

THAIS FERNANDA DA SILVA VICENTE

**VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DE NEMATOIDES E ATRIBUTOS
FÍSICOS E QUÍMICOS DE SOLO CULTIVADO COM
CANA-DE-AÇÚCAR**

**Recife - PE
Fevereiro, 2016**

THAIS FERNANDA DA SILVA VICENTE

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DE NEMATÓIDES E ATRIBUTOS FÍSICOS E
QUÍMICOS DE SOLO CULTIVADO COM
CANA-DE-AÇÚCAR

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

Orientadora: Prof^a Dr^a Elvira Maria Régis Pedrosa
Coorientadores: Prof^o Dr^o Abelardo Antônio de Assunção Montenegro
Prof^a Dr^a Andréa Chaves Fiuza
Porto

Recife - PE
Fevereiro, 2016

Ficha catalográfica

V632v Vicente, Thais Fernanda da Silva
 Variabilidade espaço-temporal de nematoides e atributos
 físicos e químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar / Thais
 Fernanda da Silva Vicente. – Recife, 2016.
 127 f. : il.

 Orientadora: Elvira Maria Régis Pedrosa.
 Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade
 Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia
 Agrícola, Recife, 2016.
 Inclui referências e apêndice(s).

 1. Comunidade de nematoides 2. Fertilidade do solo
 3. Geoestatística 4. Índices ecológicos de nematoides 5. Nutrição
 mineral 6. *Saccharum* 7. Vinhaça I. Pedrosa, Elvira Maria Régis,
 orientadora II. Título

CDD 631

THAIS FERNANDA DA SILVA VICENTE

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DE NEMATÓIDES E ATRIBUTOS FÍSICOS E
QUÍMICOS DE SOLO CULTIVADO COM
CANA-DE-AÇÚCAR

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

Aprovada em: 26 /02/2016

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Dr^a Elvira Maria Régis Pedrosa
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof^o Dr^o Abelardo Antônio de Assunção Montenegro
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof^a Dr^a Andréa Chaves Fiuza Porto
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof^a Dr^a Andréa Cristina Baltar Barros
Faculdade Maurício de Nassau

Dr^a Mércia Soares de Oliveira Cardoso
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Aos meus pais, Iêda Cristina da Silva Vicente e Jorge Augusto Vicente, pelo amor, força e dedicação, sempre presentes em todos os momentos da minha vida com muito carinho e influenciando em minha formação.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, presente em todos os momentos de minha vida, agradeço pelo aprendizado evitórias alcançadas nesta caminhada;

À minha orientadora Dra. Elvira Maria Régis Pedrosa, a quem respeito e possuo 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), por meio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar o Doutorado;

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos e fomento do projeto;

Ao Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (Prof. Dr. Mário Monteiro Rolim), pelo apoio e oportunidade de realizar parte da pesquisa, oferecendo infra-estrutura de apoio material e laboratorial, para desenvolvimento das análises;

À profa. Dra. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire responsável pelo laboratório de Química dos solos e ao prof. Dr. Egídio Bezerra Neto responsável pelo laboratório de Química Agrícola pelo auxílio nas análises químicas do solo e planta;

Aos meus coorientadores Dra. Andréa Chaves Fiuza Porto, Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro e Dr. Mário Monteiro Rolim, por todo apoio, ensinamentos e competência oferecidos para contribuir com a elaboração de minha Tese e meu crescimento profissional;

À Usina Olho D'Água pela parceria e colaboração no experimento, cessão das áreas experimentais, apoio técnico e material durante a pesquisa. Em especial ao Engenheiro Agrônomo Marcos Mendonça, que sempre nos concedeu apoio, nos recebeu com atenção e disponibilidade durante todo o período do experimento, atendendo às necessidades da pesquisa. Ao Técnico Agrícola Moacir que nos auxiliou diretamente no campo juntamente com os trabalhadores;

Ao corpo docente do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícolapelo aprendizado em todos os anos de mestrado e doutorado;

À toda a equipe do laboratório de fitonematologia pela longa convivência e amizade Profa. Dra. LÍlian Guimarães, Dra. Sandra Maranhão, Dra. Jeane Émile, Dra. Daniela Salgues, Dra. Carmen Virgínia, Dr. Matheus Silva e Silva, Alain Dennis, Carmen, Ana Hozanna, Mariana Ferreira, Marcela Andrade, LÍlian Palhares, Stanyslau, Franklin, Luana Silva minha companheira de pesquisa e canavial;

Ao Dr. Douglas Castro por toda ajuda técnica disponibilizada até quando não podia.

Ana Karina, Diego Huggins pela amizade, colaboração, auxílio, ombro amigo e convivência, Dra. Mércia Cardoso pelo companheirismo, ótima amizade, por dividir um pouco do seu conhecimento e pela grande contribuição científica para o desenvolvimento deste estudo meus sinceros agradecimentos. Robertson Fontes Júnior pelo longo período de amizade, convivência, muitas jornadas de estudos, ensinamentos durante todos estes anos, e uma ótima e maravilhosa amizade.

Aos meus colegas e amigos de engenharia agrícola Manuel Cunegundes, Uilka Elisa, Patrícia Ângelo, Liliane, Jucicléia Soares, Anderson, Raquele Lyra, Janice Coelho, Keyla Jerônimo, Profa. Laércia, Pedro Francisco, Carolina França, Aline, Alysso por toda amizade e companheirismo.

Ednalva (Nana) e Antônio Granja.

Finalmente, a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização desta tese e por uma excelente convivência nestes anos de UFRPE.

“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente.
Quem sobrevive é o mais disposto à mudança.”

Charles Darwin

RESUMO

A cultura da cana-de-açúcar tem assumido papel cada vez mais relevante no cenário agrícola brasileiro, em virtude da crescente demanda por combustíveis renováveis, especialmente nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste. Porém, a constante utilização da cultura pode levar ao desgaste do solo, o que, conseqüentemente, promoverá alteração à cadeia trófica deste ecossistema. O constante manejo do solo pode provocar mudanças na variabilidade espacial dos nematoides assim como de atributos físicos e químicos do solo, e também da relação entre estas variáveis. Desta forma, este estudo objetivou avaliar padrões e relações de atributos físicos (granulometria, umidade, densidade e porosidade do solo) e químicos do solo (pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ trocáveis, evolução C-CO₂ do solo e carbono orgânico total) e do tecido vegetal (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) com a nematofauna e os efeitos dos nematoides na absorção de nutrientes pela cana-de-açúcar e padrões de crescimento da cultura (altura do colmo, número de perfilho, número colmos e massa fresca e seca das folhas). O estudo foi realizado no município de Juripiranga – PB, em Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com cana-de-açúcar, na safra 2013/2014. Foram realizadas cinco amostragens (antes do plantio da cana; aos 3, 6, 9 meses após o plantio da cana e por ocasião da colheita) em malha com 84 pontos e espaçamento de 8 m entre as amostras na camada de 10-30 cm. Os dados foram submetidos à análise descritiva, análise de correlação de Pearson e análise de componentes principais. A geoestatística foi utilizada para caracterização da dependência espacial dos nematoides, atributos físicos e químicos do solo, além dos atributos químicos e desenvolvimento da planta, para modelagem de semivariogramas e elaboração de mapas de krigagem. Para avaliar as funções desempenhadas pelos nematoides no ecossistema foram calculados os índices ecológicos: IM, IM (2-5), Sigma IM, IPP, IB, IE, IS e IC. A atividade metabólica dos nematoides foi calculada para avaliar a contribuição dos nematoides para os serviços e funções do ecossistema. Os resultados indicaram que, no período do estudo, a área se encontrava em processo de enriquecimento, mesmo por ocasião da colheita quando a cadeia se apresentava em processo de estruturação. Nas três primeiras épocas de amostragem o índice Sigma IM se mostrou mais sensível que o IM; de maneira geral, os índices ecológicos indicaram mudanças provocadas no solo, especialmente pela adição da vinhaça, mas também pela escassez de chuvas que promoveu resposta mais expressiva nas guildas Ba1 e H3. Os nematoides parasitos de planta foram dominantes, com destaque para os gêneros *Tylenchorhynchus*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* e a família Criconematidae. O manejo da área para reforma do canavial não interferiu na distribuição espacial das propriedades físicas e químicas do solo, a exceção do Mg^{2+} que obteve distribuição aleatória neste período. Os efeitos das variáveis químicas do solo e da planta sobre os nematoides se mostraram inter-relacionados, não sendo detectada resposta expressiva dos parasitos de planta a uma ou poucas variáveis, mas ao conjunto delas, reforçando a complexidade e influência mútua entre as variáveis estudadas.

