distribuição granulométrica: Estudo de caso de uma propriedade rural representativa em Laranjeiras do Sul-PR. **Revista Eletrônica *Latu sensu* – UNICENTRO**, Paraná, v. 1, p. 1-17, 2008, [ON LINE], ISSN: 1980-6116. Disponível em: <[http://web03.unicentro.br/especializacao/Revista\\_Pos/P%C3%A1ginas/6%20Edi%C3%A7%C3%A3o/Agrarias/PDF/7-Ed6\\_CA-UsoTe.pdf](http://web03.unicentro.br/especializacao/Revista_Pos/P%C3%A1ginas/6%20Edi%C3%A7%C3%A3o/Agrarias/PDF/7-Ed6_CA-UsoTe.pdf)> Acesso em: 12 de jun. 2011

RITZINGER, C. H. S. P.; FANCELLI, M.; RITZINGER, R. Nematoides: Bioindicadores de sustentabilidade e mudanças edafoclimáticas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, p. 1289-1296, 2010.

SCHRATZBERGER, M.; BOLAM, S.; WHOMERSLEY, P.; WARR, K. Differential response of nematode colonist communities to the intertidal placement of dredged material. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 334, p. 244-255, 2006.

SILVA, S. R., BARROS, N. F., COSTA, L. M. Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 842-847, 2006.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO ESTADO DE PERNAMBUCO. **SINDAÇÚCAR: sistema de recuperação automática**. Pernambuco: Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool no Estado de Pernambuco 2011. Disponível em: <[http://www.sindacucar.com.br/produtos\\_etanol\\_producao.html](http://www.sindacucar.com.br/produtos_etanol_producao.html)>. Acesso em: 01 de jun. 2011.

SEVERIANO, E. C. **Indicadores de qualidade estrutural na avaliação da compactação do solo em decorrência da colheita mecanizada da cana-de-açúcar**. 2007, 71f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

- STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro – I Efeitos nas propriedades físico - hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, p.207-212, 2002.
- TISDALL, J. M., OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, p. 141-163, 1982.
- TOMAZINI, M. D; FERRAZ, L. C. C. B.; MONTEIRO, A. R. Estrutura trófica e índices de maturidade de comunidades de nematoides em áreas contíguas de vegetação natural e submetidas a diferentes tipos de uso agrícola. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 32, p. 220-230, 2008.
- UNIÃO AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO. **ÚNICA**. Estatísticas. São Paulo: União da Agroindústria Canavieira de São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.portalunica.com.br/ação/cana.jsp>>.
- 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 Distrocioso de Tabuleiro Costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 309-316, 2010.
- WALL, D. H.; VIRGINIA, R. A. Controls on soil biodiversity: insights from extreme environments. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 13, p. 137-150, 1999.
- WALL, J. W.; SKENE, K. R. & NEILSON, R. Nematode community and trophic structure along a sand dune succession. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 35, p. 293 - 301, 2002.
- WHARTON, D. A. (Ed.). **A functional biology of nematodes**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1986. 192 p.
- YEATES, G.W. Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 37, p. 199-210, 2003.
- ZHANG, W.D.; XIAO, Y.; WANG, X. F.; LV, Y. Soil nematode community characteristics around the Gangue hill of Fushun West Open-pit mine. **Helminthologia**, Košice, v. 48, p. 116-123, 2011.

## **CAPÍTULO 2**

---

**ESTABILIDADE DE AGREGADOS DO SOLO EM ÁREAS CULTIVADAS  
COM CANA-DE-AÇÚCAR NO LITORAL SUL DE PERNAMBUCO**

## **Estabilidade de agregados do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar no litoral sul de pernambuco<sup>1</sup>**

**Resumo:** O presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação da vinhaça na estabilidade dos agregados e nos índices de agregação do solo, como também as correlações das propriedades físicas do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar no litoral sul do Estado de Pernambuco. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m, em 12 áreas com e sem aplicação de vinhaça. Análises foram realizadas para caracterização do solo e também argila dispersa em água, grau de floculação das argilas, pH em água, pH em KCl, carbono orgânico total, matéria orgânica e evolução C-CO<sub>2</sub> do solo. A avaliação da estabilidade dos agregados estáveis em água foi efetivada por meio dos índices de agregação: diâmetro médio ponderado (DMP), módulo de finura (MF) e percentagem de agregados > 2,00 mm (AGRI); que apresentaram diferença significativa na avaliação das áreas com e sem aplicação de vinhaça. Para as áreas com vinhaça o carbono orgânico apresentou melhores correlações com os indicadores DMP, AGRI e MF. As maiores percentagens de agregados estáveis em água > 2,00 mm ocorreram na profundidade de 0,0-0,2 m, nas áreas com vinhaça.

**Palavras-chave:** Índice de agregação do solo, carbono orgânico total, qualidade de solo, *Saccharum*, vinhaça

### **Soil attributes and soil aggregates stability relations in sugarcane fields with and without vinasse application**

**Abstract:** The present study had as objective the evaluation of the effects of vinasse application on aggregates stability and indexes of soil aggregation as well dependence of physical and soil attributes in sugarcane growing areas at south coast of Pernambuco, Brazil. Soil samples were collected from layers at 0.0-0.2 and 0.2-0.4 m in 12 areas with and without vinasse application. Textural analysis of soils was carried out and it was

evaluated particle density, bulk density, gravimetric moisture, total porosity, water dispersed clay, degree of soil clay flocculation, pH in water and in KCl, total organic carbon, organic matter and C-CO<sub>2</sub> evolution in soil. No deformed soil samples were collected and evaluated for stability of aggregates in water through the aggregation indices: ponder medium diameter (PMD), finer module (FM) and percentage of aggregate > 2.00 mm (AGRI). There was difference in areas with and without vinasse for the soil aggregation indices PMD, FM and AGRI. In areas with vinasse organic carbon presented better correlations with PMD, FM and AGRI. The higher percentage of AGRI occurred at 0.0-0.2 m in areas with vinasse.

**Key words:** Aggregation indices, organic matter, soil quality, *Saccharum*, vinasse

## INTRODUÇÃO

A relação entre o manejo e a qualidade do solo pode ser avaliada pelo comportamento das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Doran & Parkin, 1994). O efeito que o manejo provoca sobre as propriedades físicas do solo depende da textura e mineralogia, que influenciam a resistência e a resiliência do solo a determinada prática agrícola (Silva et al., 2005).

Além do manejo, o uso e o tempo que o solo vem sendo utilizado proporcionam alterações na agregação que se relaciona à estrutura (Matos et al., 2008; Loss et al., 2009, Coutinho et al, 2010).

A análise de determinados atributos como a argila dispersa em água (ADA) e o grau de flocculação (GF) se torna essencial para estudos conservacionistas (Santos et al., 2010), pois o primeiro age diretamente sobre a formação de camadas adensadas/compactadas e o segundo está relacionado à agregação das partículas do solo.

O processo de agregação envolve um conjunto de elementos como argila, ferro, alumínio e matéria orgânica atuando como agente cimentante unindo as partículas do solo, o que de acordo com Correa et al. (2009) aumenta a sua agregação. A estabilidade dos agregados tem sido constantemente ligada à capacidade do solo de resistir às forças externas que promovem a compactação (Silva et al., 2006).

Os agregados estáveis em água melhoram a porosidade, o que aumenta o processo de infiltração e também a resistência à erosão. Os agregados não estáveis podem desaparecer e dispersar-se sob o impacto das gotas de chuva (Assis & Bahia, 1998).

Dessa forma, ao fazer uso de sistemas de cultivo que aumentem a matéria orgânica do solo, estará contribuindo para o aumento da estabilidade de agregados e, conseqüentemente, para a melhoria da qualidade física do solo (Matos et al., 2008). A estabilização de agregados pode ser avaliada por parâmetros de agregação que poderão dar suporte às práticas agrícolas adotadas.

São muitos os benefícios proporcionados pela adição de matéria orgânica através de diferentes sistemas de manejo, nas propriedades físicas do solo dentre elas, se destaca a estabilidade dos agregados; além disso, também promove o aumento da produtividade das culturas.

Estudos vêm sendo realizados para comprovar as mudanças no solo através da adição da matéria orgânica. Bastos et al. (2005) que a aplicação de compostos orgânicos mostrou efeito marcante na melhoria de estabilidade em água dos agregados.

Para Vasconcelos et al. (2010) diferentes sistemas de manejo promoveram alterações na distribuição de agregados e na estabilização dos mesmos, na camada superficial dependeu do teor de matéria orgânica e da ação dos ciclos sucessivos de secagem e umedecimento do solo.

Dessa forma, o solo quando exposto a cultivos intensivos, sistemas de manejo inadequados e ao uso de implementos agrícolas pesados pode perder ou ter a sua estrutura original alterada contribuindo para a formação de camadas compactadas que provocam redução no volume dos poros e aumentam a densidade do solo, causando mudanças na estabilidade dos agregados do solo.

O presente estudo teve como objetivos avaliar efeitos da aplicação da vinhaça na estabilidade dos agregados do solo e correlacionar os índices de agregação com atributos físicos e químicos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar no litoral sul do Estado de Pernambuco.



## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no litoral sul do Estado de Pernambuco, em doze áreas cultivadas com cana-de-açúcar pertencentes às Usinas Estreliana (1,2 e 10), União & Indústria (3, 4, 5 e 11) e Trapiche (6,7, 8, 9 e 12) nos municípios de Ribeirão, Primavera e Sirinhaém, respectivamente. .

As coordenadas geográficas da primeira e última área são: Área 1: 8°, 52'04, 06''S e 35°, 38'48, 47'' W. Área 12: 8°, 56'22, 65''S e 35°, 51'25, 45''W. O clima da região é tropical úmido do tipo As' ou pseudotropical, de acordo com a classificação climática de Köppen, que se caracteriza por ser quente e úmido, com chuvas de outono a inverno, com temperaturas médias anuais variando em torno de 24°C.

Foram eleitas duas situações de manejos do solo: sete áreas irrigadas com vinhaça com diferentes históricos de aplicação e sete áreas sem vinhaça. A área com vinhaça vem sendo fertirrigadas em média há 4 anos.

Após a subsolagem o solo foi mobilizado através do sistema de preparo reduzido, utilizando-se grade e com posterior sulcagem. Durante o período de inverno para o preparo utiliza-se apenas sulcagem, no verão a gradagem e a sulcagem. Esse sistema de cultivo visa o revolvimento mínimo do solo e a quebra da camada compactada. A adubação é feita anualmente, o plantio e a colheita são realizadas manualmente (Tabela 1).

Tabela 1. Análise dos dados nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar no litoral sul do Estado de Pernambuco

Área	Vinhaça	Histórico da aplicação na área (anos)	Adubaçã o química (anos)	Produtividade média t ha <sup>-1</sup>	Histórico sem implemento agrícola (anos)	Variedade da cana-de-açúcar
1	CV	3	CAQ	62	5	SP86-4764
2	SV	-	CAQ	44	4	SP86-4764
3	SV	-	CAQ	75	9	SP78-4764
4	CV	4	SAQ	92	2	RB92-579
5	CV	-	SAQ	58	2	RB92-579
6	SV	-	CAQ(5)	72	5	RB86-3129
7	CV	5	SAQ	52	3	SP81-3250
8	SV	-	CAQ	56	1	SP78-4764
9	SV	-	CAQ	54	1	SP78-4764
10	CV	5	SAQ	81	2	SP81-3250
11	CV	3	SAQ	67	6	SP78-4764
12	SV	-	CAQ	80	2	SP93-3094

CV= Com vinhaça, SV= Sem vinhaça, CAQ= Com Adubação Química, SAQ= Sem Adubação Química

As amostras foram coletadas entre os meses de janeiro e fevereiro de 2011, onde foram escolhidos quatro pontos espaçados em 50 m, formando um quadrado dentro do talhão. Os pontos de amostragens foram localizados nas entre linhas da cultura da cana-de-açúcar, nos quais trincheiras foram abertas para a retirada das amostras nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, resultando em um total de 48 pontos e 96 amostras de solo, que foram retiradas com o auxílio de um trado de diâmetro 4,89 cm, altura 2,63 cm e volume 49,37 cm<sup>3</sup>. Em cada ponto foi retirado aproximadamente 600 cm<sup>3</sup> de solo para análises físicas, de pH em água e em KCl. Na Tabela 2 encontra-se a caracterização das áreas estudadas.

Tabela 2. Caracterização física das 12 áreas estudadas

Área	Vinhaça	Prof. (m)	Composição Granulométrica g kg <sup>-1</sup>			DS g cm <sup>3</sup>	MO (%)	θ (%)	Classe textural	localização
			Areia	Silte	Argila					
1	Com Vinhaça	0,0-0,2	514,9	188,1	297	1,38	2,67	0,20	Franco argilo-arenoso	Encosta
		0,2-0,4	504,9	163,1	332	1,50	1,58	0,20	Franco argilo-arenoso	
2	Sem Vinhaça	0,0-0,2	509,9	198,	292	1,41	2,61	0,25	Franco argilo-arenoso	Várzea
		0,2-0,4	439,9	138,1	422	1,41	1,45	0,28	Argila	
3	Sem Vinhaça	0,0-0,2	617,5	113,7	268,8	1,40	2,32	0,14	Franco argilo-arenoso	Várzea
		0,2-0,4	647,5	80,5	272	1,36	1,37	0,12	Franco argilo-arenoso	
4	Com Vinhaça	0,0-0,2	453	65	482	1,13	3,23	0,23	Argila	Várzea
		0,2-0,4	465,5	62,5	472	1,26	2,24	0,21	Argila	
5	Com Vinhaça	0,0-0,2	628	132,5	239,5	1,55	2,02	0,13	Franco argilo-arenoso	Encosta
		0,2-0,4	613	140	247	1,63	1,72	0,11	Franco argilo-arenoso	
6	Sem Vinhaça	0,0-0,2	655,5	122,5	222	1,42	2,03	0,16	Franco argilo-arenoso	Chã
		0,2-0,4	670,5	107,5	222	1,30	1,75	0,15	Franco argilo-arenoso	
7	Com Vinhaça	0,0-0,2	492,4	45,3	462,3	1,39	2,62	0,25	Argilo-arenoso	Várzea
		0,2-0,4	434,9	37,8	527,3	1,19	1,95	0,27	Argila	
8	Sem Vinhaça	0,0-0,2	664,3	37,8	300,1	1,37	2,21	0,20	Franco argilo-arenoso	Encosta
		0,2-0,4	615	24,9	360,1	1,5	1,94	0,20	Argilo-arenoso	
9	Sem Vinhaça	0,0-0,2	556,8	20,6	422,6	1,52	2,38	0,20	Argilo-arenoso	Várzea
		0,2-0,4	490,9	13,7	497,6	1,46	2,01	0,23	Argilo-arenoso	
10	Com Vinhaça	0,0-0,2	538,4	47,8	413,8	1,2	3,32	0,23	Argilo-arenoso	Várzea
		0,2-0,4	446,6	29,6	523,8	1,3	2,85	0,26	Argila	
11	Com Vinhaça	0,0-0,2	703	32,8	264,2	1,72	2,32	0,16	Franco argilo-arenoso	Várzea
		0,2-0,4	673	22,8	304,2	1,69	1,86	0,15	Franco argilo-arenoso	
12	Sem Vinhaça	0,0-0,2	578	55,3	366,7	1,11	2,02	0,27	Franco argilo-arenoso	Chã
		0,2-0,4	438	52,8	509,2	1,0	1,56	0,26	Argila	

Prof = profundidade, DS = densidade do solo, MO = matéria orgânica, θ = umidade gravimétrica

Após coletadas, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos transparentes, identificadas e conduzidas ao Laboratório de Mecânica do Solo e Aproveitamento de Resíduos da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), armazenadas para posterior análise; parte das amostras foi colocada para secar ao ar por 72 h e, posteriormente destorroada, passada na peneira de 2,00 mm, para análise granulométrica, densidade de partículas, carbono orgânico total (COT), matéria orgânica (MO), pH em água e KCl e evolução C-CO<sub>2</sub>. Outra parcela das amostras foi utilizada para análise de estabilidade de agregados em água. Os dados referentes ao

COT foram utilizados para avaliar as relações entre os índices de agregação e o COT, enquanto que os dados referentes a MO foram utilizados para as análises de correlações de Pearson entre os índices de estabilidade dos agregados e as propriedades físicas do solo e a MO.

As frações granulométricas de areia, silte e argila foram determinadas pelo método do densímetro de Boyoucos, utilizando um agitador mecânico como dispersante físico, durante 15 minutos para solos com textura argilosa e, 5 minutos para solos com textura arenosa, e como dispersante químico, 25 mL de hexametáfosfato de sódio (Calgon).

A análise do carbono orgânico total, pH em água e em KCL das amostras de solo foi determinada de acordo com a Embrapa (1997), enquanto que a evolução C-CO<sub>2</sub> pelo método de Grisi (1978).

A estabilidade de agregados em água foi estabelecida pelo método de Kemper & Chepil (1965) que utilizaram o aparelho de oscilação vertical (Yoder, 1936), através de peneiramento em água, após pré-umedecimento lento dos agregados, por capilaridade.

Para a determinação da agregação do solo, 100 g foram umedecidos e, posteriormente, colocados em dois conjuntos de cinco peneiras com malhas de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,125 mm, respectivamente; em seguida, os conjuntos de peneira foram submetidos a agitação vertical (42 ciclos por minuto) durante 15 minutos, em recipiente com água.

O material retido em cada peneira foi colocado em recipientes para secagem em estufa a 105°C, durante 24 horas. Os valores do diâmetro médio ponderado, DMP (Kemper & Rosenau, 1986), do módulo de finura, MF (Freire & Piedade Jr., 1979) e o AGRI, somatório dos percentuais, a 2,00 mm, AGRI (Wendling et al., 2005) foram determinados segundo as fórmulas a seguir:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (cp \times p) \quad (1)$$

$$MF = \sum [(4,00 - 2,00) + (2,00 - 1,00) + (1,00 - 0,50) + (0,50 - 0,25) + (0,25 - 0,125) (< 0,25)] \div 100 \quad (2)$$

$$AGRI = wi > 2 \times 100 \quad (3)$$

Onde:

$C_p$ = É o centro de cada classe de peneira;

P= O peso seco da amostra (%);

MF= Módulo de finura dos agregados;

$\Sigma$ = Somatório da porcentagem acumulada de agregados em cada classe;

$w_{i>2}$ = Representa a proporção de agregados  $>2,00$  mm.

Através dos dados gerados pelas análises foram efetuados cálculos de análise de variância e coeficientes de correlação de Pearson, utilizando o programa SAS - Statistical Analytical System (SAS Institute, 2003).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As correlações entre os índices de estabilidade de agregados (DMP, AGRI e MF), as propriedades físicas e a matéria orgânica do solo, encontram-se na Tabela 3, essa análise foi realizada para avaliar o grau de dependência entre os índices de estabilidade e as propriedades do solo.

Os índices se correlacionaram negativamente com a profundidade e com a densidade dos solos, demonstrando que quanto maior a profundidade maior é a densidade do solo. Para a matéria orgânica, o maior valor foi encontrado na primeira camada de solo (Tabela 2).

Tabela 3. Correlações entre os índices de estabilidade de agregados, as propriedades físicas e a matéria orgânica do solo

	Prof	DS	$\theta$	S	ADA	MO	Pt
AGRI	-0,37*	-0,33*	0,37*	0,34*	0,21**	0,81**	0,27*
DMP	-0,32*	-0,37*	0,43*	0,27*	0,26*	0,79**	0,32*
MF	-0,25**	-0,41*	0,46*	0,16**	-0,30*	0,73**	0,37*

PROF= profundidade,  $\theta$ = umidade gravimétrica, DS=densidade do solo, S= Silte, ADA= Argila dispersa em água, MO= Matéria Orgânica, Pt= Porosidade total, AGRI= Percentuais de agregados maiores do que 2 mm, DMP= Diâmetro Médio Ponderado e MF= Módulo de Finura. \*\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pela análise de correlação de Pearson \* Significativo ao nível de 1% de probabilidade pela análise de correlação de Pearson.

Oliveira et al. (2010) observaram que os índices AGRI, IEA, MF e DMP, na avaliação dos agregados estáveis em água, diminuíram com a profundidade do solo

entre os manejos sem irrigação e com vinhaça, devido a uma menor concentração da matéria orgânica nos horizontes inferiores. Os resultados encontrados corroboram os de Lima et al. (2003), que observaram diminuição do DMP com a profundidade em decorrência, provavelmente, da diminuição dos teores de carbono orgânico.

Correlações positivas ocorreram entre os índices de estabilidade AGRI, DMP e MF, a umidade gravimétrica, o teor de silte, a matéria orgânica e a porosidade total. Os resultados obtidos por Zalameña (2008) mostraram correlações positivas entre a matéria orgânica e os índices de estabilidade DMG, DMP e IEA. Resultado contrário foi encontrado por Mendes et al. (2006) que, avaliando solos de diferentes áreas em recuperação por meio de atributos físicos, não observaram correlação entre o índice de estabilidade DMP e a MO, a que atribuíram às áreas possuírem baixos teores de matéria orgânica.

Para Castro Filho et al. (1998) a matéria orgânica é um eficiente agente de formação de estabilização dos agregados, conseqüentemente é natural encontrar correlação entre a matéria orgânica e índices como DMP e IEA. Barros et al. (2010), por sua vez, acrescenta que a maior concentração do material orgânico nas primeiras camadas pode contribuir com a retenção de cátions e diminuir as perdas do solo por lixiviação.

O MF correlacionou-se negativamente com a argila dispersa em água, como era esperado, pois uma maior dispersão das partículas provocará uma menor estabilidade de agregados. De acordo com Azevedo & Bonumá (2004) o resultado da desagregação normalmente é a dispersão; a argila dispersa em água é a fração da argila do solo que se dispersa naturalmente em água por possuir maior mobilidade.

Os resultados para o Diâmetro médio ponderado, Módulo de finura e percentagem de agregados  $>2,00$  mm (AGRI), determinados nos sistemas de manejo com duas profundidades são apresentados na Tabela 4. Os valores médios do DMP, MF e AGRI apresentaram média geral de 1,50 mm; 3,17 e 29,84 %, respectivamente.

Os sistemas de manejo adotados não influenciaram nos valores do DMP, nas duas profundidades e nas diferentes áreas estudadas. Entretanto, ao avaliar as profundidades isoladamente, observa-se diferença estatística com diminuição das médias em relação à profundidade do solo.

A interação vinhaça  $\times$  profundidade não foi significativa para o diâmetro médio ponderado nas diversas áreas avaliadas. Vasconcellos et al. (2010) encontraram

diferença estatística ao avaliar a interação sistemas de manejo  $\times$  profundidade em relação ao DMP, por via úmida, para as áreas com e sem vinhaça.

Tabela 4. Diâmetro médio ponderado, módulo de finura e percentagem de agregados  $>2,00$  mm, determinados nos sistemas de manejo com duas profundidades

Profundidade (m)	Sistema de Manejo		Média
	Com Vinhaça	Sem Vinhaça	
Diâmetro Médio Ponderado (mm)			
0,2	1,72	1,59	1,66 A
0,4	1,42	1,29	1,36 B
Média	1,57 a	1,44 a	1,50
Módulo de Finura			
0,2	3,38	3,23	3,30 A
0,4	3,10	3,00	3,05 B
Média	3,24 a	3,11 a	3,17
AGRI (%)			
0,2	38,15	33,64	35,90 A
0,4	26,06	21,51	23,79 B
Média	32,11 a	27,58 a	29,84

Letras maiúsculas comparam diferenças entre as profundidades e minúsculas entre os manejos, em nível de 5% e 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Em relação ao MF, não houve interação entre sistema de manejo e profundidade nem foi significativa a influência da vinhaça, entretanto o MF diminuiu significativamente com a profundidade.

Para o AGRI, foram observados resultados semelhantes aos encontrados para os índices DMP e MF. Não houve diferença para os índices de estabilidade estudados em relação às áreas com e sem vinhaça, e para as diferentes áreas sob condições distintas de atributos físicos e químicos do solo (Tabela 4).

A análise dos agregados estáveis em água com o carbono orgânico total para as 12 Áreas nas camadas de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m com e sem vinhaça, se localizam nas Figuras 1, 2, 3, 4 e 5. As áreas foram assim separadas: A (1,2 e 10), B (3,4,5 e 11) e C (6, 7, 8, 9 e 12)

Nas áreas com vinhaça, na profundidade de 0,0-0,2 m (Figura 1A), os agregados  $> 2$  mm se encontram em maior distribuição nas áreas A, B e C, com 32,58, 44,09 e 37,8%, respectivamente, comprovando que o manejo com vinhaça contribuiu para a preservação dos agregados mesmo sabendo que essas áreas têm em média apenas 4 anos de aplicação (Tabela 1). Resultado semelhante foi encontrados por Oliveira et al. (2010)

com maior quantidade de classes de agregados  $> 2$  mm em área com vinhaça em relação aos demais manejos estudados.

Nas áreas com aplicação de vinhaça, os agregados com diâmetro entre 2,0 e 1,00 mm (Figura 1A) são melhores representados do que nas às áreas sem vinhaça. Diferença foi encontrada nas áreas A e C, que mantiveram maior percentagem de agregados nas áreas sem vinhaça. Os agregados pertencentes à classe entre 1,00-0,50 mm praticamente não apresentaram diferença para os manejos estudados, pois não foram observadas modificações para essas classes de agregados nos dois manejos estudados.

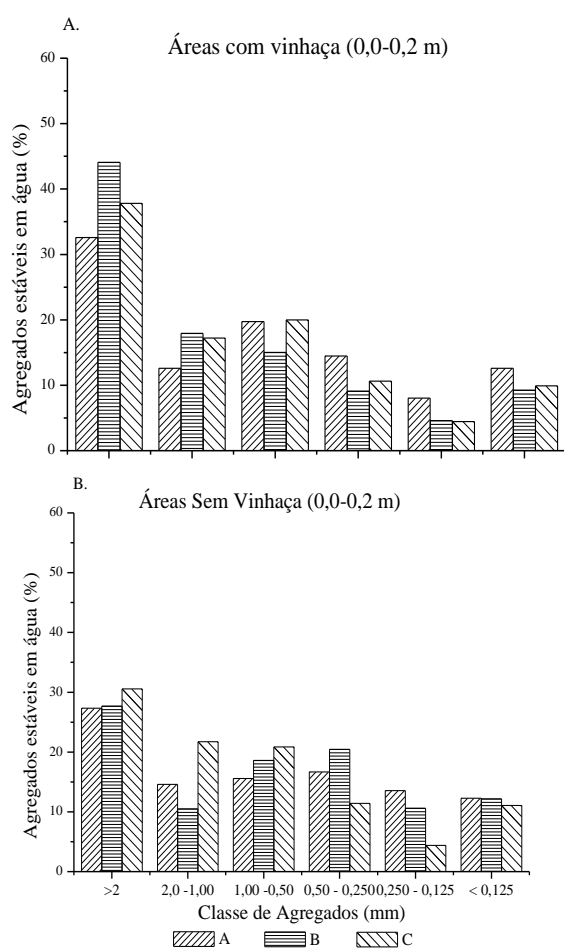


Figura 1. Distribuição dos agregados estáveis em água na profundidade de 0,0-0,2 m em áreas com vinhaça (A.) e sem vinhaça (B.), no litoral sul de Pernambuco.

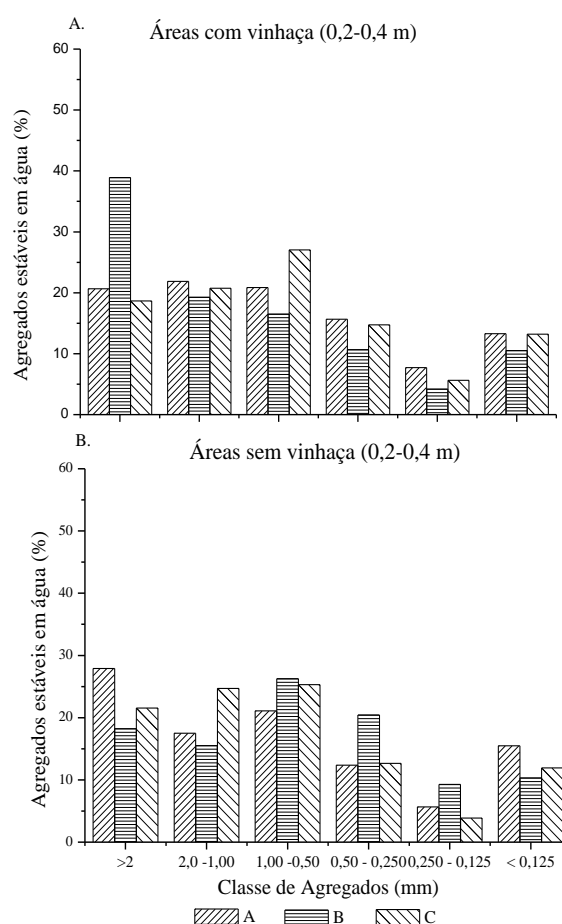


Figura 2. Distribuição dos agregados estáveis em água na profundidade de 0,2-0,4 m em áreas com vinhaça (A.) e sem vinhaça (B.), no litoral sul de Pernambuco.

Em relação aos agregados distribuídos entre 0,5-0,250 e 0,250-0,125 (Figura 1), as áreas pertencentes à área B mostraram maior concentração de agregados nas áreas onde não se aplicaram a vinhaça (Figura 1B), com valores de 20,46% e 10,61%



respectivamente, enquanto que nas áreas com vinhaça, para a mesma Usina e as mesmas classes de agregados foram encontrados valores de 9,11 e 4,59%.

Nas áreas representadas por A os maiores valores de agregação ocorreram nos locais onde foi aplicada vinhaça, com 14,47 e 8,03% respectivamente (Figura 1A), essa classe de agregados representa o quão degradado está o solo, pois se seus valores se superassem aos das classes > 2,00mm esse resultados revelaria que o solo tinha passado por ação antrópica.

Na profundidade de 0,2-0,4 m (Figura 2), a ação do manejo teve efeito inverso à profundidade de 0,0-0,2 m. As áreas constituídas por A e C tiveram maior distribuição de agregados estáveis em água nas áreas sem a aplicação da vinhaça (Figura 2B) com 27,90 e 21,56% do que nas áreas que receberam o resíduo (Figura 2A) (20,64 e 18,65%, respectivamente). O contrário foi observado em B que teve os agregados de suas áreas mais conservados nas áreas que receberam vinhaça com 38,9% em relação às áreas que não receberam (18,24%).

Para os agregados distribuídos entre 2,00 e 1,00 mm (Figura 2) F obteve melhor resultado em áreas com vinhaça (Figura 2A) com 24,69% em relação às áreas que não receberam aplicação de vinhaça (20,73 %), podendo ser atribuído essa diferença à textura argilosa de algumas áreas nessa profundidade (Tabela 2), que retém maior quantidade de matéria orgânica proporcionando melhora a agregação.

No que diz respeito às demais áreas A e B, para os agregados distribuídos entre 2,00 e 1,00 mm os locais sem vinhaça obtiveram melhor resultados em relação aos que receberam o resíduo. As classes de diâmetro de agregados entre 0,50-0,25 tiveram melhores resultados para áreas sem vinhaça, para as demais classes 0,25-0,125 e <0,125 houve pouca interferência da vinhaça.

Um dos principais agentes cimentantes das partículas do solo é a matéria orgânica. Consequentemente, é provável que parte da variação do tamanho dos agregados e dos índices de agregação, seja atribuída à variação do conteúdo de matéria orgânica no solo (Castro Filho et al., 1998).

Nas Figuras 3, 4 e 5 são apresentadas as relações entre o COT e os índices de agregação do solo. Na comparação entre os manejos ficou evidenciado que nas áreas onde foi aplicada a vinhaça os índices indicadores de estabilidade de agregação do solo, DMP, AGRI e MF, foram mais conservados nas áreas onde tiveram contato com o resíduo, fato observado pelos valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) que são mais

próximos de 1, nas áreas com vinhaça, os valores dos índices dependem da variação do carbono orgânico total, indicando que o resíduo influencia na agregação dos solos.

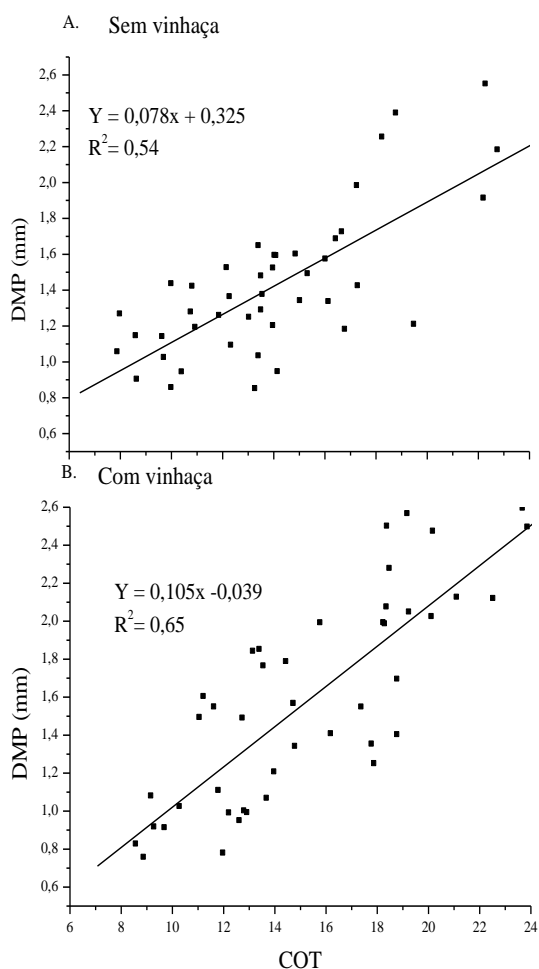


Figura 3. Relação entre o diâmetro médio ponderado (DMP) e o carbono orgânico (COT) de diferentes áreas com vinhaça (A.) e sem vinhaça (B.), nas duas camadas (0,0-0,2 e 0,2-0,4 m).