Palavras-chaves: Comunidade de nematoides. Fertilidade do solo. Geoestatística. Índices Ecológicos de nematoides. Nutrição mineral. *Saccharum*. Vinhaça.

ABSTRACT

In Southeastern, Midwest and Northeastern Brazil sugarcane cropping plays a highly important role in agricultural scenario due to the growing demand for renewable fuels. However, the continuous crop growing can deplete and erode soil, disturbing the food chain ecosystem. The continuous soil management may shift spatial variability of nematodes and soil physical and chemical properties as well relationships between them. Therefore, this study aimed to evaluate relationships and spatial distribution patterns of soil physical (soil gradation, soil moisture, bulk density and total porosity), soil chemical (pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ exchangeable, C-CO₂ evolution in soil and total organic carbon) and plant tissue chemical attributes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) with nematode community and the effects on sugarcane development (sprouting, stalk height and number, fresh and dry leaf mass) and nutrient absorption. The study was carried out in Juripiranga – PB, on an Ultisol cultivated with sugarcane, in 2013/2014 harvest. Samples were taken at 10-30-cm depth and were collected before planting, and at 3, 6, 9, 12 months after, following a 84-point grid with sampling points spaced 8-m apart, bring in 84 sampling points at each time. Descriptive analysis and Principal Components Analysis were performed. Pearson's correlation coefficients between nematode taxa and attributes of soil and plant were calculated. Geostatistics tools was used to characterize the spatial dependence for the nematodes, physical and chemical attributes of soil, besides chemical and growth attributes of plant, employing semivariogram models to create prediction surface maps with kriging. To evaluate the functions performed by nematodes in the ecosystem, analysis were carried out with the following nematode ecological indices: MI, MI (2-5), Sigma MI, PPI, BI, EI, SI and CI. Nematode metabolic footprints were calculated to assess the contribution of nematodes for services and ecosystem functions. Results indicated at the study period the soil food web was in the enrichment process, even at harvest, when the chain were in the structuring process. The three initial periods Sigma MI presented more sensible than MI index; in general, the ecological indices responded to the changes caused in the soil, specially by the addition of vinasse, along with the dry condition that strengthened Ba1 and H3 response. Plant-parasitic nematodes were dominant: *Tylenchorhynchus*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* and the family Criconematidae. The area management before planting did not affect spatial distribution of physical and chemical soil attributes, except the random distribution of Mg^{2+} in this period. The effects on nematode community from soil and plant chemical variables proceeded interrelated, so that the plant-parasitic nematodes did not respond to one or few variables enough, but to sequence of events acting en bloc, enforcing the complexity and mutual influence among the variables studied.

Keywords: Nematode assemblage. Soil fertility. Geostatistics. Nematodes ecological index. Mineral nutrition. *Saccharum*. Vinasse.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1 | Distribuição mensal das chuvas e da temperatura média em área de cultivo de cana-de-açúcar..... | 37 |
| Figura 2 | Distribuição das chuvas e da temperatura durante os dias de experimento em Área de cultivo de cana-de-açúcar..... | 37 |
| Figura 3 | Localização geográfica da área experimental cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba..... | 38 |
| Figura 4 | Comunidade de nematoides em área de cultivo de cana-de-açúcar, durante as épocas de amostragem..... | 49 |
| Figura 5 | Gêneros e famílias dominantes em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba, representados no gráfico de erro padrão..... | 51 |
| Figura 6 | Nematoides parasitos de planta dominantes em área de cultivo de cana-de-açúcar, durante as épocas de amostragem..... | 53 |
| Figura 7 | Índices ecológicos dos nematoides em área de cultivo de cana-de-açúcar, durante as épocas de amostragem..... | 54 |
| Figura 8 | Atividade metabólica dos nematoides em área de cultivo de cana-de-açúcar, durante as épocas de amostragem..... | 56 |
| Figura 9 | Semivariogramas teórico e experimental dos nematoides parasitos de planta no solo em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba-PB..... | 78 |
| Figura 10 | Continuação dos semivariogramas teórico e experimental dos nematoides parasitos de planta no solo em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba-PB..... | 79 |
| Figura 11 | Semivariogramas teórico e experimental das propriedades físicas do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba-PB..... | 80 |
| Figura 12 | Continuação dos semivariogramas teórico e experimental das propriedades físicas do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba-PB..... | 81 |
| Figura 13 | Semivariogramas teórico e experimental das propriedades químicas do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba-PB..... | 82 |
| Figura 14 | Continuação dos semivariogramas teórico e experimental das propriedades químicas do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba-PB..... | 83 |
| Figura 15 | Semivariogramas teórico e experimental dos elementos químicos na folha em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba-PB..... | 84 |
| Figura 16 | Semivariogramas teórico e experimental da Biomassa Fresca da Parte Aérea (BFPA), Biomassa Seca da Parte Aérea (BSPA) e do número de perfilhos em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba-PB..... | 85 |
| Figura 17 | Mapas de isolinhas representando os nematoides ectoparasitos no solo em quatro períodos de amostragens..... | 88 |
| Figura 18 | Mapas de isolinhas representando os nematoides <i>Helicotylenchus</i> no solo em três períodos de amostragens..... | 89 |