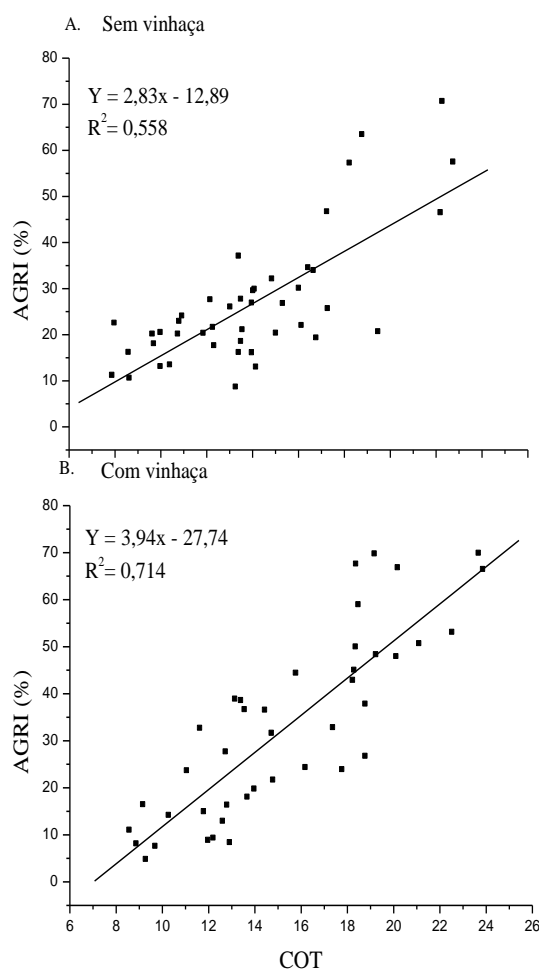


Figura 4. Relação entre a percentagem de agregados (AGRI) e o carbono orgânico (COT) de diferentes áreas com vinhaça (A.) e sem vinhaça (B.), nas duas camadas (0,0-0,2 e 0,2-0,4 m).

O AGRI (Figura 4) apresentou o maior coeficiente nas áreas onde se aplicaram a vinhaça (Figura 4B), demonstrando também que o índice pode ser mais observado nos estudos.

O DMP é o índice que traduz a estabilidade dos agregados de toda a amostra (Mendes et al., 2006), assim os resultados deste estudo indicam que a aplicação da vinhaça provoca mudanças nos agregados do solo (Figura 3B). Este índice também possui o menor valor do coeficiente de determinação, junto com o índice MF para as áreas com vinhaça, dentre os demais índices.

Houve correlações significativas entre os três índices avaliados e o COT corroborando os dados obtidos por Castro Filho et al. (1998) e Wendling et al. (2005) para DMP e AGRI, e por Oliveira et al. (2010). Côrrea (2002) observou  $R^2$  altamente significativo para o DMP ao adicionar matéria orgânica no solo.

O MF foi o índice que apresentou menor coeficiente de determinação das áreas sem vinhaça (Figura 5A), já nas áreas com vinhaça (Figura 5B) o resultado foi semelhante, para o qual foi conferido o menor valor dentre todos os índices para o manejo estudado, porém apresentou uma pequena diferença para o DMP na área com o resíduo (Figura 3B).

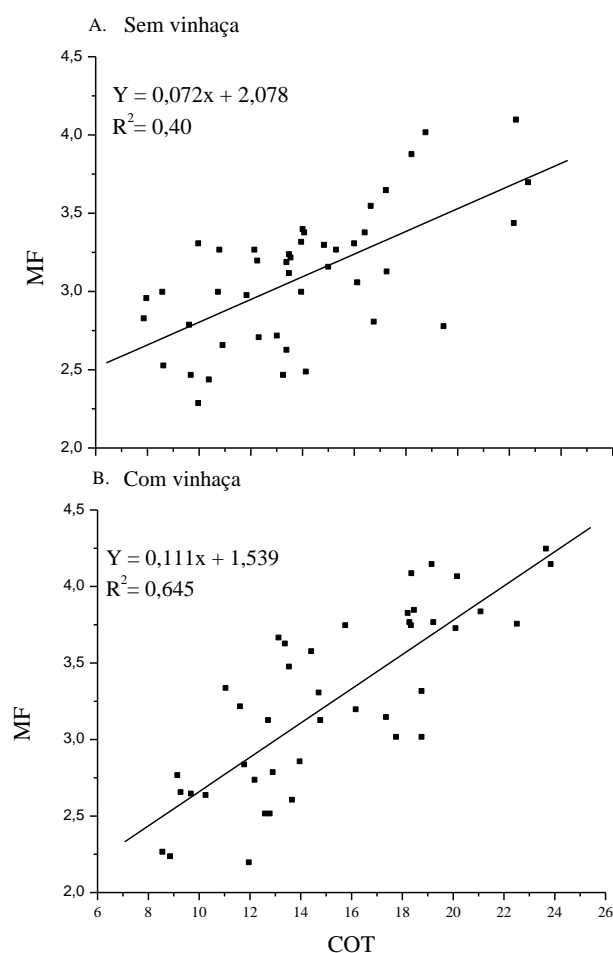


Figura 5. Relação entre o Módulo de finura (MF) e o Carbono orgânico (COT) de diferentes áreas com vinhaça (A.) e sem vinhaça (B.), nas duas camadas (0,0-0,2 e 0,2-0,4 m).

Nas Tabelas 5A e 5B encontram-se valores das correlações significativas entre os atributos do solo nas 12 áreas cultivadas com cana-de-açúcar no litoral sul de Pernambuco.

Foram constatadas correlações negativas e positivas entre a profundidade e a argila dispersa em água e o grau de floculação (Tabela 5B), corroborando que esses dois atributos são inversamente proporcionais. Apesar de encontrar reduções das camadas mais superficiais nos valores de grau de floculação e, conseqüentemente, aumento para argila dispersa em água em solos cultivados com cana-de-açúcar.

Prado & Centurion (2001) não observaram significância nos valores entre a profundidade e a argila dispersa em água e o grau de floculação (Tabela 5B), atribuindo tal feito a menor contribuição da matéria orgânica nas camadas inferiores do que nas superiores, uma vez que a última é mais beneficiada com a deposição de restos vegetais e, assim, ocorre maior acúmulo de matéria orgânica.

Segundo Nunes (2003), o processo de dispersão das argilas ocorre com sucessivas calagens e adubações realizadas nos solos em período de produção. As práticas de manejo como preparo do solo, adubações e calagens intensivas, quando executadas de modo incorreto, provocam alterações físicas do solo, refletindo nos atributos físicos, químicos, físico-químicos e atividades biológicas (Santos et al., 2010).

Tabela 5. Correlações significativas entre os atributos do solo nas 12 áreas cultivadas com cana-de-açúcar no litoral sul de Pernambuco

A.

	PROF	$\theta$	DS	CO <sub>2</sub>	DP	AT	A	S	AG	AF
PROF		0,13**		-0,26*						
$\theta$			-0,46*		-0,31*	0,87*	-0,88*	0,55*	-0,64*	0,60*
DS					0,2*	-	0,40*	-0,20*	-0,23*	-0,13**
CO <sub>2</sub>								0,14**		
DP		-0,31*	0,20*			-	0,35*	-0,15*	0,33*	-0,20*
AT		0,87*	-0,40*		-0,34*			0,36*	-0,66*	0,51*
A		-0,88*	0,40*		0,35*	-		0,79*	0,79*	-0,65*
S		0,55*	-0,20*	0,14**	-0,15*	0,36*	-0,59*		-0,66*	0,80*
AG		-0,64*	0,23*		0,33*	-	0,79*	-0,66*		-0,81*
AF		0,6*	-0,13**		-0,20*	0,51*	-0,65*	-0,80*	-0,81*	
ADA	-0,26*	0,28*			-0,18*	0,35*	-0,44*	0,45*	-0,49*	0,51*
GFA	0,30*	0,44*	-0,26*		-0,14**	0,47*	-0,37*		-0,12**	
PH <sub>2</sub> O	-0,36*	-0,37*			-0,27*	-	0,27*			
PKCl	-0,40*	-0,40*			-0,27*	-	0,4*	-0,2*	0,32*	-0,27*
$\Delta$ PH						-	0,30*	-0,26*	0,43*	-0,35*
MO	-0,45*	0,23*	-0,12**	0,22*	-0,27*	0,19*	-0,23*	0,2*		
PT		0,35*	-0,95*			0,28*	-0,27*	0,13**		

B.

	ADA	GFA	pHH <sub>2</sub> O	pHKCl	$\Delta$ pH	MO	PT
PROF	-0,26*	0,30*	-0,36*	-0,40*		-0,45*	
$\theta$	0,28*	0,44*	-0,37*	-0,40*		0,23*	0,35*
DS		-0,26*					-0,95*
CO <sub>2</sub>						0,22*	
DP	-0,18*	-0,14**			0,13**	-0,27*	
AT	0,35*	0,46*	-0,30*	-0,40*	-0,22*	0,19*	0,28*
A	-0,44*	-0,37*	0,27*	0,4*	0,30*	-0,23*	-0,28*
S	0,45*			-0,2*	-0,26*	0,20*	0,13**
AG	-0,49*	-0,12**		0,32*	0,43*	-0,20*	-0,12**
AF	0,51*			-0,27*	-0,35*		
ADA		-0,50*	0,2*		-0,52*	0,35*	-0,15**
GFA	-0,5*		-0,43*	-0,29*	0,25*		0,24*
PH <sub>2</sub> O	0,2*	-0,43*		0,87*	-0,16*		
PKCl		-0,29*	0,87*		0,34*		
$\Delta$ PH	-0,52*	0,25*		0,34*			
MO	0,35*						

PROF = profundidade,  $\theta$  = umidade gravimétrica, DS= Densidade do solo, CO<sub>2</sub> = Evolução C-CO<sub>2</sub>, DP = Densidade de Partículas, AT = Argila Total, A= Areia, S=Silte, AG = areia grossa, AF = areia fina, ADA = Argila Dispersa em Água, GFA = Grau de Flocculação das Argilas, pHH<sub>2</sub>O= Potencial hidrogeniônico em água, pHKCl=Potencial hidrogeniônico em KCl,  $\Delta$ PH= pHH<sub>2</sub>O – pHKCl, MO = Matéria Orgânica, PT = Porosidade Total. \*\*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pela análise de correlação de Pearson \* Significativo ao

Quanto às correlações entre a umidade gravimétrica e os atributos físicos e químicos do solo (Tabela 5A), foram observados resultados relevantes com a profundidade do solo, DS e com as frações granulométricas de argila, areia, silte, areia grossa e areia fina. Provavelmente a umidade se correlacionou positivamente com a argila por esta

fração possuir maior área de superfície específica que a da areia, facilitando a interação com a umidade (Braidá, 2006).

Os valores para a correlação entre a  $\theta$  e a densidade do solo (Tabela 5A) são esperados, pois com o seu aumento a disponibilidade de água para o perfil do solo tende a diminuir mostrando uma provável compactação nas áreas.

A DS mostrou correlações significativas com as frações granulométricas do solo e também com os atributos químicos (Tabela 5A), obtendo correlações negativas com a  $\theta$ , além das frações de AT e S, AF, o GFA, o teor de MO e com a PT. Silva et al. (2005), ao estudar os efeitos do sistema de preparo do solo de longa duração, 17 anos, sobre os atributos físicos relacionados ao armazenamento de água disponível de um Argissolo, observaram que o aumento da DS acompanhou a diminuição da PT.

Dentre as frações granulométricas pode-se destacar a argila e a areia que se correlacionaram com os atributos do solo  $\theta$ , DS, DP, com a fração de S, AG, AF, ADA, GFA,  $\text{PH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ,  $\text{PH}_{\text{KCl}}$ ,  $\Delta\text{PH}$ , MO e PT, com exceção da PROF e evolução C-CO<sub>2</sub> (Tabela 5A). Silva et al. (2005) relatou correlação positiva entre a AT e o GFA e não encontrou significância entre a AT e a PT.

A correlação negativa do pH com a profundidade (Tabela 5B) demonstra sua diminuição com o aumento da profundidade. Bebé et al. (2009) também verificaram diminuição do pH com aumento da profundidade, ao estudar as alterações físico-químicas em função da profundidade e respectivas correlações em solos sob diferentes períodos de fertirrigação com vinhaça. O aumento do pH ocorre devido ao aumento de bases trocáveis, principalmente o K, incorporadas pela aplicação da vinhaça, que normalmente ocorre nas camadas mais superficiais (Nunes et al., 1981).

A matéria orgânica mostrou correlações positivas com a evolução C-CO<sub>2</sub> do solo (Tabela 5B). A taxa de evolução de CO<sub>2</sub> do solo vem sendo utilizada para avaliar o carbono mineralizável, ou lábil, pois a matéria orgânica está relacionada com a dinâmica de crescimento microbiano (Gregorich & Zech, 1990). Os resultados encontrados condizem com os de Vale Júnior et al. (2011) que observaram correlações positivas para a correlação entre o C-CO<sub>2</sub> e a matéria orgânica do solo.

O teor de matéria orgânica do solo (Tabela 5B) obteve correlações negativas com a profundidade do solo, densidade de partícula, com a fração de areia e areia grossa. De acordo com Braidá et al. (2006), a matéria orgânica possui maior valor de área de superfície específica e capacidade de troca de cátions (CTC) que a fração de areia, o que

resulta em alta capacidade de retenção de água favorecendo sua concentração próxima das partículas orgânicas.

### CONCLUSÕES

1. Os índices de agregação do solo DMP, AGRI e MF apresentaram diferença significativa na avaliação das áreas com e sem aplicação de vinhaça;
2. O carbono orgânico apresentou melhores correlações com os indicadores DMP, AGRI e MF em áreas com vinhaça;
3. As maiores percentagens de agregados estáveis em água > 2,00 mm ocorreram na profundidade de 0,0-0,2 m, nas áreas com vinhaça.

### AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela concessão das bolsas para realização do estudo.

### LITERATURA CITADA

- Assis, R. L.; Bahia, V. G. Práticas mecânicas e culturais de recuperação de características físicas dos solos degradados pelo cultivo. Informe Agropecuário, v.19, p.71-78, 1998.
- Azevedo, A. C.; Bonumá, A. S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolos. Ciência Rural, v. 34, n.2, p. 609-617, 2004.
- Barros, R. P.; Viégas, P. R. A.; Silva, T. L.; Souza, R. M.; Barbosa, L.; Viégas, R. A.; Barretto, M. C. V.; Melo, A. S. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 40, n. 3, p. 341-346, jul./set. 2010
- Bastos, R. S.; Mendonça, E. S.; Venegas, V. H. A.; Corrêa, M. M.; Costa, L. M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, p. 21-31, 2005.

- Bebé, F. V.; Rolim, M. M.; Pedrosa, E. M. 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.
- Braida, J. A.; Reichert, J. M.; Veiga, M.; Reinert, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 605-614, 2006.
- 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.
- Castro Filho, C.; Muzilli, O.; Podanoschi, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, p. 527-538, 1998.
- Corrêa, J. C.; Bull, L. T.; Crusciol, C. A. C.; Moraes, M. H. Alteração de atributos físicos em Latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodos de esgoto e calcário. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 263-272, 2009.
- Corrêa, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-amarelo em Querência, MT. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p. 203-209, 2002.
- Coutinho, F. S.; Loss, A.; Pereira, M. G.; Rodrigues Júnior, D. J.; Torres, J. L. R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. *Comunicata Scientiae*, v. 1, p.100-105, 2010.
- Doran, J. W.; Parkin, T. B. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J. W.; Coleman, D. C.; Bezdicek, D. F.; Stewart, B. A. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, 1994. p. 3-21 (Soil Science Society of America Journal, Special Publication, 35).
- Dufranc, G.; Dechen, S. C. F.; Freitas, S. S.; Camargo, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois Latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, p. 505-517, 2004.



- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. CNPS, 1997. 2.ed., 212 p.
- Freire, W. J.; Piedade Júnior., C. O módulo de finura dos agregados do solo como índice de estabilidade estrutural. *Engenharia Agrícola*, v.3, p. 29-36, 1979.
- Grisi, B. M. Método químico de medição da respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 30, p. 82-88, 1978.
- Gregorich, E. G.; Zech, W. Turnover of carbon through the microbial biomass in soils with different textures. *Soil Science Society of America Journal*, v.12, 1990.
- Kemper, W. D.; Chepil, W. S. Size distribution of aggregates. In: Black, C. A.; Evans, D. D.; White, J. L.; Ensminger, L. E.; Clark, F. E. (Eds.). *Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Part 1*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. 2. ed. p. 499-510.
- Kemper, W. D.; Rosenau, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1986. Part 1, p. 425-442. *Agronomy* 9
- Lima, C., L., R.; Pauletto, E., A.; Gomes, A., S.; Silva, J., B. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p.199-205, 2003.
- Loss, A.; Pereira, M. G.; Schultz, N.; Anjos, L. H.C.; Silva, E. M. R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, p.68-75, 2009.
- Matos, E. S.; Mendonça, E. S.; Leite, L. F. C.; Galvão, J. C. C. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, p.1221-1230, 2008.
- Melo, V. P.; Beutler, A. N.; Souza, Z. M.; Centurion, J. F.; Melo, W. J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.67-72, 2004.
- Mendes, F. G.; Melloni, E. G. P.; Melloni, R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. *Cerne*, v.12, p. 211-220, 2006.

- Nunes, M. R.; Velloso, A. C. X.; Leal, J. R. Efeito da vinhaça nos cátions trocáveis e outros elementos químicos do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.16, p.171-176, 1981.
- Nunes, L. A. P. L. Qualidade de um solo cultivado com café e sob mata secundária no município de Viçosa-MG. Viçosa: UFV, 2003, 102p. Tese Doutorado.
- Oliveira, V. S.; Rolim, M. M.; Vasconcelos, R. F. B.; Pedrosa, E. M. R. Distribuição de Agregados e carbono orgânico em um Argissolo Amarelo distrocoeso em diferentes manejos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, p. 907-913, 2010.
- Prado, R. M.; Centurion, J. F. Alterações na cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho-escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, p. 197-203, 2001. (Nota Científica).
- Santos, L. N. S.; Passos, R. R.; Silva, L. V. M.; Oliveira, P. P.; Garcia, G. O.; Cecílio, R. A. Avaliação de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais. *Bioscience Journal*, v. 26, p. 940-947, 2010.
- SAS - Institute Inc. SAS/STAT 9.0 User's guide. Cary, NC: SAS Institute Inc. 2005.
- Silva, A. J. N.; Cabeda, M. S. V.; Carvalho, F. G. Matéria orgânica e propriedades físicas de um Argissolo Amarelo coeso sob sistemas de manejo com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.3, p.579-585, 2006.
- Silva, R. R.; Silva, M. L. N.; Ferreira, M. M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob Sistemas de manejo na bacia do alto do Rio Grande – MG. *Ciência Agrotécnica*, Lavras, v. 29, p. 719-730, 2005.
- Silva, M. A. S.; Mafra, A. L.; Albuquerque, J. A.; Bayer, C.; Mielniczuk, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. *Ciência Rural*, v.35, p.544-552, 2005.
- 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 distrocoeso 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.
- Vale Júnior, J. F.; Freitas, R. M. S.; Uchôa, S. C. P.; Sousa, M. I. L.; Cruz, D. L. S. Atributos químicos e atividade microbiana em solos convertidos de savana para plantios de *Acacia mangium* Willd em Roraima. *Revista Agroambiente On-line*, Boa Vista, v. 5, p. 1-11, 2011.

Yoder, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal of the American Society of Agronomy*, vol. 28, p. 337-351, 1936.

Wendling, B.; Jucksch, I.; Mendonça, E. S., Neves, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, p. 487-494, 2005.

Zalamena, J. Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do Planalto – RS. Santa Maria: UFSM. 2008, 79p. Dissertação Mestrado.

## **CAPÍTULO 3**

---

**RELAÇÕES DE ATRIBUTOS DO SOLO COM A NEMATOFUNA EM  
ÁREAS DE CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

## RELAÇÕES DE ATRIBUTOS DO SOLO COM A NEMATOFUNA EM ÁREAS DE CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR<sup>1</sup>

### RESUMO

O presente estudo teve como objetivo correlacionar a nematofauna com características físicas e químicas de solos cultivados com cana-de-açúcar no litoral sul de Pernambuco. As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0,0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4 e 0,4-0,5 m, e as de raízes na camada de 20-30 cm, em 14 áreas. Foram demarcados quatro pontos de amostragem em cada área, totalizando 280 amostras. As seguintes análises foram realizadas: granulometria, densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total, argila dispersa em água, grau de floculação das argilas, pH em água e pH em KCl, carbono orgânico total, matéria orgânica, evolução C-CO<sub>2</sub> do solo e caracterização da nematofauna. Sendo determinado o grau de correlação linear simples entre os pares de dados obtidos pelo coeficiente de correlação de Pearson a 5% de probabilidade. As relações dos componentes da nematofauna com as frações granulométricas, densidade do solo e densidade de partícula variaram com o nematóide envolvido. A matéria orgânica e a atividade heterotrófica da biomassa do solo influenciaram diretamente a densidade populacional dos nematóides, no entanto, as áreas estudadas foram mais heterogêneas em atributos de solo do que em estrutura de nematofauna. Foram realizadas análises de Correspondência Canônica (CCA) e de agrupamento hierárquico através dos algoritmos *UPGMA* e Ward. A CCA apresentou baixas correlações entre as propriedades do solo e os *taxa* de nematóides, conferindo a outros fatores ambientais o poder de explicar as relações entre *taxa*-ambiente. Os agrupamentos utilizando os algoritmos *UPGMA* e Ward, baseados nas distâncias Euclidiana e Sorensen(Bray-Curtis) foram semelhantes. Não diferenciando a estrutura das comunidades de nematóides entre as áreas com e sem aplicação de vinhaça.

**PALAVRAS-CHAVE:** matéria orgânica, nematóides, qualidade de solo, *Saccharum*, propriedades do solo.

## ABSTRACT

The present study had as objective correlating changes in nematode community with physical and chemical characteristics of sugarcane growing soils in south coast of Pernambuco, Brazil. Soil samples were collected from layers at 0.0-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.3, 0.3-0.4 and 0.4-0.5 m and roots at 0.2-0.3 m, in 14 areas. In the 258 samples collected, it was carried out textural analysis of soils and evaluated particle density, soil density, total porosity, clay disperse in water, flocculation grade of clay, pH in water and in KCl, total organic carbon, organic matter, C-CO<sub>2</sub> evolution in soil and nematode community structure. The grade of linear correlation between pair of points was determined through Pearson's correlation coefficient at 0.05 level of probability. The relations of the nematode community components with soil texture, soil density and particle density varied with nematode. The soil organic matter and biomass heterotrophic activity directly influenced nematode population density, however, the areas studied were more heterogeneous within soil attributes than in nematode structure. Were conducted canonical correspondence analyses and Hierarchical cluster analyses using algorithms *UPGMA* and Ward. The CCA showed low correlations between soil properties and the rate of nematodes, giving other environmental factors the power to explain relations between rate-environment. The clusters using *UPGMA* and Ward algorithms, based on Euclidean distances and Sorensen (Bray-Curtis) were similar. Not differentiating the structure of nematode communities between areas with and without application of vinasse.

**KEYWORDS:** nematode, organic matter, *Saccharum*, soil quality, soil properties.

## INTRODUÇÃO

Os impactos causados aos ecossistemas devido à crescente expansão agrícola têm levado a sociedade a buscar alternativas menos nocivas ao ambiente. Campanhola e Lucchiari Júnior (2001) afirmam que o modelo agrícola adotado em uma determinada região antes ocupada por um ecossistema natural qualquer é o principal responsável pelos impactos ambientais nessa área. No Brasil, em virtude da crescente demanda por combustíveis renováveis, a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) tem assumido papel cada vez mais relevante no cenário da agricultura, especialmente nas regiões

Sudeste e Nordeste, onde se encontram áreas canavieiras exploradas agronomicamente há vários anos.

O uso, o manejo, o nível e o tempo de utilização promovem alterações nas propriedades do solo. O plantio direto, as aplicações contínuas de corretivos e fertilizantes na superfície do solo podem aumentar as alterações químicas e, conseqüentemente, o risco de degradação física do solo. Entretanto, outros fatores como o aumento da atividade microbiana e do próprio desenvolvimento de raízes, em função das melhorias das condições químicas do solo, bem como alterações na qualidade da matéria orgânica, podem resultar em redução da dispersão de argilas e, assim, melhorar as condições físicas nas camadas superficiais de áreas cultivadas (Gasparetto et al. 2009).

Essas condições físicas podem influenciar diretamente a disponibilidade dos nutrientes e as atividades dos microorganismos do solo, tais como nematóides. Esses vêm sendo utilizados como indicadores da qualidade do solo, da estabilidade do habitat (Goralczyk 1998) e de distúrbios ambientais (Heininger et al. 2007), por causa de sua abundância e diversidade.

O solo é considerado um componente vital para os agroecossistemas. Os processos e ciclos de transformações físicas, químicas e biológicas ocorrem no solo e, quando mal manejado, pode degradar todo o ecossistema (Streck et al. 2002). A identificação das alterações sofridas nas propriedades do solo é uma ferramenta importante para a definição de sistemas de manejo adequados, que impeçam a perda da capacidade produtiva do solo (Neves et al. 2007).

O entendimento das implicações do cultivo contínuo da cana-de-açúcar na qualidade do solo poderá fornecer subsídios para a adoção de práticas de manejo que permitam incrementar o rendimento da cultura, minimizando os impactos ambientais. Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo correlacionar a nematofauna com características físicas e químicas de solos cultivados com cana-de-açúcar no litoral sul de Pernambuco.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### *Caracterização das áreas de estudo*

O presente estudo foi realizado em quatorze áreas cultivadas com cana-de-açúcar, situadas no litoral Sul do Estado de Pernambuco, das quais sete áreas eram irrigadas com vinhaça com diferentes históricos de aplicação do resíduo. As áreas estão situadas nas Usinas Trapiche, União e Indústria, Salgado e Estreliana. As coordenadas geográficas e a caracterização dessas áreas se encontram nas Tabelas 1 e 2. O clima da região é tropical úmido do tipo As' ou pseudotropical, que se caracteriza por ser quente e úmido, com chuvas de outono a inverno, com temperaturas médias anuais variando em torno de 24°C. Segundo a Classificação Climática de Köppen (1948).



Tabela 1. Caracterização das áreas estudadas no litoral sul do Estado de Pernambuco

Área	localização	Coordenadas geográficas	Aplicação de vinhaça	Histórico do resíduo na área(anos)	Adubação química (anual)	Produtividade média ton/ha	Tipo de colheita	Histórico sem implemento agrícola(anos)	Variedade de cana-de-açúcar	Classificação Textural
1	Várzea	8°,53'79,31'' S e 35°,08'22,85'' W	SV	-	CAQ	76	Manual	5	B8008	argilo-arenosa
2	Várzea	8°,58'20,03'' S e 35°,10'65,55'' W	CV	5	SAQ	73	Manual	4	B8008	franco argilo-arenosa
3	Encosta	8°,33'52,42'' S e 35°,39'36,19'' W	SV	-	CAQ	72	Manual	6	SP784764	Argilosa
4	Encosta	8°,34'97,32'' S e 35°,34'01,69'' W	CV	3	SAQ	54	Manual	3	SP813250	Argilosa
5	Várzea	8°,43'12,00078'' S e 35°,02'17,06'' W	SV	-	CAQ	98	Mecanizada	2	RB92579	Arenosa
6	Várzea	8°,43'69,79'' S e 35°,01'48,83'' W	CV	9	CAQ	72	Mecanizada	3	RB867515	Arenosa
7	Várzea	8°,42'87,18'' S e 35°,02'38,14'' W	SV	-	CAQ	111	Mecanizada	5	RB932520	franco argilo-arenosa
8	Várzea	8°,43'49,52'' S e 35°,02'99,13'' W	CV	5	CAQ	68	Mecanizada	3	SP801073	Argilosa
9	Várzea	8°,44'47,03'' S e 35°,02'57,59'' W	CV	8	CAQ	89	Mecanizada	1	RB867515	franco argilo-arenosa
10	Várzea	8°,42'46,25'' S e 34°,99'99,48'' W	SV	-	CAQ	60	Mecanizada	2	RB863129	franco argilo-arenosa
11	Encosta	8°,52'38,62'' S e 35°,41'59,01'' W	CV	4	CAQ	97	Manual	3	RB92579	Arenosa
12	Várzea	8°,51'15,86'' S e 35°,41'35,39'' W	SV	-	CAQ	60	Manual	3	SP791011	franco argilo-arenosa
13	Várzea	8°,52'04,06'' S e 35°,38'48,47'' W	CV	3	SAQ	62	Manual	3	SP864764	franco-argilosa
14	Encosta	8°,52'21,61'' S e 35°,38'37,95'' W	SV	-	CAQ	44	Manual	4	SP864764	argilosa

SV= Sem Vinhaça, CV= Com Vinhaça, CAQ= Com Adubação Química, SAQ= Sem Adubação Química

Tabela 2A. Caracterização física e química das áreas 1 a 4 estudadas

Camadas (m)	DS(g.cm <sup>3</sup> )	Umidade (%)	Composição Granulométrica g kg <sup>-1</sup>					MO(%)	pHH <sub>2</sub> O	pHKCl	ΔpH
			Areia	Silte	Argila	ADA(%)	GFA(%)				
Área 1											
0,1	1,43	0,22	525,5	149,9	324,6	20,76	35,83	21,01	5,35	4,7	-0,65
0,2	1,54	0,21	507,1	101,5	391,4	23,01	42,08	15,37	5,325	4,45	-0,875
0,3	1,59	0,22	502,1	141,5	356,4	23,76	32,04	19,63	5,3	4,375	-0,925
0,4	1,67	0,21	470,5	110	419,5	15,01	63,94	15,93	4,975	4,15	-0,825
0,5	1,71	0,21	483	95	422	13,26	67,68	16,16	4,825	4,1	-0,725
Área 2											
0,1	1,33	0,23	473,7	202,1	324,2	21,51	35,83	11,00	5,2	4,25	-0,95
0,2	1,43	0,23	442,87	223,53	333,6	20,26	46,08	9,70	5,23	4,27	-0,97
0,3	1,45	0,22	456,2	205,6	338,2	20,01	32,04	11,48	5,03	4,08	-0,95
0,4	1,61	0,20	430,5	260	309,5	16,51	63,94	5,10	4,95	3,98	-0,98
0,5	1,40	0,21	448	232,5	319,5	9,51	67,68	9,59	4,75	3,93	-0,83
Área 3											
0,1	1,10	0,26	388,40	123,1	488,5	17,2	64,35	33,88	5	4,375	-0,625
0,2	0,97	0,30	358,40	84,6	557	6,7	87,93	22,20	4,675	4,175	-0,5
0,3	1,00	0,30	319,00	66,7	614,3	4,2	93,07	8,93	4,525	4,15	-0,375
0,4	1,05	0,31	290,80	97,5	611,7	3,45	94,45	9,76	4,55	4,125	-0,425
0,5	1,04	0,31	332,80	96,72	570,48	3,2	94,60	6,95	4,58	4,14	-0,44
Área 4											
0,1	1,45	0,18	573,2	70,8	356,00	16,95	52,54	16,70	5,85	5,25	-0,6
0,2	1,52	0,20	484,8	63,7	451,50	22,2	50,72	2,96	5,875	5,075	-0,8
0,3	1,42	0,26	434,1	48,5	517,40	13,7	73,44	2,91	5,425	4,6	-0,825
0,4	1,33	0,26	340,8	107,2	552,00	5,2	90,58	1,82	5	4,25	-0,75
0,5	1,28	0,26	365,8	107,9	526,30	4,2	91,98	1,92	4,9	4,25	-0,65

DS=Densidade do Solo, ADA=Argila Dispersa em Água, GFA=Grau de Flocculação das Argilas, MO=Matéria Orgânica

Tabela 2B. Caracterização física e química das áreas 5 a 9 estudadas

Camadas (m)	Composição Granulométrica g kg <sup>-1</sup>										
	DS(g.cm <sup>-3</sup> )	Umidade (%)	Areia	Silte	Argila	ADA(%)	GFA(%)	MO(%)	pHH <sub>2</sub> O	pHKCl	ΔpH
Área 5											
0,1	1,50	0,07	927,80	28,90	43,30	2,52	40,42	12,44	5,5	5,0	-0,6
0,2	1,39	0,05	920,30	35,15	44,55	2,64	39,76	8,87	5,3	4,5	-0,8
0,3	1,28	0,07	934,35	23,65	42,00	1,96	50,42	6,65	5,1	4,2	-0,9
0,4	1,43	0,08	944,00	18,10	37,90	1,71	56,03	6,13	5,0	4,1	-0,9
0,5	1,41	0,08	955,00	14,20	30,80	2,53	23,80	3,94	5,2	4,3	-0,9
Área 6											
0,1	1,49	0,04	951,98	23,68	24,34	2,63	24,41	7,61	6,1	5,8	-0,3
0,2	1,50	0,04	957,78	16,13	26,09	1,89	29,54	4,83	6,1	5,5	-0,6
0,3	1,45	0,04	969,78	12,77	17,45	1,53	26,19	3,89	5,9	5,3	-0,6
0,4	1,46	0,03	982,90	7,70	9,40	1,85	42,44	1,38	6,1	5,9	-0,3
0,5	1,39	0,03	985,25	2,85	11,90	1,46	50,08	1,18	5,8	5,4	-0,4
Área 7											
0,1	1,47	0,06	763	40	197	15,26	22,62	20,31	5,47	4,9	-0,57
0,2	1,59	0,13	715,5	32,5	252	18,76	25,72	19,66	5,4	4,55	-0,85
0,3	1,57	0,10	728	25	247	17,51	29,38	13,68	5,2	4,32	-0,87
0,4	1,59	0,12	713	20	267	18,26	32,37	16,22	5,07	4,2	-0,87
0,5	1,62	0,11	753,44	26,56	220	16,56	25,34	8,58	5,18	4,36	-0,82
Área 8											
0,1	1,51	0,03	842,5	36,2	121,3	8,76	27,42	13,56	5,82	5,32	-0,5
0,2	1,63	0,05	804,1	38,9	157	10,76	32,90	9,19	5,87	5,02	-0,85
0,3	1,59	0,07	772,5	36,2	191,3	13,26	30,23	7,47	5,7	4,67	-1,02
0,4	1,63	0,08	761,6	32,8	205,6	14,76	28,69	10,68	5,6	4,6	-1
0,5	1,56	0,08	772,5	31,2	196,3	13,51	31,04	8,45	5,62	4,6	-1,02
Área 9											
0,1	1,40	0,14	767,2	98,9	133,9	6,39	66,80	23,32	6	5,72	-0,27
0,2	1,48	0,15	707,9	101,25	190,85	6,46	69,08	15,71	5,12	4,45	-0,67
0,3	1,72	0,15	659,15	87,5	253,35	7,71	62,08	14,01	4,82	4,12	-0,7
0,4	1,73	0,16	655,4	78,75	265,85	6,21	68,66	13,35	4,7	3,97	-0,72
0,5	1,75	0,14	673,8	76,37	252,2	7,976	65,95	9,10	4,76	3,96	-0,8