| | |
|---|-----|
| Figura 19 Mapas de isolinhas representando os nematoides <i>Pratylenchus</i> no solo em três períodos de amostragens..... | 90 |
| Figura 20 Mapas de isolinhas representando os nematoides <i>Tylenchorhynchus</i> no solo nos cinco períodos de amostragens..... | 91 |
| Figura 21 Mapas de isolinhas representando a densidade do solo (g.cm^3) em quatro períodos de amostragens..... | 92 |
| Figura 22 Mapas de isolinhas representando a umidade do solo (g.g^{-1}) nos cinco períodos de amostragens..... | 93 |
| Figura 23 Mapas de isolinhas representando a porosidade total do solo (%) nos cinco períodos de amostragens..... | 94 |
| Figura 24 Mapas de isolinhas representando a textura do solo na área de amostragem. A – Areia (g. kg^{-1}); B – Areia Grossa (g. kg^{-1}); C – Areia Fina (g. kg^{-1}); D – Argila (g. kg^{-1}); E – Silte (g. kg^{-1})..... | 95 |
| Figura 25 Mapas de isolinhas representando a matéria orgânica do solo (%) nos cinco períodos de amostragens..... | 96 |
| Figura 26 Mapas de isolinhas representando o Ca^{2+} na solução do solo (cmolc L^{-1}) nos cinco períodos de amostragens..... | 97 |
| Figura 27 Mapas de isolinhas representando o Mg^{2+} na solução do solo (cmolc L^{-1}) em três períodos de amostragens..... | 98 |
| Figura 28 Mapas de isolinhas representando o K^+ na solução do solo (cmolc L^{-1}) nos cinco períodos de amostragens..... | 99 |
| Figura 29 Mapas de isolinhas representando o elemento Ca na folha (g kg^{-1}) em quatro períodos de amostragens..... | 100 |
| Figura 30 Mapas de isolinhas representando o elemento Mg na folha (g kg^{-1}) em quatro períodos de amostragens..... | 101 |
| Figura 31 Mapas de isolinhas representando o elemento K na folha (g kg^{-1}) em quatro períodos de amostragens..... | 102 |
| Figura 32 Mapas de isolinhas representando biomassa fresca na parte aérea (g) em quatro períodos de amostragens..... | 103 |
| Figura 33 Mapas de isolinhas representando biomassa seca na parte aérea (g) em quatro períodos de amostragens..... | 104 |
| Figura 34 Mapas de isolinhas representando o número de perfilhos em quatro períodos de amostragens..... | 105 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabela 1 | Descrição das características dos nematoides de acordo com a classificação da escala c-p (BONGERS, 1990)..... | 24 |
| Tabela 2 | Descrição das guildas funcionais (BONGERS; BONGERS, 1998) baseadas nas condições alimentares do solo: enriquecida, basal e estruturada (FERRIS; BONGRES; DE GOEDE, 2001)..... | 27 |
| Tabela 3 | Composição química média da vinhaça aplicada na área..... | 36 |
| Tabela 4 | Abundância, média e dominância dos <i>Taxa</i> de nematoides em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba..... | 47 |
| Tabela 5 | Coeficiente de correlação significativa entre guildas funcionais dos nematoides, propriedades do solo e da folha em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba..... | 58 |
| Tabela 6 | Estatística descritiva dos nematoides parasitos de planta associados à cana-de-açúcar em cinco períodos de cultivo na Paraíba..... | 67 |
| Tabela 7 | Estatística descritiva das propriedades físicas do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba..... | 68 |
| Tabela 8 | Estatística descritiva das propriedades químicas do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba..... | 69 |
| Tabela 9 | Estatística descritiva dos elementos químicos na folha, da biomassa fresca e seca da parte aérea e do número de perfilhos em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba..... | 70 |
| Tabela 10 | Parâmetros dos semivariogramas teóricos, grau de dependência espacial (GDE) e validação cruzada dos nematoides parasitos de planta associados à cana-de-açúcar na Paraíba..... | 74 |
| Tabela 11 | Parâmetros dos semivariogramas teóricos, grau de dependência espacial (GDE) e validação cruzada das propriedades físicas do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba..... | 75 |
| Tabela 12 | Parâmetros dos semivariogramas teóricos, grau de dependência espacial (GDE) e validação cruzada das propriedades químicas do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba..... | 76 |
| Tabela 13 | Parâmetros dos semivariogramas teóricos, grau de dependência espacial (GDE) e validação cruzada dos elementos químicos na folha, da biomassa fresca e seca da parte aérea e do número de perfilhos em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba..... | 77 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 16 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 17 |
| 2.1 | CANA-DE-AÇÚCAR: ASPECTOS GERAIS..... | 17 |
| 2.2 | NEMATOIDES | 19 |
| 2.2.1 | Influência de nematoides parasitos de planta na absorção de nutrientes da cana-de-açúcar | 20 |
| 2.2.2 | Nematoides como indicadores da qualidade e saúde do solo | 23 |
| 3 | GEOESTATÍSTICA | 30 |
| 3.1 | VARIABILIDADE ESPACIAL DE NEMATOIDES: INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS DO SOLO NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS NEMATOIDES . | 32 |
| 4 | HIPÓTESES E OBJETIVOS | 35 |
| 4.1 | HIPÓTESES | 35 |
| 4.2 | OBJETIVOS | 35 |
| 4.2.1 | Objetivo Geral | 35 |
| 4.2.2 | Objetivos Específicos | 35 |
| 5 | MATERIAL E MÉTODOS | 36 |
| 5.1 | ÁREA DE ESTUDO E AMOSTRAGEM DE SOLO..... | 36 |
| 5.2 | ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO | 39 |
| 5.3 | ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO | 39 |
| 5.4 | ANÁLISE QUÍMICA DO TECIDO VEGETAL..... | 40 |
| 5.5 | BIOMETRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR | 40 |
| 5.6 | ANÁLISES NEMATOLÓGICAS | 40 |
| 5.7 | ESTRUTURA DA COMUNIDADE DE NEMATOIDES | 40 |
| 5.8 | ÍNDICES ECOLÓGICOS BASEADOS NOS NEMATOIDES | 41 |
| 5.9 | RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO | 43 |
| 5.10 | ANÁLISE ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA..... | 43 |
| 6 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 45 |
| 6.1 | DINÂMICA DA COMUNIDADE DE NEMATOIDES | 45 |
| 6.2 | ÍNDICES ECOLÓGICOS DE NEMATOIDES E CONDIÇÃO DA CADEIA ALIMENTAR DO SOLO | 53 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 6.3 | RELAÇÕES ENTRE GUILDAS FUNCIONAIS E VARIÁVEIS DO SOLO E PLANTA..... | 56 |
| 6.4 | INFLUÊNCIA DOS NEMATOIDES NA ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELA CANA-DE-AÇÚCAR..... | 62 |
| 6.5 | DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DE NEMATOIDES, PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS DO SOLO, ELEMENTOS QUÍMICOS NA FOLHA, BIOMASSA FRESCA E SECA E NÚMERO DE PERFILHOS | 64 |
| 6.6 | MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DAS VARIÁVEIS DO SOLO, DA FOLHA E DE CRESCIMENTO DA CULTURA..... | 856 |
| 7 | CONCLUSÕES | 106 |
| | REFERÊNCIAS | 107 |
| | APÊNDICES | 123 |

1 INTRODUÇÃO

O cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) é uma atividade de acentuada importância socioeconômica, por estimular o desenvolvimento e a estabilização de produtores rurais, contribuindo na geração de emprego e renda no campo. De acordo com a Conab (2015), a previsão é que ocorra redução na área plantada equivalente a 0,1% em relação à safra 2014/15, provenientes de redução nas áreas plantadas nos estados de Alagoas (12,2%) e Paraná (6,1%), refletindo no total de área plantada no país. Na região Nordeste haverá uma diminuição no total de área plantada, devido em parte no estado de Alagoas e parte em razão da seca que atingiu a região nas safras de (2012/2013 e 2013/2014), reduzindo a produtividade das lavouras.

Além da seca, vários outros fatores têm favorecido a baixa produtividade, como questões topográficas, fertilidade do solo, baixos índices pluviométricos e ocorrência de pragas e doenças na região. Dentre as doenças de importância para a cultura, as nematoses se destacam devido à alta incidência e aos elevados prejuízos à produção agrícola, além dos custos para o controle serem onerosos.