DS=Densidade do Solo, ADA=Argila Dispersa em Água, GFA=Grau de Floculação das Argilas, MO=Matéria Orgânica

Tabela 2C. Caracterização física e química das áreas 10 a 14 estudadas

Camadas (m)	DS(g.cm <sup>3</sup> )	Umidade (%)	Composição Granulométrica g kg <sup>-1</sup>								
			Areia	Silte	Argila	ADA(%)	GFA(%)	MO(%)	pHH <sub>2</sub> O	pHKCl	ΔpH
Área 10											
0,1	1,35	0,14	344,9	50,04	442,6	26,29	40,58	22,68	5,62	4,5	-1,12
0,2	1,42	0,19	282,4	50,99	517,6	25,54	49,99	16,53	5,3	4,1	-1,2
0,3	1,40	0,21	272,4	51,33	577,6	10,29	79,92	10,49	4,72	3,77	-0,95
0,4	1,29	0,27	182,4	49,86	667,6	1,04	98,42	12,91	4,65	3,7	-0,95
0,5	1,31	0,19	417,4	51,31	495,1	6,29	81,58	8,32	4,57	3,75	-0,82
Área 11											
0,1	1,54	0,09	728	22,5	249,5	17,95	28,81	12,78	5,15	4,5	-0,65
0,2	1,67	0,16	653	22,5	324,5	15,70	49,90	10,79	4,93	4,2	-0,72
0,3	1,58	0,18	610,5	7,5	382	15,20	57,04	10,71	4,73	4,07	-0,65
0,4	1,64	0,17	608	15	377	9,70	72,07	10,32	4,58	4	-0,57
0,5	1,54	0,19	630,88	15,12	354	6,80	79,41	7,33	4,54	4,06	-0,48
Área 12											
0,1	1,42	0,09	812,40	10,3	179,5	6,2	66,7	20,45	4,95	4,30	-0,65
0,2	1,55	0,11	799,90	8,1	192	8,7	55,2	15,24	4,75	4,18	-0,57
0,3	1,60	0,12	787,40	15,6	197	8,7	56,7	13,90	4,625	4,15	-0,47
0,4	1,58	0,17	782,40	10,6	207	7,7	63,1	12,58	4,6	4,20	-0,4
0,5	1,48	0,20	779,90	33,1	187	6,45	64,5	21,64	4,775	4,38	-0,4
Área 13											
0,1	1,43	0,20	378,8	209,7	411,5	31,77	22,64	28,67	5,3	4,42	-0,88
0,2	1,28	0,21	377,9	176,5	445,6	32,02	28,01	20,24	5,47	4,35	-1,12
0,3	1,31	0,19	402	172,4	425,6	29,95	30,05	14,91	5,25	4,12	-1,12
0,4	1,33	0,19	391,1	179,9	429	28,77	33,58	12,70	5,2	4,07	-1,12
0,5	1,48	0,19	431,92	175,2	392,88	19,856	49,92	8,68	5,34	4,22	-1,12
Área 14											
0,1	1,44	0,21	484,50	111,4	404,1	16,95	58,27	27,55	6,075	5,50	-0,575
0,2	1,45	0,18	489,50	94,6	415,9	18,95	54,67	18,43	6,025	5,03	-1
0,3	1,46	0,20	484,50	87,1	428,4	20,7	50,88	12,84	5,95	4,78	-1,175
0,4	1,32	0,21	406,60	71,4	522	13,2	74,71	7,76	5,9	4,85	-1,05
0,5	1,49	0,20	487,7	57,1	455,2	8,45	79,27	4,41	5,9	4,83	-1,075

DS=Densidade do Solo, ADA=Argila Dispersa em Água, GFA=Grau de Floculação das Argilas, MO=Matéria Orgânica

### *Coleta de solo*

As amostras foram coletadas nos meses de junho e dezembro de 2010 nas quatorze áreas estudadas. Em cada área foi demarcado um quadrado de 10 m<sup>2</sup> e as amostras coletadas nos vértices de cada quadrado nas camadas de 0,0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4 e 0,4-0,5 m, totalizando 280 amostras. Estas foram retiradas com um trado de amostra indeformada com diâmetro de 4,89 cm, altura 2,63 cm e volume 49,37 cm<sup>3</sup> para análises físicas. Para análises nematológicas e químicas foram retiradas amostras com aproximadamente 600 cm<sup>3</sup> de solo com o auxílio de cavador, nas profundidades descritas anteriormente. As raízes (30 g) foram coletadas nos 56 pontos, na camada de 0,2-0,3 m.

### *Análises físicas*

As análises físicas fundamentaram-se na umidade do solo, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, granulometria, dispersão de massa de argila em água e o grau de flocculação da argila, conforme metodologia descrita em Embrapa (1997). As amostras foram preparadas e pesadas para obtenção do conteúdo de água (g) levadas à estufa a 105 °C por 24 h para obtenção da massa seca (g).

A densidade do solo (g/cm<sup>3</sup>) foi determinada pelo método do anel volumétrico, a densidade de partículas e porosidade total (%) foram determinadas pelo método do balão volumétrico. As classes texturais foram determinadas pelo método do densímetro, logo após a análise de dispersão de amostra em solução de hexametáfosfato de sódio e carbonato de sódio em água (calcón) e posterior separação das diferentes classes granulométricas. As três classes de distribuição de agregados: > 2mm, 0,125- 2 mm e < 0,125 mm foram determinadas pelo método do peneiramento molhado.

A porosidade total foi calculada através dos resultados da densidade de partícula e densidade do solo, seguindo a fórmula:  $P = (DP - DS)X \left(\frac{100}{DP}\right)$

A argila natural foi medida por dispersão de massa de argila em água (ADA) e o grau de flocculação da argila (GFA) determinado pela taxa de dispersão de argila natural/quantidade total da argila na amostra.

Todas as análises citadas foram efetivadas de acordo com o método da EMBRAPA(1997).

### *Análises Químicas*

As análises químicas do solo fundamentaram-se no pH em água e pH em KCl, e a diferença entre os dois gerou o  $\Delta\text{pH} = (\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}})$  (Mekaru & Uehara 1972) e matéria orgânica (Embrapa 1997). Para avaliação da evolução C-CO<sub>2</sub> do solo, seguiu-se a metodologia de Grisi (1978), utilizando-se 100 g de solo homogeneizado.

### *Análises nematológicas*

As amostras foram homogeneizadas e os nematóides extraídos de alíquotas de 300 cm<sup>3</sup> de solo pelo método da flotação centrífuga em solução de sacarose (Jenkins 1964). Para as raízes utilizou-se a técnica da maceração em liquidificador seguida da flotação centrífuga. As suspensões obtidas foram colocadas em frascos e os nematóides foram mortos por meio do aquecimento dos recipientes em banho-maria a 55 °C, com adição, em seguida, de 1 ml de formaldeído a 37% (massa/volume).

A estimativa populacional foi obtida através da contagem em lâminas de Peters, com o auxílio de um microscópio óptico, em duas repetições, cada uma delas correspondendo à metade da área de contagem total da lâmina, o que equivale a aproximadamente 0,5 ml cada, e os resultados computados em número de espécimes por 300 cm<sup>3</sup> de solo.

Para o estudo da estrutura trófica da nematofauna, os nematóides foram classificados quanto ao hábito alimentar em cinco grupos tróficos (parasitos de plantas, bacteriófagos, micófagos, predadores e onívoros), baseado na morfologia do estoma e esôfago, segundo Yeates et al. (1993). Para os nematóides parasitos de plantas foram efetuadas identificações ao nível de gênero segundo a chave de May et al. (1996).

### *Análises estatísticas dos dados*

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias separadas pelo teste de Student-Newman-Keuls, quando necessário. Para analisar relações entre a nematofauna e atributos físicos e químicos do solo foram efetuados cálculos de coeficientes de correlação de Pearson, utilizando o programa SAS - Statistical Analytical System (SAS INSTITUTE, 2003). Paralelamente foi realizada a análise de Correspondência Canônica (CCA) empregando o teste de permutação de Monte Carlo para determinar a significância entre os eixos, análise hierárquica de agrupamento e construção de dendograma pelos métodos da *group average* e Ward, baseados nas medidas de

distância de Sorensen (Bray-Curtis) e Euclidiana, respectivamente. Todas as análises multivariadas foram realizadas utilizando o software PC-ORD 4.14 for Windows (McCune e Mefford, 1999).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### *Atributos físicos e camadas do solo*

Nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar foram avaliados os atributos em relação às camadas do solo (Tabela 3). As propriedades do solo variaram com as camadas de solo estudadas, exceto a porosidade total, densidade do solo e os teores de areia grossa, areia fina e silte. O menor teor de umidade ( $P=0,05$ ) ocorreu na camada 0,0-0,1 m, não ocorrendo diferença entre as demais camadas.

A densidade de partículas foi menor nas três primeiras camadas, corroborando com dados obtidos por Cardoso et al. (2011) e Caixeta (2011), que encontraram maiores valores de densidade de partículas nas camadas de 0,3 a 0,5 m. Os teores de argila e areia apresentaram comportamentos diferentes com o aumento da profundidade, ou seja, quanto maior menor a fração de areia e maior a de argila. Centurion et al. (2004) também observaram que o teor da argila aumentou com a profundidade amostrada, independentemente do manejo da entrelinha adotado para camadas de 0,0-0,2, 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m.

A argila dispersa em água não diferiu ( $P=0,05$ ) entre as camadas de 0,0-0,3 m, mas diminuiu ( $P=0,05$ ) em relação às camadas 0,3-0,5 m (Tabela 3). Esse resultado concorda com os valores obtidos por Alleoni e Camargo (1994). Segundo Santos (2010), espera-se diminuição dos teores de argila dispersa em água com o aumento da profundidade, devido à maior contribuição dos óxidos de ferro em maiores profundidades nos solos mais intemperizados, considerando que a camada superficial foi revolvida intensamente durante muitos anos, favorecendo a desagregação do solo, bem como, foram aplicados corretivos e fertilizantes, o que favorece a dispersão da argila e o aumento dos valores de argila dispersa em água.

Em contrapartida, o grau de floculação das argilas foi maior ( $P=0,05$ ) nas camadas de 0,3-0,4 e 0,4-0,5 m, corroborando com Souza et al. (2006) que encontraram maiores valores de grau de floculação das argilas com o aumento da profundidade, confirmando que este atributo é inversamente proporcional à argila dispersa (Santos 2010). Assim, os

altos valores encontrados para o grau de floculação revelam o baixo grau de dispersão das argilas destes solos.

O pH e a matéria orgânica do solo apresentaram correlação negativa com a profundidade ( $P=0,05$ ), reduzindo com o aumento da profundidade com tendência a estabilizar a partir da camada de 0,2-0,3 m (Tabela 3). Os maiores valores desses atributos nas camadas superficiais podem ser reflexos da deposição dos restos vegetais e de matéria orgânica utilizada no manejo da cana-de-açúcar. Sendo assim, as observações de Almeida Neto (2007) para pH em água e em KCl corroboram com os resultados encontrados nesse estudo. Sendo que os resultados obtidos por Carneiro et al. (2004) para o pH em água também são concordantes. Entretanto, divergem de Barros et al. (2010) os quais observaram que o pH aumenta de acordo com o aumento da profundidade do solo.

A variação do  $\Delta\text{pH}$  na camada de 0,0-0,1 m diferiu estatisticamente das demais camadas que não diferiram estatisticamente entre si. O balanço das cargas elétricas têm direta relação com o  $\Delta\text{pH}$ . Se o pH em água for maior que o pH em KCl o  $\Delta\text{pH}$  será negativo o que indica domínio de cargas negativas, assim o solo retém mais cátions do que ânions. Se o pH em KCl for maior do que o pH em água o  $\Delta\text{pH}$  será positivo indicando domínio de cargas positivas, fazendo com que o solo retenha mais ânions do que cátions. Se os dois forem iguais o balanço de cargas é nulo, o solo retém cátions e ânions em baixas quantidades e nas mesmas proporções. Com isso, os solos das áreas estudadas possuem  $\Delta\text{pH}$  negativo, indicando maior ocorrência de carga líquida negativa, o que de acordo com Ferreira et al. (2010) favorece a repulsão eletrostática das argilas e a maior dispersão das mesmas.

Os resultados para matéria orgânica concordam com Barros et al. (2010) que também observaram maiores teores na camada superficial, ressaltando que este aumento pode contribuir para a maior retenção de cátions e diminuir as perdas do solo por lixiviação. Contudo, as variações nos teores de matéria orgânica do solo podem influenciar também na floculação das argilas, embora o teor de argila presente no solo exerça maior influência sobre este atributo (Prado e Natale 2003; Souza et al. 2006).

A avaliação da evolução C-CO<sub>2</sub> mostrou maior respiração basal ( $P=0,05$ ) nas camadas 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m. Assim, a profundidade exerceu influência sobre este atributo do solo, o que contraria estudo de D'Andréa et al. (2002). A liberação de C-CO<sub>2</sub> avalia a atividade heterotrófica da biomassa, o que é um indicativo do carbono lábil



ou imediatamente metabolizável através da quantidade de carbono liberado (Doran e Parkin 1996). 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) afirma que o manejo pode condicionar a estrutura da vegetação, pois sistemas cultivados são mais passíveis à ação antrópica.

Tabela 3. Atributos físicos e químicos de 14 áreas cultivadas com cana-de-açúcar nas camadas 0,0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4 e 0,4-0,5 m do solo no litoral sul de Pernambuco

Atributos do solo	Camadas do solo (m)				
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5
Umidade (g/g)	0,14b	0,16a	0,17a	0,17a	0,17a
Densidade do solo (g.cm <sup>3</sup> )	1,42a	1,46a	1,46a	1,48a	1,46a
Densidade de partícula (g.cm <sup>3</sup> )	2,61b	2,61b	2,61b	2,66a	2,63ab
Porosidade total (%)	45,40a	44,16a	44,32a	44,58a	44,70a
Argila Total (g/kg)	26,43b	30,67a	32,85a	32,87a	32,04a
Areia (g/kg)	64,02a	60,77b	59,08b	59,09b	60,25b
Silte (g/kg)	8,41a	7,50a	7,37a	7,65a	7,46a
Areia grossa (g/kg)	63,90a	62,64a	63,18a	65,36a	64,17a
Areia fina (g/kg)	29,89a	31,37a	30,54 a	30,52 a	30,32 a
Argila dispersa em água (%)	14,90 a	15,27 a	13,68a	11,06b	8,69c
Grau de flocculação das argilas(%)	41,94b	46,97b	49,54b	60,82a	62,35a
Ph em H <sub>2</sub> O	5,53a	5,38 b	5,16 c	5,06 cd	5,02d
Ph em Kcl	4,89a	4,56b	4,34c	4,26c	4,27c
ΔPh	-0,63b	-0,82a	-0,82a	-0,80a	-0,75a
Matéria orgânica (%)	19,43a	13,61b	10,68c	9,68c	8,40c
Evolução C-CO <sub>2</sub> (mgCO <sub>2</sub> )	14,50a	11,82a	7,49b	6,65b	6,73b

Médias de 280 amostras por camada de solo. Na mesma linha, médias com a mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls ao nível de 5% de probabilidade.

#### *Componentes da nematofauna e as camadas do solo*

A caracterização e densidade populacional das comunidades de nematóides em função das camadas de solo estudadas encontram-se descritas na Tabela 4. As famílias Dorylaimidae, Rhabditidae e Aphelenchidae e os parasitos de planta (*Pratylenchus* sp. e *Criconemella* sp.) apresentaram maior ( $P=0,05$ ) densidade populacional nas camadas mais superficiais do solo, conforme observaram Miranda (2009) e Caixeta (2011). Entretanto, não ocorreram variações significativas para os demais grupos, possivelmente devido às baixas densidades encontradas. No entanto, à exceção de *Paratrichodorus* sp., *Hoplolaimus* sp. e *Hemiciclyophora* sp., os componentes da nematofauna correlacionaram-se negativamente com as camadas do solo (Tabela 4).

Segundo Ribeiro et al. (2009) a maior população dos nematóides na camada de 20 cm pode ser explicada pela concentração do sistema radicular nas primeiras camadas. Também pode ser associado à compactação das camadas mais profundas, sendo observado pelo tempo que os implementos não trafegam nas áreas estudadas (Tabela 2), o que modifica os espaços porosos e diminui a oxigenação do solo.