Cadet e Spaul, 2005; Maranhão, 2008; Matos et al, 2011, Rodrigues et al., 2011; Caixeta et al., 2011 destacam os nematoides *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885) Chitwood, *M. incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949 e *Pratylenchus zae* Graham, 1951 como os principais responsáveis por danos causados à cultura. Solos secos e altas temperaturas do ar e do solo induzem forte estresse às plantas, principalmente às socas, fenômeno que se agrava com o parasitismo dos nematoides parasitos de planta, que reduz drasticamente a capacidade de absorção das raízes.

Os nematoides se distribuem em agregados no solo, o que sugere a existência de dependência espacial entre as populações no campo (FERRIS; WILSON, 1987). Técnicas de análises espaciais, como a geoestatística são ferramentas poderosas, adequadas para avaliar a dependência espacial dos nematoides (ORTIZ et al., 2010) e de muitos atributos do solo.

Desta forma é importante avaliar a extensão e a intensidade da dependência espacial das variáveis do solo, isoladamente ou em conjunto com outros parâmetros, para compreender melhor a relação dos atributos químicos e físicos do solo com a nematofauna, e analisar a heterogeneidade espacial e funcionamento da estrutura da cadeia alimentar do solo e suas relações com o manejo das culturas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CANA-DE-AÇÚCAR: ASPECTOS GERAIS

A cana-de-açúcar é uma gramínea cultivada nas regiões tropicais, que oferecem condições favoráveis para seu desenvolvimento como alta luminosidade, temperatura adequada (20° - 30° C) e grande disponibilidade de água. O consumo diário de água varia de 2 a 7 mm e depende do seu estágio de desenvolvimento, do clima, do tipo de solo, da população de plantas e da variedade (OLIVEIRA; RAMOS; AQUINO, 2010). É importante fonte de alimento e bioenergia, contribuindo ativamente para economia de aproximadamente 100 países, dentre eles o Brasil, o qual mantém o status de maior produtor de açúcar e etanol liderando a produção mundial seguido por Índia, China e Tailândia (FAO, 2016).

Uma das culturas mais exploradas no Brasil, a cana-de-açúcar foi introduzida no século XVI pelos portugueses, implantada nas regiões sudeste e nordeste. No território brasileiro a indústria canavieira é um dos mais fortes setores do agronegócio, ocupando posição de grande destaque no desenvolvimento histórico e econômico do país, contribuindo não apenas para a produção de açúcar, como também de biocombustível e de outros produtos derivados da cana (MIGUEL, 2010; ROBINSON et al., 2011; COSTA, 2012; YANG et al., 2013).

Cinco séculos depois de ser introduzida no país, a cana-de-açúcar continua como uma das culturas de maior importância no Brasil, em consequência de novas tecnologias desenvolvidas para aumentar a produção, como a intensa modificação nos procedimentos de plantio e colheita, gerando matéria-prima como base para as agroindústrias do açúcar e álcool e também o desenvolvimento de novos produtos como bioplásticos, biobutanol e etanol celulósico, além de representar grande fonte de empregos, renda e desenvolvimento no meio rural (CAMARGO; MARQUES JÚNIOR; PEREIRA, 2010; CARDOSO, 2010; CORDEIRO NETO, 2012; KIRUBAKARAN; VENKATARAMANA; JAABIR, 2013; VIANA; PEREZ, 2013).

O etanol, um dos subprodutos da cana-de-açúcar, é uma das melhores alternativas para reduzir a emissão de gases causadores do efeito estufa, haja vista que a sua queima como combustível reduz em 70% a emissão de CO₂ na atmosfera em relação à gasolina (MACEDO; SEABRA; SILVA, 2008; CALDEIRA-PIRES et al., 2013; CONAB, 2015).

A biomassa derivada da cana-de-açúcar constituída pelo bagaço e palhiço, pode ser aproveitada para a produção de energia elétrica por meio do processo de cogeração, ou seja, geração simultânea de duas ou mais formas de energias, a partir de um único combustível. Os

sistemas de cogeração de biomassa são ambientalmente sustentáveis, diminuindo a produção de gases do efeito estufa, proporcionando a eliminação do fogo na colheita da cana o que ameniza os impactos gerados ao meio ambiente (BASTOS, 2011; INNOCENTE, 2011; COGEN, 2015).

Por outro lado, como os demais sistemas de monocultura, a cana-de-açúcar provoca impactos negativos ao meio ambiente, como por exemplo, ao interferir no uso sustentável dos recursos hídricos provocando alterações na quantidade e na qualidade da água; nos solos, no processo de estoque de carbono e impactos na biodiversidade. Ainda promove a diminuição das áreas naturais para implantação de novas cultivadas, como o que ocorre no ecossistema do cerrado na região centro-oeste do país e também com a retirada de parte da Floresta Atlântica em outros Estados, o que gera aumento na utilização de fertilizantes e pesticidas ocasionando, por vezes, desequilíbrio ambiental (FILOSO et al., 2015).

De acordo com Conab (2015), as áreas cultivadas com cana-de-açúcar sofrerão uma pequena redução de 0,1% em relação à safra de 2014/2015. Na safra 2015/168.995,5 mil hectares foram destinados à atividade sucroalcooleira, distribuídas em todos os estados produtores. São Paulo permanece como o maior produtor com 52% da área plantada, seguido por Goiás com 10,1%, Minas Gerais com 9%, Mato Grosso do Sul com 7,5%, Paraná com 6,6%, Alagoas com 3,8% e Pernambuco com 2,9%. Estes Estados são responsáveis por mais de 90% da produção nacional, os demais estados somam os demais 8% da produção total do território brasileiro.

A área cultivada do país terá um decréscimo de 9,3 mil hectares na safra 2015/16, no entanto, a safra deverá aumentar em 3,9% relativo à 2014/15, principalmente, devido à expansão de novas áreas de plantio das novas usinas em funcionamento. O acréscimo é reflexo do aumento de 0,3% na área da Região Centro-Sul, o que compensou o decréscimo de 2,9% na área plantada da Região Norte/Nordeste, em razão falta de chuva na atual safra e da seca que atingiu a região nas safras passadas (2012/2013 e 2013/2014), reduzindo a produtividade das lavouras em 4,6% (CONAB, 2015).

Um dos subprodutos derivados da produção do etanol é a vinhaça um resíduo gerado em grande abundância, nas destilarias de produção de álcool. Possui alto poder fertilizante e poluidor. É o produto da calda na destilação do licor de fermentação do álcool de cana-de-açúcar; é um líquido residual, também conhecido, regionalmente, por restilo e vinhoto (GEMTOS; CHOULIARAS; MARAKIS, 1999; CARDOZO; ARAÚJO, 2011).

Rica em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e potássio, a vinhaça é muito utilizada como fonte de nutrientes para a cultura da cana-de-açúcar (GONÇALVES; BORGES;

SILVA, 2009), melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, aumenta a microflora, favorecendo a nitrificação e proporcionando a fertilidade dos solos (MIRANDA et al., 2012). Além do mais, a adição de vinhaça ao solo promove a liberação de ácidos graxos voláteis, nocivos à ação de patógenos, a exemplo dos nematoides, criando condições favoráveis ao aumento da densidade populacional de microrganismos, que tanto podem agir como inimigos naturais desses patógenos, como favorecer o estabelecimento de nematoides de vida livre que participam da ciclagem de nutrientes no solo (RODRIGUEZ-KÁBANA, 1986).

2.2 NEMATOIDES

Os nematoides são organismos semiaquáticos, pois dependem de um filme de água para viver e se locomover por entre os espaços porosos no solo, ademais são encontrados em praticamente todos os ambientes. Florestas Atlântica (CARDOSO et al., 2011) e Boreal (KUDRIN; TSURIKOV; TIUNOV, 2015), em áreas de deserto (PEN-MOURATOV et al., 2011), no semiárido Pernambucano (OLIVEIRA, 2014; CASTRO, 2015; LEITÃO, 2015; VICENTE et al., 2015;), em áreas de Restinga (MONDINO et al., 2011) e cerrado (BIEDERMAN; BOUTTON, 2010). Em sistemas de monoculturas (MIRANDA et al., 2012), sistemas de agricultura intensiva (SÁNCHEZ-MORENO et al., 2011), agricultura orgânica (FERRIS; SÁNCHEZ-MORENO; BRENNAN, 2012), como também em solos que sofrem com processos de degradação como salinização (YU-PENG et al., 2015), ou poluição por metais pesados (RODRÍGUEZ MARTÍN, 2014).

Dentre os nematoides que habitam o solo, os parasitos de planta são os mais estudados em consequência dos danos que causam às culturas, ocasionando perdas econômicas para a agricultura mundial, calculada na casa dos bilhões de dólares (MBEGA; NZOGELA, 2012). Esses parasitos obrigatórios necessitam das plantas para locomoção, alimentação e reprodução, embora passem parte do ciclo de vida no solo.

Nas últimas décadas os nematoides se tornaram também importantes por seus atributos como bioindicadores de qualidade, de distúrbios ambientais e de estabilidade do habitat, devido à abundância e onipresença nos ecossistemas. São importantes consumidores primários, participando da mineralização da matéria orgânica do solo (LIU et al., 2013) e ocupam importante posição na cadeia alimentar, respondendo rapidamente a distúrbios que ocorrerem no ecossistema (NEHER; CAMPBELL, 1994; BONGERS; FERRIS, 1999; FERRIS; BONGERS; DE GOEDE, 2001; FERRIS, 2010a).

Com base nessas características, Yeates et al. (1993), propuseram uma classificação, observando a morfologia do estoma e do esôfago, de acordo com o hábito alimentar em: parasitos de planta, que se alimentam de plantas vasculares, micófagos cujo alimento provém das hifas de fungos, bacteriófagos que utilizam de qualquer fonte alimentar que contenha grande quantidade de bactéria, predadores que se alimentam de rotíferos, protozoários e outros nematoides, e onívoros que possuem mais de uma fonte alimentar no seu ciclo de vida, se alimentando desde os parasitos de planta até os parasitos de animais.

Os nematoides parasitos de planta atacam diversas culturas no mundo inteiro, dentre elas a cana-de-açúcar. Aproximadamente 300 espécies, pertencentes a 48 gêneros já foram assinaladas parasitando diretamente as raízes da cultura. Entre os gêneros mais comuns destacam-se: *Criconemoides*, *Helicotylenchus*, *Hoplolaimus*, *Tylenchorhynchus* e *Xiphinema*. No entanto, os gêneros mais relevantes, provocando perdas consideráveis à cultura, são *Meloidogyne* e *Pratylenchus* com ênfase para *M. incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949 e *M. javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1949 e *P. zae* Graham, 1951 (CADET; SPAULL, 2005).

2.2.1 Influência de nematoides parasitos de planta na absorção de nutrientes da cana de-açúcar

No litoral do Nordeste, onde a precipitação ocorre de maio a agosto, a produtividade da cultura é prejudicada, assim como sua capacidade em consumir água e nutrientes disponíveis do solo, por fatores do solo, temperatura, radiação e precipitação (SANTOS et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2011). Ademais, Pinheiro et al. (2009), citam que a absorção de macronutrientes pelas plantas é influenciada por toda prática agrícola que interfira na disponibilidade de nutrientes no solo, o que ocasiona sintomas de deficiência nutricional. Estes sintomas apresentados são a manifestação de alterações que ocorrem no metabolismo em decorrência do déficit de um ou mais elementos essenciais, alterando as funções que os nutrientes exercem no desenvolvimento da cultura (TAIZ; ZEIGER, 2004; ALMEIDA, SANTOS, MARTINS, 2011).

Diferentes tipos de solo, vegetação e condições ambientais influenciam na absorção dos nutrientes do solo pelas culturas variando em função do tempo. As culturas, como a cana-de-açúcar, necessitam mais de K e N do que P. O K é um dos minerais mais abundantes na litosfera, e está disponível nas formas trocável e solúvel para as plantas. Na cana-de-açúcar, por exemplo, o potássio age como ativador enzimático na fotossíntese e na síntese de

proteína, e também, atua na assimilação do carbono e translocação de fotossintetizados. O N age no comprimento do colmo e o P é importante para o processo de perfilhamento e crescimento da cultura (CLEMENTS, 1959; OLIVEIRA 2008; MEDINA et al., 2013).

O Mg, assim como o Ca, disponibiliza-se à absorção radicular, principalmente, através do fluxo de massa, porém, ao contrário do cálcio, é móvel na planta. Sua principal importância é ser constituinte da clorofila, constituindo cerca de 2% do peso molecular desta, além de atuar como ativador enzimático do metabolismo energético (ALVAREZ, 1975; MALAVOLTA, 2006).

Muitos estudos relatam o acúmulo e extração de nutrientes pela cana-de açúcar e as variações relacionadas aos métodos de cultivo, variedades utilizadas, disponibilidade hídrica e de nutrientes. Porém, no geral, citam que o N e o K são os mais requeridos pela planta (FRANCO et al., 2008; TASSO JUNIOR et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2011; WALE et al., 2011).

Os nutrientes dissolvidos na solução do solo migram para as raízes por meio dos processos de difusão e fluxo de massa. Aquele obedece a um gradiente de concentração, enquanto este, é o resultado do fluxo da solução do solo no sentido das raízes, provocada pela absorção de água pelo sistema radicular. O fluxo de massa vem sendo observado como o principal processo pelo qual as raízes têm acesso aos íons dissolvidos na solução do solo (WHITE, 2012).

O baixo fornecimento de nutrientes às plantas pode ser resultado das injúrias provocadas por nematoides às raízes das culturas. Portanto, a constituição das plantas que sofrem com o parasitismo dos nematoides, normalmente, é distinta das plantas saudáveis. As modificações que ocorrem nas plantas variam de planta para planta, podendo, não haver modificação nos teores de alguns nutrientes em algumas plantas, como também, pode ocorrer redução ou acúmulo em outras (HUSSEY, 1985; ALMEIDA; SANTOS; MARTINS, 2011).

Os nematoides penetram na planta por meio da ação mecânica do estilete provocando dano na rígida parede das células. Desta forma são liberadas secreções dentro do hospedeiro, chamadas de efetoras (HAEGEMAN et al., 2012). Parte das substâncias secretadas pelos parasitos dentro das plantas está envolvida no processo de formação da doença, diretamente ou indiretamente, como enzimas, toxinas, reguladores de crescimento e polissacarídeos (AGRIOS, 2005).