Tabela 4. Densidade populacional da nematofauna nas camadas de 0,0-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3, 0,3-0,4, 0,4-0,5 m do solo de 14 áreas cultivadas com cana-de-açúcar no litoral sul de Pernambuco

Nematofauna	Camadas do solo (m)				
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5
Onívoros					
<i>Dorylaimidae</i>	111,15a	62,11ab	39,05b	46,46b	34,87b
Predadores					
<i>Mononchidae</i>	10,00a	5,34a	1,70a	3,18a	3,14a
Bacteriófagos					
<i>Rhabditidae</i>	74,85a	21,78b	25,95ab	10,82b	6,38b
<i>Cephalobidae</i>	10,74a	7,25a	5,48a	2,25a	0,31a
Micófagos					
<i>Aphelenchidae</i>	23,87a	10,32ab	12,39ab	11,05ab	7,38b
Parasitas de Plantas					
<i>Meloidogyne</i> (raiz)	-	-	9,61a	-	-
<i>Meloidogyne</i> (solo)	4,61a	1,98a	3,29a	1,59a	0,24a
<i>Pratylenchus</i> (raiz)	-	-	57,14a	-	-
<i>Pratylenchus</i> (solo)	284,81a	145,45ab	99,75ab	105,46ab	77,00b
<i>Helicotylenchus</i>	113,81a	97,36a	61,05a	45,30a	42,51a
<i>Trichodorus</i>	3,80a	3,70a	1,71a	2,66a	1,07a
<i>Xiphinema</i>	0,00a	0,11a	0,00a	0,00a	0,22a
<i>Criconemella</i>	7,5a	4,32ab	1,07b	2,84b	0,96b
<i>Hoplolaimus</i>	21,13a	24,37a	14,16a	24,86a	18,13a
<i>Hemicicyophora</i>	13,15a	11,14a	5,39a	9,11a	2,25a

Médias de 280 amostras por camada de solo. Na mesma linha, médias com a mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls ao nível de 5% de probabilidade

#### Correlações entre a nematofauna e as propriedades do solo

Os nematóides parasitos de planta e de vida livre apresentaram correlações positivas com a umidade do solo, à exceção de *Cephalobidae* e *Hoplolaimus* sp. (-0,26 e -0,33, respectivamente), corroborando com Miranda (2009), mas discordando de Caixeta (2011). De maneira geral, os nematóides parasitos de planta necessitam de umidade para migrar do solo para a raiz, embora solos encharcados limitem a sua sobrevivência devido à escassez de oxigênio.

Os resultados obtidos no presente estudo indicam que as relações dos nematóides com a densidade do solo e densidade de partículas dependem do gênero envolvido (Tabela 5A). Por exemplo, o ectoparasito *Helicotylenchus* sp. correlacionou-se

negativamente com estes atributos, enquanto o, também, ectoparasito *Hemiciclyophora* sp. mostrou comportamento contrário. Entretanto, Aphelenchidae correlacionou-se positivamente com a densidade do solo e negativamente com a porosidade total. De acordo com Miranda (2009), a densidade do solo é crítica para a mobilidade e atividade dos nematóides, mas quando muito alta afeta a sobrevivência devido às limitações de oxigênio.

Tabela 5. Coeficiente de correlação significativa entre os nematóides e as características de solos cultivados com cana-de-açúcar no litoral sul de Pernambuco

5A.

CN	Vin	Pf	U	DS	C-CO <sub>2</sub>	DP	AT	Are	S
Dory		-0,17 <sup>a</sup>			0,23 <sup>a</sup>	-0,15 <sup>a</sup>			
Mono	0,12 <sup>b</sup>	-0,16 <sup>a</sup>			0,16 <sup>a</sup>				
Rhab		-0,20 <sup>a</sup>			0,16 <sup>a</sup>				
Ceph		-0,17 <sup>a</sup>	-0,26 <sup>a</sup>			0,19 <sup>a</sup>	-0,31 <sup>a</sup>	0,29 <sup>a</sup>	
Aphe	0,16 <sup>a</sup>	-0,15 <sup>b</sup>		0,20 <sup>a</sup>	0,19 <sup>a</sup>				
Melo		-0,15 <sup>b</sup>			0,14 <sup>b</sup>				
Praty		-0,27 <sup>a</sup>	0,18 <sup>a</sup>		0,21 <sup>a</sup>		0,16 <sup>a</sup>	-0,14 <sup>b</sup>	
Heli	-0,13 <sup>b</sup>	-0,19 <sup>a</sup>	0,23 <sup>a</sup>	-0,18 <sup>a</sup>		-0,16 <sup>a</sup>	0,22 <sup>a</sup>	-0,20 <sup>a</sup>	0,14 <sup>a</sup>
Tric		-0,12 <sup>b</sup>				-0,18 <sup>a</sup>		-0,12 <sup>b</sup>	0,15 <sup>a</sup>
Parat									0,13 <sup>a</sup>
Xiph		-0,18 <sup>a</sup>							
Cric	0,18 <sup>a</sup>						0,15 <sup>a</sup>	-0,18 <sup>a</sup>	0,18 <sup>b</sup>
Hoplo			-0,33 <sup>a</sup>			0,23 <sup>a</sup>	-0,39 <sup>a</sup>	0,37 <sup>a</sup>	-0,19 <sup>b</sup>
Hemi				0,15 <sup>a</sup>		0,18 <sup>a</sup>			
Endo		-0,28 <sup>a</sup>	0,18 <sup>a</sup>		0,22 <sup>a</sup>		0,15 <sup>a</sup>	-0,14 <sup>b</sup>	
Ecto		-0,22 <sup>a</sup>	0,16 <sup>a</sup>	-0,15 <sup>a</sup>		-0,13 <sup>b</sup>	0,17 <sup>a</sup>	-0,18 <sup>a</sup>	0,15 <sup>a</sup>
PP		-0,29 <sup>a</sup>	0,20 <sup>a</sup>	-0,13 <sup>b</sup>	0,18 <sup>a</sup>		0,19 <sup>a</sup>	-0,18 <sup>a</sup>	0,12 <sup>a</sup>
VL		-0,23 <sup>a</sup>			0,24 <sup>a</sup>				
Tot		-0,32 <sup>a</sup>	0,14 <sup>b</sup>		0,24 <sup>a</sup>	-0,14 <sup>b</sup>			

5B.

CN	AG	AF	ADA	GFA	PH <sub>H2O</sub>	PH <sub>KCl</sub>	ΔPh	MO	Pt
Dory					0,13 <sup>b</sup>	0,16 <sup>a</sup>		0,19 <sup>a</sup>	
Mono						0,12 <sup>b</sup>		0,16 <sup>b</sup>	
Rhab						0,21 <sup>a</sup>	-0,22 <sup>a</sup>	0,21 <sup>a</sup>	
Ceph	0,23 <sup>a</sup>	-0,21 <sup>a</sup>	-0,20 <sup>a</sup>		0,29 <sup>a</sup>	0,40 <sup>a</sup>	-0,26 <sup>a</sup>		
Aphe	0,12 <sup>b</sup>	-0,14 <sup>a</sup>					-0,24 <sup>a</sup>	0,15 <sup>b</sup>	-0,21 <sup>b</sup>
Melo									
Praty			0,12 <sup>b</sup>		-0,14 <sup>b</sup>		-0,14 <sup>a</sup>	0,39 <sup>a</sup>	
Heli			0,20 <sup>a</sup>					0,36 <sup>a</sup>	0,13 <sup>b</sup>
Tric	-0,14 <sup>b</sup>	0,12 <sup>b</sup>	0,14 <sup>b</sup>				0,13 <sup>b</sup>	0,12 <sup>b</sup>	
Parat	-0,13 <sup>b</sup>	0,16 <sup>b</sup>	0,19 <sup>a</sup>				0,16 <sup>a</sup>		
Xiph					0,13 <sup>b</sup>	0,14 <sup>b</sup>			
Cric	-0,16 <sup>a</sup>	0,20 <sup>a</sup>	0,20 <sup>a</sup>		0,14 <sup>b</sup>		0,21 <sup>a</sup>		
Hoplo	0,28 <sup>a</sup>	-0,27 <sup>a</sup>	-0,26 <sup>a</sup>	-0,16 <sup>b</sup>	0,27 <sup>a</sup>	0,36 <sup>a</sup>	-0,22 <sup>a</sup>	-0,18 <sup>a</sup>	
Hemi									
Endo			0,13 <sup>b</sup>		-0,14 <sup>b</sup>		-0,14 <sup>a</sup>	0,39 <sup>a</sup>	
Ecto			0,20 <sup>a</sup>					0,29 <sup>a</sup>	0,12 <sup>b</sup>
PP			0,18 <sup>a</sup>					0,41 <sup>a</sup>	
VL					0,13 <sup>b</sup>	0,23 <sup>a</sup>	-0,20 <sup>a</sup>	0,22 <sup>a</sup>	
Tot							-0,18 <sup>a</sup>	0,39 <sup>a</sup>	

CN componentes da nematofauna, *Vin* vinhaça, *Pf* profundidade, *U* umidade gravimétrica, *DS* densidade do solo, *C-CO<sub>2</sub>* evolução C-CO<sub>2</sub>, *DP* densidade de partículas, *AT* argila total, *S* silte, *Are* areia, *AG* areia grossa, *AF* areia fina, *ADA* argila dispersa em água, *GFA* grau de flocculação das argilas, *MO* matéria orgânica, *Pt* porosidade total, *Dory* Dorilaimidae, *Mono* Mononchidae, *Rhab* Rhabditidae, *Ceph* Cephalobidae, *Aphe* Aphelenchidae, *Melo* Meloidogyne (solo), *Praty* Pratylenchus sp. (solo), *Heli* Helicotylenchus sp., *Tric* Trichodorus sp., *Paratric* Paratrichodorus sp., *Xiph* Xiphinema, *Cric* Criconemella sp., *Hoplo* Hoplolaimus sp., *Hemi* Hemicicyophora sp., *Endo* endoparasitos (solo), *Ecto* ectoparasitos, *PP* parasitos de planta (solo), *VL* vida livre, *tot* total (solo).

<sup>b</sup> Significativo ao nível de 5%.

<sup>a</sup> Significativo ao nível de 1%.

Dentre os nematóides de vida livre, os *Cephalobidae* associaram-se às frações granulométricas, mostrando correlações positivas com areia e areia grossa e, negativa,

com argila, areia fina e argila dispersa em água. Os *Aphelenchidae* se mostraram mais favoráveis a solos com frações de areia grossa e, conseqüentemente, maiores poros, corroborando a correlação negativa com a porosidade total (Tabela 5B).

De maneira geral, os parasitos de planta *Pratylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp., *Trichodorus* sp. e *Criconemella* sp. correlacionaram-se negativamente com os teores de areia e/ou areia grossa e, positivamente, com silte, argila dispersa em água e/ou areia fina, já o *Hoplolaimus* sp. apresentou correlações positivas com os teores de areia e/ou areia grossa e negativas com com silte, argila dispersa em água e/ou areia fina e com o grau de flocculação das argilas, por se tratar de um nematóide relativamente grande, em relação a outros parasitos de planta, possivelmente necessita de mais espaço para locomoção e sobrevivência.

Quanto a ADA houve correlações positivas com *Pratylenchus* sp., *Helicotylenchus* sp., *Trichodorus* sp., *Paratrichodorus* sp., *Criconemella* sp. e com os nematóides endoparasitas, ectoparasitas e parasitos de planta, e correlações negativas com os taxa *Cephalobidae* e *Hoplolaimus* sp. Este resultado comprova que o processo de dispersão das argilas, representado nas Tabelas 2 pelos valores médios da ADA em cada área, não foi suficiente para comprometer a locomoção e sobrevivência dos nematóides. Konhke (1968) explica que o processo de dispersão das argilas está relacionado com a aeração do solo, suprimento de nutrientes, retenção e armazenamento de água. Segundo Oades (1984), a quebra de macroagregados do solo e altos valores da argila dispersa diminuem a porosidade do solo podendo comprometer o movimento da água no perfil.

O grau de flocculação das argilas se correlacionou negativamente com o *Hoplolaimus* sp. e está relacionado com a agregação das partículas do solo (Santos et al. 2010) sendo função do pH, da natureza e concentração dos eletrólitos presentes na solução do solo. Com a diminuição do pH há redução das cargas negativas, favorecendo a aproximação das partículas e a flocculação (Aguiar 2007). Ocorrendo aumento no pH, há aumento de cargas negativas, de repulsão e dispersão (Castro 1989).

A exceção de *Pratylenchus* sp., os nematóides apresentaram correlação positiva com o pH (Tabela 5B), corroborando com Barros et al. (2010) e Matos et al. (2011). Segundo Rocha et al. (2007), o pH do solo é um atributo químico importante para a atividade dos nematóides, ainda que seus efeitos prováveis sejam indiretos. A  $\Delta$ pH se correlacionou negativamente com os grupos bacteriófagos, micófagos, vida livre, total,

endoparasitos e nematóides totais. E, positivamente, com *Trichodorus* sp., *Paratrichodorus* sp. e *Criconemella* sp.

As densidades populacionais dos nematóides, a exceção de *Hoplolaimus* sp., mostraram relação direta com a matéria orgânica. Os grupos de vida livre e os endoparasitos apresentaram relação direta com a atividade heterotrófica da biomassa do solo, determinada pela liberação de C-CO<sub>2</sub> (Tabela 5B). Este resultado evidencia que a ação da matéria orgânica no solo promove o aumento natural das populações microbianas que irão promover a decomposição por reações de oxidação (Parr 1975). Através dessas reações os microorganismos capturam carbono e energia para o seu crescimento (Alexander 1967) promovendo assim, o aumento do consumo do CO<sub>2</sub>. Liebig et al. (2004) descreveu que o material orgânico provindo dos resíduos da colheita tem um forte efeito sobre a comunidade de nematóides do solo.

Analisando os resultados, não foi observada correlação da aplicação de vinhaça com os endoparasitos, como verificado em outros estudos (Miranda 2009; Barros 2010; Matos et al. 2011). Embora a vinhaça tenha se correlacionado positivamente com as densidades populacionais de Mononchidae e Aphelenchidae (Tabela 5A), o que poderia sugerir o aumento na proliferação de nematóides predadores e parasitos de plantas. Além do mais, ao adicionar vinhaça ao solo, cujo teor de carbono total é da ordem de 0,9%, o crescimento dos microrganismos, os quais estão geralmente limitados pelo suprimento de material energético, é favorecido (Santos et al. 2009). Orsini (2009) observou o aumento da população de nematóides de vida livre após aplicação da matéria orgânica advinda da vinhaça e da torta de filtro em solo cultivado com cana-de-açúcar.

Todos os atributos do solo avaliados diferiram estatisticamente entre as áreas com e sem vinhaça. Contudo, essa diferença deve estar associada às propriedades intrínsecas de cada solo (Tabela 3) e não devido exclusivamente à aplicação de vinhaça. Por outro lado, a estrutura e densidade populacional da comunidade de endoparasitas, ectoparasitas, parasitas de plantas, vida livre e total não diferiram significativamente entre as áreas com e sem aplicação de vinhaça.

*Análise de Correspondência Canônica: relações entre as propriedades do solo e componentes da nematofauna*

O diagrama de ordenação da análise de correspondência canônica para os atributos do solo e comunidades de nematóides encontra-se na Figura 1. O diagrama possui dois eixos posicionados na horizontal (eixo 1) e na vertical (eixo 2), as retas representam as variáveis do solo, a distância da reta ao centro do gráfico indica a importância da variável na explicação dos padrões ecológicos, ou seja, o quanto da variação que a variável em questão explica.

Os autovalores foram 0,094 (P=0,005) e 0,019 (P=0,05) para o primeiro e segundo eixo, respectivamente. Valores os quais são considerados baixos (< 0,5 *sensu* ter Braak 1995), indicando a existência de gradiente curto e predominância de variações na abundância dos *taxa* de nematóides. Os eixos 1 e 2 explicaram 23,2% da variância total das relações entre *taxa* de nematóides e as áreas estudadas. Contudo, as correlações entre espécie-ambiente foram 0,625 e 0,454, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6. Correlação entre variáveis e eixos gerados, significância do teste de permutação de Monte Carlo e variância explicada

	Eixo 1	Eixo 2
$\lambda$	0,094	0,019
Correlações de Pearson espécie-ambiente	0.625	0.454
% da variância explicada	19,3	3,9
Teste de Monte Carlo	0,005	0,05
Umidade	-0.846	-0.142
Densidade do solo	0.523	0.068
Evolução C-CO2	-0.157	0.378
Densidade de partículas	0.416	0.157
Argila	-0.789	-0.145
Areia	0.807	0.124
Silte	-0.541	-0.198
Areia grossa	0.516	0.225
Areia fina	-0.555	-0.501
Argila Dispersa em Água	-0.416	-0.118
Grau de Flocculação das Argilas	-0.525	0.075
pHH2O	0.481	-0.316
pHKCl	0.572	-0.187
$\Delta$ pH	0.256	0.195
atéria Orgânica	-0.331	0.377
Parasitas de Planta	-0.164	0.009
Endoparasitos	-0.138	0.173
Ectoparasitos	-0.200	-0.211
Vida Livre	0.448	-0.103
Bacteriófagos	0.868	0.140
Micófagos	0.348	0.303
Predadores	0.243	-0.393

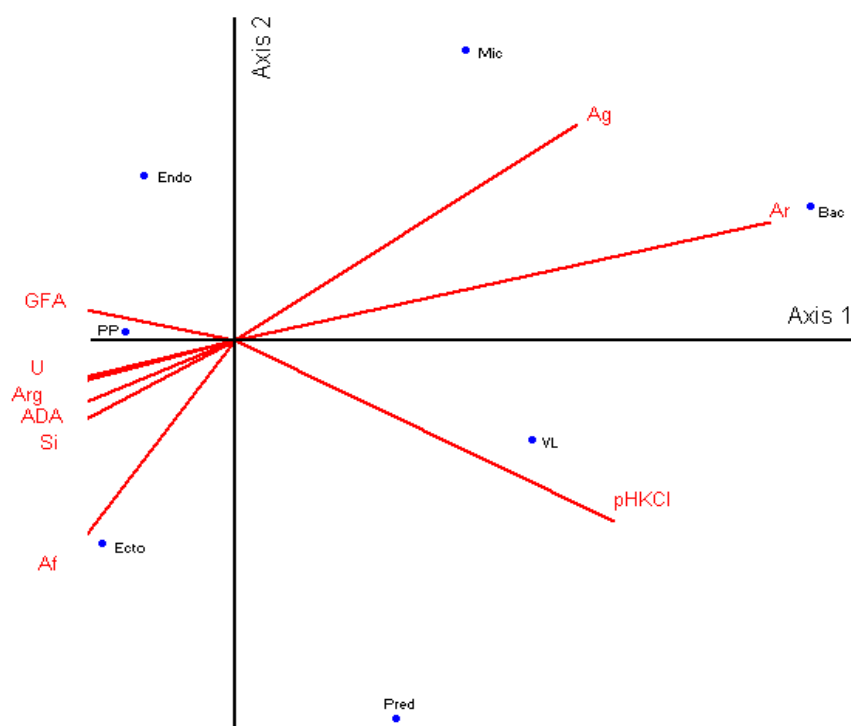


Figura 1. Diagrama de ordenação da Análise de Correspondência Canônica para os atributos do solo e comunidades de nematóides. *GFA* grau de floculação das argilas, *U* umidade gravimétrica, *Arg* teor de argila, *ADA* argila dispersa em água, *Si* teor de silte, *Ar* teor de Areia, *Ag* areia grossa, *Af* areia fina. *Endo* Endoparasitas, *PP* parasitos de planta, *Ecto* ectoparasitas, *Pred* predadores, *VL* vida livre, *Bac* bacteriófagos e *Mic* micófitos.

As comunidades de nematóides são representadas por pontos ao longo dos dois eixos (Figura 1). Os nematóides parasitos de planta se localizaram bem próximos ao eixo 1 se comparados as comunidades de vida livre e bacteriófagos. Quanto às correlações entre as propriedades do solo e os nematóides destacam-se o *GFA* e os *PP*, que se posicionam próximo ao primeiro eixo, o teor de areia e os bacteriófagos mostram alta correlação indicando boa conexão entre estes fatores e, também, que esses nematóides são mais influenciados pela presença desta variável. E a correlação entre o *pHKCl* e os nematóides de vida livre.

Assim, as correlações apresentadas na CCA mostram que apenas algumas variáveis do solo podem explicar as relações espécies-ambiente, mesmo que apresentem claras correlações (Hoy et al. 2008), conferindo a outros fatores ambientais o poder de explicá-las.



### *Análise de agrupamento*

A análise hierárquica de agrupamento foi realizada para avaliar as relações de interdependência ou similaridade entre as comunidades de nematóides e as 14 áreas estudadas, as quais podem ser observadas através de um dendograma ou estrutura de árvores (Everitt et al. 2001). Foram utilizados dois tipos de métodos de ligação e medidas de distâncias para este estudo, com o objetivo de comparar os resultados obtidos por cada método. Os métodos foram o *UPGMA*, baseado na medida de distância de Sorensen (Bray-Curtis) e o método de Ward utilizando a distância Euclidiana.

O dendograma no qual foi utilizado o método de *UPGMA*, baseado na distância Sorensen (Bray-Curtis) encontra-se na Figura 2. O primeiro grupo foi formado pelas áreas SV1, SV6, CV1, CV4, SV3, SV4, SV5, CV2 e CV3. Enquanto que o segundo grupo foi representado pelas áreas SV2, CV5, SV7, CV7 e CV6. Este algoritmo computa a similaridade média entre o elemento a ser adicionado e todos os elementos já presentes em um grupo. O novo elemento é adicionado ao grupo cuja média de similaridade for maior do que a dos outros. Essa similaridade média pode ser avaliada pela média aritmética (Aldenderfer e Blashfield 1984). Assim, este usa informações sobre todos os pares de distâncias, não apenas o mais próximo ou mais longe, além de não ser muito afetado por “*outliers*”. Por isso este método é preferível, quando comparado com *single* e *complete linkage methods* (Norusis 2011; Mooi e Sarstedt 2011).

O dendograma no qual foi utilizado o método de Ward, baseado na distância Euclidiana quadrada encontra-se na Figura 3. O primeiro grupo foi formado pelas áreas SV1, SV6, CV1, SV3, CV4, CV3, SV4, SV5 e CV2. Enquanto que o segundo grupo foi representado pelas áreas SV2, CV5, SV7, CV7 e CV6. O algoritmo de agrupamento de Ward é considerado bastante eficiente na formação de grupos, pois leva em consideração a variância mínima. De acordo com Aldenderfer e Blashfield (1984) este método busca otimizar a mínima variância entre os grupos, juntando os elementos cuja soma dos quadrados entre eles seja mínima ou que o erro desta soma (*Error Sum of Squares*) seja mínimo. Entretanto, Capelo (2003) afirma que este método produz grupos homogêneos, mas tende a sobrestimar as dissimilaridades entre grupos. Enquanto que a *UPGMA* representa normalmente uma solução intermediária em termos do balanço da dissimilaridade intra-grupos/inter-grupos.

Assim, os algoritmos de agrupamento apresentados nesse estudo geraram o mesmo número de grupos, porém a sequência das áreas diferiram no primeiro grupo formado por ambos algoritmos. Contudo, não houve diferença na estrutura das comunidades de nematóides entre as áreas que foram aplicadas a vinhaça e as demais. Corroborando com Sánchez-Moreno et al. (2008) os quais afirmam que os efeitos de diferentes práticas agrícolas na cadeia alimentar do solo não são diretamente previsíveis de acordo com a composição da fauna dos nematóides. Em contrapartida, Hair Jr. et al. (2006) ressaltam que a análise de agrupamento deve ser utilizada apenas como uma técnica exploratória ou descritiva, devido ao fato do agrupamento obtido não ser único e pode gerar resultados diferentes por conta da variação de um ou mais elementos.

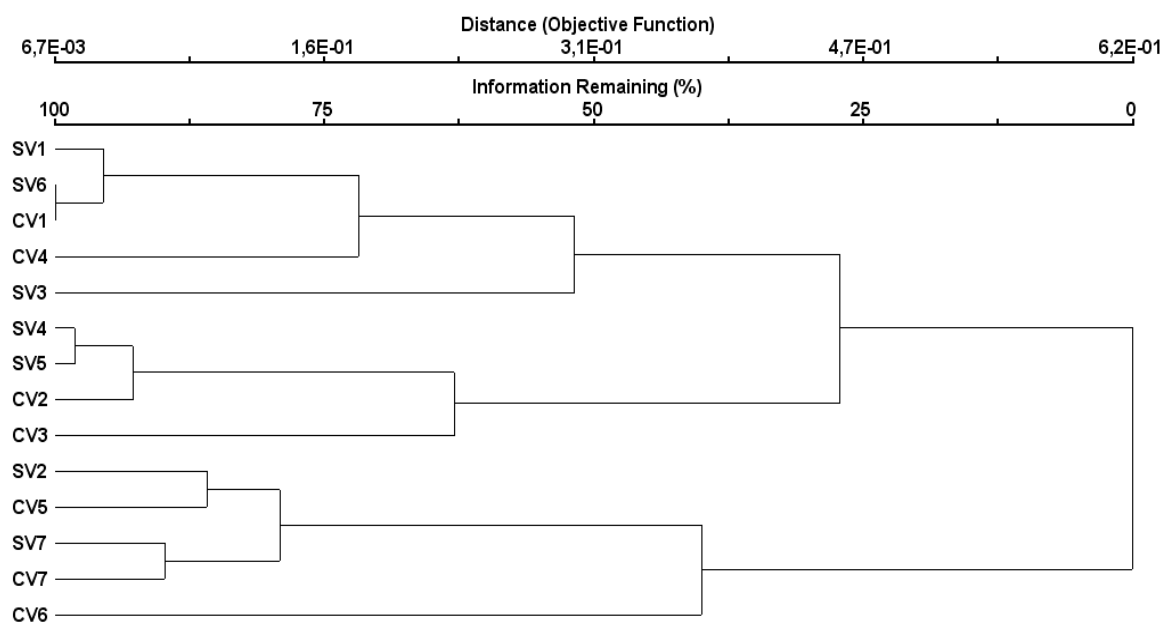


Figura 2. Dendrograma horizontal da análise hierárquica de agrupamento pelo método de *UPGMA* para comunidades de nematóides em áreas com e sem aplicação de vinhaça. *SV1* sem vinhaça (área 1), *SV2* sem vinhaça (área 2), *SV3* sem vinhaça (área 3), *SV4* sem vinhaça (área 4), *SV5* sem vinhaça (área 5), *SV6* sem vinhaça (área 6), *SV7* sem vinhaça área 7, *CV1* com vinhaça (área 1), *CV2* com vinhaça (área 2), *CV3* com vinhaça (área 3), *CV4* com vinhaça (área 4), *CV5* com vinhaça área 5, *CV6* com vinhaça (área 6), *CV7* com vinhaça (área 7).

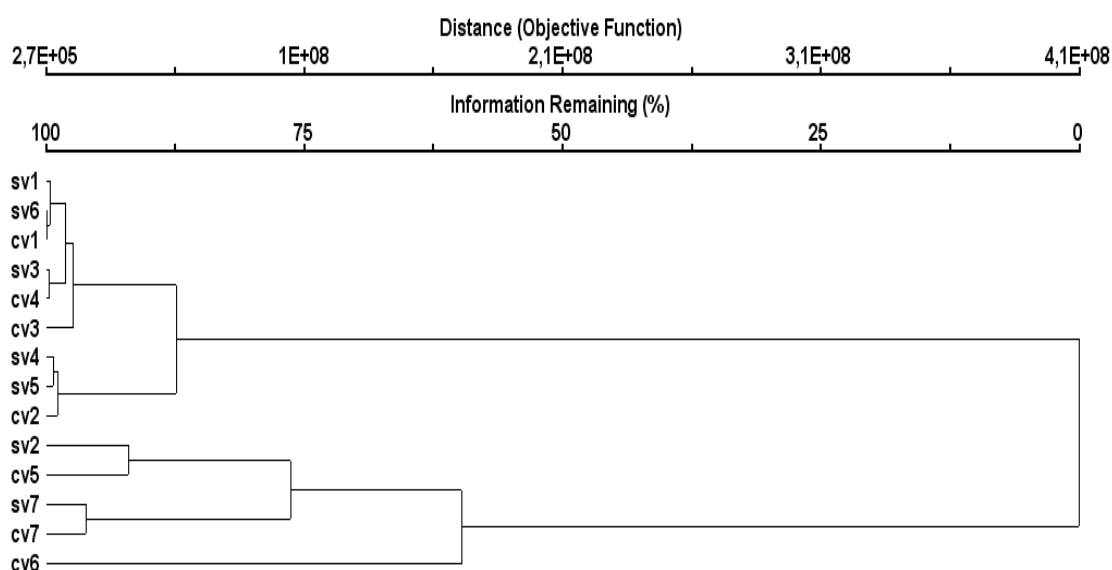


Figura 3. Dendrograma horizontal da análise hierárquica de agrupamento pelo método de Ward para comunidades de nematóides e em áreas com e sem aplicação de vinhaça. *SV1* sem vinhaça (área 1), *SV2* sem vinhaça (área 2), *SV3* sem vinhaça (área 3), *SV4* sem vinhaça (área 4), *SV5* sem vinhaça (área 5), *SV6* sem vinhaça (área 6), *SV7* sem vinhaça (área 7), *CV1* com vinhaça (área 1), *CV2* com vinhaça (área 2), *CV3* com vinhaça (área 3), *CV4* com vinhaça (área 4), *CV5* com vinhaça (área 5), *CV6* com vinhaça (área 6), *CV7* com vinhaça (área 7).

#### *Relação entre a nematofauna e os atributos do solo nas áreas estudadas*

Avaliando-se as 14 áreas estudadas, a área 3 (Tabela 7A), situada em encosta, destaca-se por apresentar maior densidade de parasitos de planta, provavelmente por ser uma área na qual não se aplica resíduo (Tabela 1). Esta área, de textura argilosa, apresentou significativamente maior teor de umidade, o estudo para essa área foi realizado em época de inverno, menores densidade de solo, densidade de partículas e teor de areia. Enquanto que teor de argila, porosidade total, grau de flocculação das argilas e teor de matéria orgânica foram maiores (Tabela 2A). Apesar de ser uma área sem aplicação de vinhaça, há constante utilização de adubação química (Tabela 1), aumentando assim, a carga orgânica do solo.

Por outro lado, a área 9 (Tabela 7B), situada em várzea, destaca-se pela maior densidade de nematóides de vida livre, pois é um sítio que tem histórico de aplicação de vinhaça há 8 anos (Tabela 1), o que favorece o aumento desses microorganismos. Contudo, a área 9 não difere da área 3 quanto à densidade de endoparasitos e teor de matéria orgânica. Quanto a textura do solo, é caracterizada por textura franco argilo-arenosa. Além de apresentar maior densidade do solo e menor densidade de partícula e porosidade total.

A área 9, localizada em várzea, possui o maior valor de DS e menor valor de PT, indicando que as partículas sólidas dessa área tendem a se arranjar com expressivo contato, ou seja, existe predominância de sólidos, provavelmente por ser uma área de colheita mecanizada (Tabela 1), justificando assim, os resultados encontrados para esses atributos. Já na área 3, na qual os valores encontrados para esses atributos contrariam o achado na área 9 indica que esta área possui maior quantidade de agregados e é uma área que possui colheita manual.

Tabela 7 A. Atributos físicos e químicos do solo e nematóides em 14 áreas cultivadas com cana-de-açúcar no litoral sul de Pernambuco

Variáveis do solo	Áreas de estudo						
	1	2	3	4	5	6	7
Atributos físicos e químicos							
<sup>a</sup> U	0,21bcd	0,22bc	0,30a	0,23b	0,07g	0,04h	0,12f
<sup>b</sup> DS	1,59a	1,44bc	1,02d	1,39c	1,39c	1,46bc	1,56a
<sup>c</sup> DP	2,62bcde	2,62bcde	2,60bcde	2,57cde	2,68ab	2,73a	2,66abc
<sup>d</sup> PT	38,90fg	44,92bcde	60,72a	45,68bcd	49,00b	46,66bc	41,28efg
<sup>e</sup> AT	38,28e	32,38f	56,33a	47,11c	3,97i	1,78i	24,90g
<sup>f</sup> Areia	49,76e	45,14e	33,99f	44,57e	93,43a	96,97a	72,05c
<sup>g</sup> Silte	11,96c	22,47a	9,69d	8,31d	2,61f	1,26f	3,05ef
<sup>h</sup> AG	54,12e	33,22f	69,28d	52,99e	80,01b	88,84a	78,11bc
<sup>i</sup> AF	41,71c	63,05a	28,26e	43,36c	19,93f	11,17h	15,13g
<sup>j</sup> ADA	19,16b	17,61bcd	6,96f	13,25cde	2,30g	1,82g	18,31bc
<sup>k</sup> GFA	48,31cd	48,31cd	86,85a	69,56b	40,56de	35,71de	26,32e
<sup>l</sup> pH H <sub>2</sub> O	5,15def	5,02ef	4,67h	5,45c	5,20def	5,93a	5,23de
<sup>m</sup> pH Kcl	4,36def	4,09fg	4,20defg	4,72c	4,37def	5,48a	4,44de
<sup>n</sup> MO	17,62a	9,55bc	16,85a	5,26cd	7,61cd	3,79d	16,20a
<sup>o</sup> C-CO <sub>2</sub>	10,22b	9,31b	9,41b	5,86b	9,39b	5,77b	11,70b
Nematoides							
<sup>p</sup> VL	78 bcde	42cde	142bcd	91e	56bcde	99bcd	58bcde
<sup>q</sup> PP	105cdefg	106bcdef	689a	210fg	45g	102efg	187abcde
<sup>r</sup> Endo	60cde	86abcd	437a	83f	5g	9g	100abc
<sup>s</sup> Melo	1a	4a	2a	2a	5a	0a	2a
<sup>t</sup> Praty	59cde	82abc	436a	81e	0f	9f	98abc
<sup>u</sup> Ecto	45d	20d	252abc	127bcd	40d	93abcd	87abcd
<sup>v</sup> Total	183de	178cde	831ab	301e	101de	201cde	245bcd

Tabela 7B.