As plantas se defendem contra os patógenos, utilizando diversas estratégias tais como a produção de toxinas que têm efeito antipatógeno. Estes compostos podem incluir fitoalexinas, isoflavonóides ou terpenóides (JASMER; GOVERSE; SMANT, 2003; WUYTS;

SWENNEN; DE WAELE, 2006; WUYTS et al., 2007). Além da produção das toxinas as plantas produzem também as espécies reativas de oxigênio, que podem se acumular rapidamente no início do processo infeccioso na interação patógeno-hospedeiro, em um processo conhecido como explosão oxidativa (HAEGEMAN et al., 2012; MBEGA; NZOGELA, 2012).

Estudos foram desenvolvidos para avaliar a influência dos nematoides na absorção de nutrientes pela planta, utilizando principalmente o gênero *Meloidogyne* em casa de vegetação (ARCIA et al., 1976; SANTOS; FERRAZ; OLIVEIRA, 1981; HURCHANIK et al., 2003). Também foram realizados estudos avaliando o parasitismo de fitonematoides induzindo alterações na composição mineral e orgânica dos tecidos da planta parasitada (MAUNG; JENKINS, 1959; BIRD; BROWNELL, 1961; WANG; BERGESON, 1974).

Macedo, Haag e Lordello (1974) relataram a influência do *M. exigua* na composição química do cafeeiro. Após 420 dias de experimento, observaram que os nematoides não interferiram no desenvolvimento da cultura sob efeito da adubação, porém em relação à absorção de nutrientes, os pesquisadores notaram diminuição na quantidade de Zn e B no solo arenoso e de Zn para o solo argiloso, ambos infestados com nematoides quando comparados com as testemunhas.

Asano e Moura (1995) avaliaram sob condições de casa de vegetação, a influência dos nutrientes, juntos e isolados, na severidade da meloidoginose na cultura da cana-de-açúcar. Concluíram que o parasitismo dos nematoides, isoladamente, não prejudicou o crescimento da cultura, assim como o aumento da disponibilidade de macro nutrientes desacelerou a severidade da doença. Todavia, não houve influência dos micronutrientes no crescimento da cultura nem no desenvolvimento populacional dos nematoides.

Pinheiro et al., (2009) estudaram a reprodução de *Heterodera glycines* em soja em condições de casa de vegetação com diferentes doses de K (0, 150, 300, 450 e 600 mg/dm³) e Ca (0, 75, 150, 225 e 300 mg/dm³). Desta forma observaram que as doses de K influenciaram significativamente os números de cistos / vaso, ovos / cisto, ovos / vaso, fêmeas e cistos / sistema radicular e o fator de reprodução. As doses de Ca não obtiveram o mesmo efeito que as doses de K. Também foram avaliados os teores de K e Ca na parte aérea, no entanto foi observado influencia das doses de K do solo no K da parte aérea.

Estudo de desequilíbrio nutricional também fora realizado em mudas de goiabeira 'Paluma' por Almeida, Santos e Martins (2011) que observaram redução no vigor de goiabeiras parasitadas por *M. enterolobii*. Os teores de N, P e K foram menores em folhas sem sintomas de meloidoginose em fevereiro e agosto, a concentração de Ca aumentou nas folhas

com sintomas severos nas duas épocas. Para o Mg não houve mudança em fevereiro, as concentrações de S foram maiores em folhas sem sintomas, em fevereiro, e em folhas com sintomas severos em agosto.

Cordeiro Neto (2012) estudou os efeitos da interação entre compactação do solo (densidades do solo de 1,5; 1,6 e 1,7 g.cm⁻³) e o parasitismo de *M. incognita* (presença e ausência de nematoides) sobre os teores de macronutrientes da parte aérea da cana-de-açúcar (RB962962 e RB863129), desenvolvimento inicial da cultura e multiplicação dos nematoides, em casa de vegetação. E observou que as duas variedades apresentaram redução na altura, peso do colmo e aumento nos teores de Ca e Mg da parte aérea com a densidade de 1,7 g.cm⁻³.

Em estudos sobre nutrição de plantas e nematoides parasitos de planta, observa-se que os nematoides danificam o sistema radicular das culturas por meio de substâncias secretadas como enzimas, toxinas, reguladores de crescimento e polissacarídeos comprometendo a absorção de água e nutrientes e afetam conseqüentemente, o desenvolvimento da cultura (AGRIOS, 2005). Além disso, a presença destes nematoides parasitos de planta em determinadas áreas inviabiliza economicamente a condução de novos cultivos (DINARDO-MIRANDA; GIL; MENEGATTI, 2003; CHAVES et al, 2009), o que reforça a necessidade de mais estudos em áreas agricultáveis, para estabelecer a extensão dos danos causados pelos nematoides parasitos de planta na absorção de nutrientes pela planta, viabilizando estratégias de manejo mais eficiente no controle destes parasitos.

2.2.2 Nematoides como indicadores da qualidade e saúde do solo

A intensa atividade humana provoca perda de solo e nutrientes por erosão, compactação de áreas agricultáveis e salinização (PEDROTTI et al., 2015). Da mesma forma, a substituição de sistemas naturais por agroecossistemas, como também, a adição de pesticidas, herbicidas e nematicidas, sem adequado controle, afeta a biodiversidade do solo, interferindo em sua sustentabilidade e uso (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Para avaliação da qualidade e saúde do solo é necessário identificar parâmetros, indicadores do seu estado de conservação e/ou degradação por intermédio dos atributos físicos, químicos e biológicos. Um bom indicador deve possuir algumas características inerentes à sua função, tais como fácil mensuração, detecção das variações nas funções do solo, integração entre atributos e processos do solo, fácil acessibilidade, aplicável às condições de campo e sensível às variações de manejo e clima (DORAN; ZEISS, 2000).

Neste contexto, os nematoides têm sido utilizados como indicadores da qualidade, de distúrbios ambientais e de características do solo, bem como da estabilidade do habitat, devido à sua abundância e onipresença nos ecossistemas. São importantes consumidores primários, participando da mineralização da matéria orgânica do solo, ocupam importante posição na cadeia alimentar do solo e respondem rapidamente a distúrbios que ocorrerem no ecossistema (NEHER; CAMPBELL, 1994; BONGERS; FERRIS, 1999; FERRIS, BONGERS; DE GOEDE, 2001, YEATES, 2003; FERRIS, 2010a). Diversos estudos no mundo inteiro vêm corroborando, enriquecendo e contribuindo com conhecimento sobre a importância dos nematoides como bioindicador (WASILEWSKA, 1995; GOMES; HUANG; CARES, 2003; YEATES, 2003; SCHRATZBERGER et al., 2006; HEININGER et al., 2007; SÁNCHEZ-MORENO et al., 2010; PAPTODOROU et al., 2012; ZHANG et al., 2012; LECOMTE-PRADINES et al., 2014; CARDOSO et al., 2015).

A composição das comunidades de nematoides no solo é influenciada por fatores ambientais como vegetação (BRIAR et al., 2012), tipo de solo (DUYCK et al., 2012), clima (LEVI et al., 2012; STEVNBAK et al., 2012), teor de umidade e de matéria orgânica do solo (EISENHAUER et al., 2011; FERRIS; SÁNCHEZ-MORENO; BRENNAN, 2012), textura do solo (HODSON et al., 2014) e distribuição espacial (PARK et al., 2014). Assim, qualquer mudança ou distúrbio ocorrido no solo que provoque alterações nestes fatores influencia diretamente na diversidade da comunidade de nematoides.

Mudanças provocadas no ecossistema do solo, ocasionadas pela intensa atividade humana, podem ocasionar distúrbios que influenciam na cadeia alimentar do solo gerando estresse no ecossistema. Grandes avanços foram realizados nas últimas décadas para entender como os nematoides contribuem como indicadores da condição da cadeia alimentar do solo e da diversidade do ecossistema (FERRIS; BONGERS; DE GOEDE, 2001; MULDER et al., 2005; FERRIS, 2010a).

Bongers (1990) classificou os nematoides de acordo com a estratégia de vida numa escala que varia de 1 a 5 (colonizadores-persistentes), incorporando os nematoides que se desenvolvem rapidamente em ambientes enriquecidos de alimento (colonizadores c-p1) até os mais persistentes indicadores de habitat equilibrados (c-p 5) (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrição das características dos nematoides de acordo com a classificação da escala c-p (BONGERS, 1990).

| C-p | Características | Exemplos |
|-----|---|--|
| 1 | Curto ciclo de vida, alta atividade metabólica, alta taxa de crescimento populacional em ambientes com atividade bacteriana, produzem grande quantidade de ovos e pequenos, formam <i>dauerlarvae</i> , são relativamente tolerantes aos poluentes. | Diplogastridae, Rhabditidae |
| 2 | Curto ciclo de vida e relativa taxa de reprodução, não formam <i>dauerlarvae</i> , ocorrem em todos os ambientes inclusive os com alta e os com baixa atividade microbiana, tolerantes a poluentes e outros distúrbios que correm no ecossistema. | Cephalobidae, Monhysteridae Panagrolaimidae Aphelenchidae, Tylenchidae |
| 3 | Possuem ciclo de vida mais longo que os nematoides do grupo cp-2 e são relativamente sensíveis aos distúrbios no ecossistema. | Chromadoridae, Prismatolaimidae, Tripylidae Parasitos de planta |
| 4 | Longo ciclo de vida, cutícula semipermeável, sensíveis aos poluentes e distúrbios no ecossistema. | Alaimidae, Mononchi dae, Nordidae, Trichodoridae |
| 5 | Longo ciclo de vida, baixa taxa de reprodução, baixa atividade metabólica, produzem poucos, porém ovos grandes, baixa mobilidade, cutícula semipermeável, sensíveis aos poluentes químicos e distúrbios no ecossistema. | Dorylaimidae, Thornemematidae, Discolaimidae, Aporcelaimidae. |

Fonte: Adaptado de Bongers (1990)

Fundamentado na escala c-p foi desenvolvido o índice de maturidade (BONGERS, 1990; YEATES, 1994; BONGERS; VAN DER MEULEN; KORTHALS, 1997) indicador do estado de conservação do solo. O IM (Eq. 1) é calculado pela frequência média ponderada da escala c-p ao longo de toda a comunidade de nematoides, e serve como parâmetro para avaliar as variações dos níveis de distúrbios a que o ecossistema do solo é submetido. O índice varia de 1 (em ecossistemas com altos níveis de distúrbios) a 4 (ecossistemas ecologicamente estáveis) (BONGERS, 1990; BONGERS; ALKEMADE; YEATES, 1991; BONGERS, 1999; BONGERS; FERRIS, 1999).

$$IM = \sum_{i=1}^n v(i) \times f(i) \quad (1)$$

Em que:

v(i) - Valor cp do táxon;

f(i) - Frequência do táxon na amostra.

Bongers et al. (1995) propuseram a retirada dos nematoides oportunistas (c-p 1) do IM sugerida por Popovici (1992) originando o índice IM(2-5). Os nematoides (c-p 1) considerados oportunistas são encontrados em ambientes com alta atividade microbiana causada por adição de matéria orgânica, ou seja, ocorre aumento da população em resposta a

adição de alimento no solo, quando cessa a fonte de alimento a população diminui (NEHER, 2001).

O ciclo de vida dos nematoides pertencentes à classe c-p 1 é curto para refletir uma mudança na condição do solo (NEHER, 2001), apresentando aumento de população aos quatro dias após adição de nutriente e obtendo o clímax após duas ou três semanas (BONGERS; FERRIS, 1999). Entretanto, Ferris, Bongers e De Goede (2001) os consideram indicadores de fertilidade do solo. Desta forma, os nematoides que melhor demonstram as mudanças ocorridas no solo são os classificados na escala c-p (2-5), possuindo ciclo de vida longo que os nematoides da classe c-p1.

Yeates (1994) recomendou um índice conjunto para IM e IPP (índice de parasitos de planta), o Σ IM, porém este índice é menos sensível aos distúrbios provocados ao meio do que o IM. Bongers e Kurthals (1995) apresentaram o índice IPP/IM e mostraram que pode ser ótima ferramenta para monitorar áreas degradadas em recuperação e agroecossistemas. Muitos estudos relatam a importância de utilizar os índices IM na avaliação das modificações ocasionadas pelos sistemas agrícolas, na diversidade e estabilidade da comunidade de nematoides (HÁNEL, 2010; MILLS; ADL, 2011; LIU et al., 2013; LI et al., 2015).

Bongers e Bongers (1998), sugeriram uma nova abordagem, unindo a estratégia de vida dos nematoides e o hábito alimentar (YEATES et al., 1994) nas guildas funcionais, cujo objetivo é proporcionar maior entendimento da biodiversidade dos nematoides e suas funções no solo. Estudos que empregam os nematoides como bioindicadores mostram que eles respondem deiferentemente aos manejos submetidos às culturas e aos problemas ambientais (FISCUS; NEHER, 2002; GRUZDEVA; MATVEEVA; KOVALENKO, 2007; HODSON et al, 2014).

As guildas representam um grupo de taxa que possuem atributos biológicos semelhantes e respondem às condições ambientais. As guildas funcionais são representadas por Ba_x , Fu_x , Ca_x , Om_x (x são os valores de 1 a 5 que representam a estratégia de vida e as letras são os grupos tróficos, Ca são os carnívoros, ou seja, predadores) (Tabela 2).

Tabela 2 - Descrição das guildas funcionais, (BONGERS; BONGERS, 1998) baseadas nas condições alimentares do solo: enriquecida, basal e estruturada (FERRIS, BONGERS; DE GOEDE, 2001).