Variáveis do solo	Áreas de estudo						
	8	9	10	11	12	13	14
Atributos físicos e químicos							
<sup>a</sup> U	0,06g	0,15e	0,18d	0,15e	0,13ef	0,20cb	0,19d
<sup>b</sup> DS	1,58a	1,63a	1,38c	1,60a	1,53ab	1,36c	1,44bc
<sup>c</sup> DP	2,65abcd	2,62bcde	2,55de	2,67ab	2,63bcde	2,62bcde	2,53e
<sup>d</sup> PT	40,41fg	38,02g	46,12bcd	40,12fg	41,90edfg	48,05b	43,03cdef
<sup>e</sup> AT	17,38h	21,65g	50,96b	34,30f	19,15h	42,33d	40,08d
<sup>f</sup> Areia	79,11b	69,33c	33,89f	64,15d	79,19b	38,58f	48,81e
<sup>g</sup> Silte	3,54ef	9,03d	5,10e	1,55f	1,70f	19,09b	8,11d
<sup>h</sup> AG	80,44b	73,59bcd	38,65f	70,28cd	76,68bcd	39,23f	58,32e
<sup>i</sup> AF	15,63g	20,48f	27,66e	28,02e	22,56f	55,58b	34,89d
<sup>j</sup> ADA	12,11e	6,75f	14,94bcde	12,85de	7,50f	28,76a	16,30bcde
<sup>k</sup> GFA	30,33e	66,60b	67,14b	58,13bc	61,43bc	32,41e	60,88bc
<sup>l</sup> pH H <sub>2</sub> O	5,73b	5,08def	4,97fg	4,79gh	4,77gh	5,29cd	5,97a
<sup>m</sup> pH Kcl	4,84bc	4,45d	3,97g	4,16efg	4,25def	4,20defg	4,98b
<sup>n</sup> MO	9,83cd	15,41a	13,56ab	8,81c	17,21a	17,14a	14,17a
<sup>o</sup> C-CO <sub>2</sub>	4,24b	23,47a	7,85b	8,68b	5,43b	12,70b	8,02b
Nematoides							
<sup>p</sup> VL	26de	508a	45bcde	116abc	80bcd	67bcd	139ab
<sup>q</sup> PP	67defg	449abc	120defg	467ab	246abcd	419ab	328abcd
<sup>r</sup> Endo	37def	373ab	71ef	343a	148ab	168ab	112bcde
<sup>s</sup> Melo	0a	9a	0a	0a	3a	4a	2a
<sup>t</sup> Praty	37cde	365ab	71de	343a	145ab	165ab	111bcd
<sup>u</sup> Ecto	30d	76cd	50d	124abcd	98abcd	251a	216ab
<sup>v</sup> Total	93de	958a	165de	583ab	326abc	486ab	467ab

<sup>a</sup> Umidade gravimétrica(g/g); <sup>b</sup> Densidade do solo (g.cm<sup>3</sup>); <sup>c</sup> Densidade de partículas (g.cm<sup>3</sup>); <sup>d</sup> Porosidade total (%); <sup>e</sup> Argila Total (g/kg); <sup>f</sup> Areia (g/kg); <sup>g</sup> Silte (g/kg); <sup>h</sup> Areia grossa (g/kg); <sup>i</sup> Areia fina (g/kg); <sup>j</sup> Argila dispersa em água (%); <sup>k</sup> Grau de flocculação das argilas (%); <sup>l</sup> pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = potencial hidrogeniônico em água; <sup>m</sup> pH<sub>KCl</sub> = potencial hidrogeniônico em cloreto de potássio; <sup>n</sup> Matéria orgânica (%); <sup>o</sup> Evolução C-CO<sub>2</sub> (mgCO<sub>2</sub>); <sup>p</sup> Nematoides de vida livre; <sup>q</sup> Nematoides parasitos de planta; <sup>r</sup> Nematoides endoparasitos no solo; <sup>s</sup> *Meloidogyne* no solo; <sup>t</sup> *Pratylenchus* no solo; <sup>u</sup> Nematoides ectoparasitos; <sup>v</sup> Total de nematóides no solo (ecto + endoparasitos). Médias de 20 amostras por área. Na mesma linha, médias com a mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls ao nível de 5% de probabilidade.

Em relação à composição granulométrica do solo, a fração de areia se encontra em maior concentração dentre as três frações (Tabela 7A), ocorrendo em maior quantidade na área 6 cuja a classificação textural é arenosa (Tabela 1) e a menor concentração desta fração se encontra nas áreas 3 e 10 (Tabelas 7A e 7B). Os teores de argila e de silte estão assim distribuídos. O teor de argila tem a sua maior concentração na área 3 e menor na área 6 (Tabela 7A), neste sítio a percentagem de areia passa dos 90%. A fração silte está presente em maior quantidade na área 2 e menor na área 6. Essa distribuição também é percebida com as frações de areia grossa e areia fina, cuja maior concentração de AG e a menor de AF se encontram na área 6. Ainda com relação à granulometria, a fração de areia predomina sobre as demais frações com exceção das áreas 3, 4, 10 e 13 com domínio da fração argila, sendo estas áreas classificadas como argilosa, argilosa, franco argilo-arenosa e franco-argilosa, respectivamente.

A porosidade do solo representa os espaços vazios e é definida pela textura e pela estrutura (Pedroso Neto & Lopes, 2009). Sendo determinada pela forma como se arrumam suas partículas sólidas, enfatizando que ao se arranjam em íntimo contato, ocorre predominância de sólidos na amostra e a porosidade total é baixa; e se, ao contrário, as partículas se encontram arranjadas em agregados, ocorrendo a dominância de vazios na amostra e a porosidade é alta (Ribeiro et al 2007). A área 9, localizada em várzea possui o maior valor de DS e menor valor de PT, indicando que as partículas sólidas dessa área tendem a se arranjar em íntimo contato, ou seja, existe predominância de sólidos, provavelmente por ser uma área de colheita mecanizada (Tabela 1), justificando assim, os resultados encontrados para esses atributos. Já na área 3, na qual os valores encontrados para esses atributos são o contrário achado na área 9 indica que esta área possui maior quantidade de agregados e é uma área que possui colheita manual.

Neste estudo os atributos físicos do solo com melhores resultados se destacam nas áreas que tem localização em várzea, de acordo com Santos & Salcedo (2010) deve-se ao fato de que os solos de várzea se encontram em relevo plano, fornecendo assim melhores condições para o desenvolvimento da agricultura em comparação com os demais tipos de localizações. São sítios de acúmulo de sedimentos oriundos das zonas elevadas do relevo e das demais várzeas no sistema de drenagem da bacia e apresentando assim melhor suprimento de água. Nestes sítios encontram-se diferentes

classes de solo, oriundos do material de origem e das camadas de sedimentos mais elevadas.

## CONCLUSÕES

- ✓ As relações dos componentes da nematofauna com as frações granulométricas, densidade do solo e densidade de partícula variam com o gênero envolvido;
- ✓ A matéria orgânica e a atividade heterotrófica da biomassa do solo influenciam diretamente a densidade populacional da comunidade de nematóides;
- ✓ As áreas cultivadas com cana-de-açúcar no litoral sul de Pernambuco são mais heterogêneas em atributos de solo do que em comunidades de nematóides;
- ✓ A CCA apresentou baixas correlações entre as propriedades do solo e os *taxa* de nematóides, conferindo a outros fatores ambientais o poder de explicar as relações entre *taxa*-ambiente;
- ✓ Os agrupamentos utilizando os algoritmos *UPGMA* e Ward, baseados nas distâncias Euclidiana e Sorensen(Bray-Curtis) foram semelhantes. Não diferenciando a estrutura das comunidades de nematóides entre as áreas com e sem aplicação de vinhaça.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia (FACEPE), pelas concessões das bolsas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aldenderfer, M. S., & Blashfield, R. K. (1984). *Cluster Analysis* (p. 88). Beverly Hills, CA: Sage.

Aguiar, L. I. G. Propriedades físico-hídricas do solo em plantio direto após calagem. 2007, 72 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2007.

Alexander, M. (Ed.).(1967). *Introduction to soil microbiology*. New York: John Wiley.

Alleoni, L. R. F., & Camargo, O. A.(1994) Atributos físicos de Latossolos ácricos do norte paulista. *Scientia Agrícola*, 51(2): 321-326.

Almeida Neto, O. B. Dispersão da argila e condutividade hidráulica em solos com diferentes mineralogias, lixiviados com soluções salino-sódicas. 2007, 93 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

Barros, P. A. Variabilidade espacial de atributos químicos e biológicos do solo sob cultivo de cana-de-açúcar. 2010, 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

Barros, R. P., Viégas, P. R. A., Silva, T. L., Souza, R. M., Barbosa, L., Viégas, R. A., Barretto, M. C. V., & Melo, A. S. (2010). Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 40(3), 341-346.

Brun, E. J. Matéria orgânica do solo em plantios de *Pinus taeda* e *P. elliottii* em duas regiões do Rio grande do sul. 2008, 119 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

Caixeta, L. B. Dinâmica da nematofauna em resposta ao corte da cana-de-açúcar e fertirrigação com vinhaça. 2011, 96 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

Campanhola, C., Luiz, A. J. B., & Lucchiari Júnior, A. (2001). O problema ambiental no Brasil: agricultura. In A. R. Romeiro, B. P. Reydon & M. L. Leonardi (Eds.), *Economia do meio ambiente: teoria, política e a gestão de espaços regionais* (pp. 269-272). Campinas: EMBRAPA/UNICAMP.

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. (2004) 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*, 1- 4. (Circular Técnica, 10).

Capelo, J. (2003). *Conceitos e métodos da fitossociologia: formulação contemporânea e métodos numéricos de análise da vegetação* (p. 107). Oeiras: SPCF. Estação Florestal Nacional.

Cardoso, M. O., Pedrosa, E. M. R., Rolim, M. M., Silva, E. F. F. & Barros, P. A. (2011) Effects of soil mechanical resistance on nematode community structure under conventional sugarcane and remaining of Atlantic Forest. *Environmental Monitoring and Assessment*, doi: 10.1007/ s10661-011-2206-4

Carneiro, C. E. A., Fioretto, R. A., Fonseca, I. C. B., Neves, C. S. V. J., & Castro, A. J. S. (2004) Alterações químicas no solo induzidas pela aplicação superficial de palha de cana-de-açúcar, calcário e vinhaça. *Semina: Ciências Agrárias*, 25(4), 265-272.

Castro, O. M. Efeito de dois tipos de calcário em alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-escuro e de um Podzólico Vermelho-amarelo. 1989, 63 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

Centurion, J. F., Roque, C. G., Centurion, M. A. P. C., & Prado, R. M. (2004). Manejo mecânico e cultura de cobertura na entrelinha da seringueira (PB 235 e RRIM 701) e os atributos físicos de uma Latossolo Vermelho no planalto paulista. *Revista Árvore*, 28(1), 7- 13.



- D'andréa, A. F., Silva, M. L. N., Curi, N., Siqueira, J. O., & Carneiro, M. A. C. (2002). Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26, 913-923.
- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (Eds.). (1996). Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In J. W., Doran & A. J., Jones (Eds.), *Methods for assessing soil quality*. (pp. 25-37). Madison: Soil Science Society of America Special Publication, 49.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1997). *Manual de métodos de análise de solo*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (2nd ed., p. 212). Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Everitt, B. S, Landau, S., & Leese, M. (2001). *Cluster analysis*. (pp. 207). London, 4.
- Ferreira, R. R. M., Tavares Filho, J., Ferreira, V. M., & Ralisch, R. (2010). Estabilidade física de solo sob diferentes manejos de pastagem extensiva em cambissolo. *Semina: Ciências Agrárias*, 31(3), 531-538.
- Gasparetto, E. C., Braidá, J. A., Carneiro, M., Scariot, J. J., & Tabolka, C. L. (2009). Grau de floculação da argila de um latossolo vermelho utilizado com lavoura e mata nativa. *Synergisms scientific*, 4(1), 1-3.
- Goralczyk, K. (1998). Nematodes in a coastal dune succession: Indicators of soil properties. *Applied Soil Ecology*, 9, 465-469.
- Grisi, B. M. (1978). Método químico de medição da respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. São Paulo, 30, 82-88.
- Hair Jr., J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (2006). *Análise multivariada de dados* (5 ed., pp. 600). Porto Alegre: Bookman.
- Heininger, P., Höss, S., Claus, E., Pelzer, J., & Traunspurger, W. (2007). Nematode communities in contaminated river sediments. *Environmental Pollution*, 146, 64–76.
- Hoy, C.W., Grewal, P. S., Lawrence, J. L., Jagdale, G., & Acosta, N. (2008). Canonical correspondence analysis demonstrates unique soil conditions for entomopathogenic nematode species compared with other free-living nematode species. *Biological Control*, 46, 371-379.
- Jenkins, W. R. (1964). A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*, 48(9), 692-695.
- Kohnke, H. (Ed.).(1968). *Soil physics*. (pp. 224). New York: Mac Grow-Hill, 1.
- Koppen, W. (1948). *Climatologia*. México: Fundo de cultura Venezuelana. (pp. 278).

- Liebig, M.A., Tanaka, D.L., & Wienhold, B.J., (2004). Tillage and cropping effects on soil quality indicators in the northern Great Plains. *Soil & Tillage Research* 78, 131–141.
- Mai, W. F., Mullin, P. G., Lyon, H. H., & Loeffle, K. (Eds.).(1996). *Plant-parasitic nematodes: a pictorial key to genera*. (5th ed., p. 277). Ithaca: Cornell University Press.
- Matos, D. S. S., Pedrosa, E. M. R., Guimarães, L. M. P., Rodrigues, C. V. M. A., & Barbosa, N. M. R. (2011). Relações entre a nematofauna e atributos químicos de solo com vinhaça. *Nematropica*, 41, 19-34.
- McCune, B., & Mefford, M. J. (1999). PC-ORD version 4.0., multivariate analysis of ecological data. MjM Software Design, Glanden Beach.
- Mekaru, T., & Uehara, G. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. (1972). *Soils Science American Proceeding*, 36, 296-300.
- Miranda, T. L. Relações entre atributos físicos e biológicos do solo após operações de colheita e aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar. 2009, 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.
- Mooi, E., & Sarstedt, M. (2011). *A Concise Guide to Market Research*. (DOI 10.1007/978-3-642-12541-6\_9). New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Neves, C. M. N., Silva, M. L. N., Curi, N., Cardoso, E. L., Macedo, R. L. G., Ferreira, M. M., & Souza, F. S. (2007). Atributos indicadores da qualidade do solo em sistemas agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. *Scientia Florestalis*, (74), 45-53.
- Norusis, M. (2011). *PAS Statistics 18 Statistical Procedures Companion* (p. 656). Pearson.
- Oades, J.M. (1984). Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, 76, 319-337.
- Orsini, I. P. População de nematóides e microrganismos em solos cultivados com cana-de-açúcar. 2009, 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.
- Parr, J. F. (1975). Chemical and biological considerations for and application of agricultural land municipal wastes. In FAO (Ed.). *Organic Materials as Fertilizers*, (pp. 227- 251). (Soils Bulletin, 27).
- Pedroso Neto, J. C., & Lopes, E. W. (2009). Caracterização física do Latossolo Vermelho Distrófico da fazenda Escola da Fazu. *FAZU em Revista*, (6), 21-25.
- Prado, R. M., & Natale, W. (2003). Alterações na granulometria, grau de floculação e propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico, sob plantio direto e reflorestamento. *Acta Scientiarum: agronomy*, 25(1), 45-52.

- Ribeiro, C. F. R., Xavier, F. R. P., Xavier, A. A., Almeida, V. F., Mizobutsi, E. H., Campos, V. P., Ferraz, S., & Dias-Arieira, C. R. (2009). Flutuação populacional e efeito da distância e profundidade sobre nematoides em bananeira no norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31(1), 103-111.
- Ribeiro, K. D., Menezes, S. M., Mesquita, M. G. B. F., & Sampaio, F. M. T. (2007). Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. *Ciência Agrotécnica*, 31(4), 1167-1175.
- Rocha, M. R., Carvalho, Y, Corrêa, G. C., Cunha, M. G., & Chaves, L. J. (2007). Efeito da calagem e da adubação potássica sobre o nematóide *Heterodera glycines* (Ichinohe, 1952). *Revista Brasileira de Agrociência*, 11(2), 31-38.
- Sánchez-Moreno, S., Smukler, S., Ferris, H., Geen, A. T. O., & Jackson, L. E. (2008). Nematode diversity, food web condition, and chemical and physical properties in different soil habitats of an organic farm. *Biology and Fertility of Soils*. 44(5), 727-744.
- Santos, A. C., & Salcedo, I. H. (2010). Fertilidade nas áreas de várzea e topo em função do uso do solo e posição do relevo. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 10(2), 83-90.
- Santos, L. N. S., Passos, R. R., Silva, L. V. M., Oliveira, P. P., Garcia, G. O., & Cecílio, R. A. (2010). Avaliação de alguns atributos físicos de um latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais. *Bioscience Journal*, 26(6), 940-947.
- Santos, T. M. C., Santos, M. A. L., Santos, C. G., Santos, V. R., & Pacheco, D. S. (2009). Fertirrigação com vinhaça e seus efeitos sobre evolução e liberação de CO<sub>2</sub> no solo. *Caatinga*, 22(1), 141-145.
- SAS – Statistical Analysis System. Institute Inc. 2003. SAS/STAT. 9.0 User's guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Souza, Z. M., Beutler, A. N., Prado, R. M., & Bento, M. J. C. (2006). Efeito de sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho. *Científica*, 34(1), 31-38.
- Strecke, V., Kampf, N., & Dalmolin, R. S. (Eds). (2002). *Solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, Departamento de Solos UFRGS, (pp.128).
- Ter Braak, C. J. F. (1995). Ordination. In R.H.G. Jongman, C.J.F. ter Braak, & O.F.R. van Tongeren (Eds.), *Data analysis in community and landscape ecology* (pp.91-173). Cambridge: Cambridge University Press.
- Vicini, L. (2005). *Análise Multivariada da teoria à prática*. (pp.215). Santa Maria, RS.
- Yeates, G.W., Bongers, T., Goede, R. G. M., Freckman, D. W., & Georgieva, S. S. (1993). Feeding habits in soil nematodes families and genera – an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*, 25(3), 315-331.