| GF | Características | Exemplo |
|---|---|--|
| Condição Enriquecida | | |
| Ba ₁ | Conhecidos como oportunistas de enriquecimento, vivem em ambientes ricos em disponibilidade de alimento como a matéria orgânica, se alimentam de bactérias, possuem curto ciclo de vida, pequenos, se reproduzem muito rápido e em pouco tempo, possuem alta taxa metabólica, formam <i>dauerlarvae</i> como estratégia de sobrevivência, relativamente tolerantes a poluição. | Bacteriófagos Rhabditidae, Diplogasteridae |
| Fu ₂ | Conhecidos como oportunistas generalistas, o desenvolvimento ocorre em condições de enriquecimento, quando material orgânico complexo, resultante de processos naturais ou antropogênicos, se torna disponível no solo. Possuem curto ciclo de vida, no entanto maior do que os nematoides da guilda Ba ₁ , alta taxa de reprodução, não formam <i>dauerlarvae</i> , são tolerantes aos distúrbios que ocorrem no meio. | Micófagos <i>Aphelenchus</i> , Aphelenchidae, Aphelenchoididae, Anguinidae |
| Condição Basal | | |
| Ba ₂ | Conhecidos como oportunistas generalistas. Encontram-se presentes nas demais classes da cadeia alimentar. São adaptados a ambientes que passaram por alguma condição de estresse, como diminuição dos recursos alimentares, ou passaram por algum tipo de contaminação por metais no solo. Nematoides que possuem curto ciclo de vida, no entanto maior do que os nematoides da guilda Ba ₁ , não formam <i>dauerlarva</i> , muito tolerantes aos contaminantes no solo como metais. | Bacteriófagos Cephalobidae, Monhysteridae, Panagrolaimidae |
| Fu ₂ | Conhecidos como oportunistas generalistas, o desenvolvimento ocorre em condições de enriquecimento, quando material orgânico complexo, resultante de processos naturais ou antropogênicos, se torna disponível no solo. Possuem curto ciclo de vida, no entanto maior do que os nematoides da guilda Ba ₁ , alta taxa de reprodução, não formam <i>dauerlarvae</i> , são tolerantes aos distúrbios que ocorrem no meio. | Micófagos <i>Aphelenchus</i> , Aphelenchidae, Aphelenchoididae, Anguinidae |
| Condição Estruturada | | |
| Pr ₂ | Estes nematoides são capazes de tolerar condições basais, desde que o hábito predador sugira algum grau de estrutura. Possuem curto ciclo de vida, alta taxa de reprodução, resistentes aos distúrbios que ocorrem no meio. | Predador <i>Seinura</i> |
| Ba ₃ | Nematoides que possuem ciclo de vida mais longo que os nematoides do grupo cp-2 e são relativamente sensíveis aos distúrbios no ecossistema. | Bacteriófagos Prismatolaimidae, C hromadoridae |
| Pr ₃ | Nematoides que possuem ciclo de vida mais longo que os nematoides do grupo cp-2 e são relativamente sensíveis aos distúrbios no ecossistema. | Predador Trypilidae |
| Fu ₃ | Nematoides que possuem ciclo de vida mais longo que os nematoides do grupo cp-2 e são relativamente sensíveis aos distúrbios no ecossistema. | Micófagos Diphtherophoridae |
| As guildas abaixo possuem mais conexões na cadeia alimentar e ocorrem interações multitróficas com a atuação de nematoides predadores | | |
| Ba ₄ | Nematoides que possuem longo ciclo de vida são sensíveis aos poluentes e distúrbios no ecossistema. | Bacteriófagos Alaimidae |
| Fu ₄ | Nematoides que possuem longo ciclo de vida são sensíveis aos poluentes e distúrbios no ecossistema. | Micófagos Leptonchidae |
| Pr ₄ | Nematoides que possuem longo ciclo de vida, cutícula semipermeável e são sensíveis aos poluentes e distúrbios no ecossistema. | Predadores Mononchidae |
| Om ₄ | Nematoides que possuem longo ciclo de vida, cutícula semipermeável e são sensíveis aos poluentes e distúrbios no ecossistema. | Onívoros pequenos Dorylaimidae |
| As guildas a seguir indicam estabilidade ambiental nos altos níveis da estrutura da comunidade | | |
| Pr ₅ | Nematoides que possuem longo ciclo de vida, baixa taxa de reprodução e atividade metabólica, produzem poucos, porém ovos grandes, baixa mobilidade, cutícula semipermeável e são muito sensíveis aos poluentes químicos e distúrbios no ecossistema. | Predadores Discolaimidae, Aporcelaimidae |
| Om ₅ | Nematoides que possuem longo ciclo de vida, baixa taxa de reprodução e | Onívoros |

| | | |
|--|--|--|
| | atividade metabólica, produzem poucos, porém ovos grandes, baixa mobilidade, cutícula semipermeável e são muito sensíveis aos poluentes químicos e distúrbios no ecossistema. | Thornenematidae, Qudsinematidae, grandes Dorylaimidae |
| Os nematoides herbívoros ou parasitos de planta foram alocados na escala pp, constituindo as guildas de h ₂ a h ₅ . Também possuem função como indicadores na cadeia alimentar do solo | | |
| H ₂ | Possuem curto ciclo de vida e relativa taxa de reprodução em ambientes favoráveis. Ocorrem em todos os ambientes e em quase todas as amostras de solo, são relativamente tolerantes a poluentes e outros distúrbios que correm no ecossistema. | Tylenchidae e <i>Paratylenchus</i> ; |
| H ₃ | Possuem ciclo de vida mais longo que os nematoides do grupo cp-2 e são tolerantes aos distúrbios que ocorrem no solo. | <i>Tylenchorhynchus</i> , <i>Helicotylenchus</i> , Criconematidae <i>Pratylenchus</i> <i>Meloidogyne</i> |
| H ₄ | Nematoides que possuem longo ciclo de vida, cutícula semipermeável e são sensíveis aos poluentes e distúrbios no ecossistema. | <i>Trichodorus</i> , <i>Paratrichodorus</i> |
| H ₅ | Nematoides que possuem longo ciclo de vida, baixa taxa de reprodução e atividade metabólica, produzem poucos, porém ovos grandes, baixa mobilidade, cutícula semipermeável e são muito sensíveis aos poluentes químicos e distúrbios no ecossistema. | <i>Xiphinema</i> . |

Fonte: Adaptado de Ferris, Bongers e De Goede (2001)

Ferris, Bongers e De Goede (2001), sugeriram três condições de cadeia alimentar e identificaram as guildas que melhor respondem estas condições ambientais. A condição enriquecida da cadeia alimentar ocorre quando os recursos se tornam disponíveis seja por morte dos organismos ou mudanças favoráveis no ambiente, como a adição de resíduos ricos em matéria orgânica, ou o processo de adubação na agricultura (Tabela 2).

A condição basal se observa quando a cadeia alimentar diminuiu devido a algum tipo de estresse, incluindo limitações nos recursos alimentares, condições ambientais adversas ou recente contaminação. Na condição estruturada os recursos se tornam mais abundantes ou está ocorrendo ou a cadeia alimentar se encontra em processo de recuperação de uma situação de estresse (Tabela 2).

Ferris, Bongers e De Goede (2001) propuseram um conjunto de índices fundamentados num sistema de pesos que demonstram a importância da presença das guildas funcionais na cadeia alimentar do solo enriquecida e estruturada. O índice basal (IB) avalia uma cadeia alimentar que foi reduzida em função do estresse, limitações de recursos e contaminação recente.

O índice de enriquecimento (IE) indica a disponibilidade dos recursos em virtude da mortalidade dos organismos e mudanças no ecossistema; o índice de estrutura (IS) quantifica a condição estruturada da cadeia alimentar quando os recursos são mais abundantes ou quando uma área se encontra em processo de recuperação; o índice de canal (IC) proporciona

uma medida quantitativa da natureza dos canais de decomposição fúngicos e bacterianos através da cadeia alimentar do solo (FERRIS; BONGERS; DE GOEDE, 2001).

Os índices citados não fornecem informações sobre a magnitude ou natureza das funções do ecossistema, e nem dos serviços fornecidos pelos organismos na cadeia alimentar, estas funções e serviços podem ser avaliadas por meio da atividade metabólica dos nematoides, que proporcionam a magnitude do fluxo de carbono e energia da cadeia do solo (FERRIS, 2010b).

A atividade metabólica dos nematoides é um estimador da contribuição dos nematoides para vários serviços e funções no ecossistema: atividade metabólica de enriquecimento que responde rapidamente ao enriquecimento dos recursos alimentares; atividade metabólica de estrutura possui função regulatória na cadeia e indica a abundância de organismos com funções similares (FERRIS, 2010b). Atividade metabólica funcional é o conjunto das duas atividades metabólicas, de estrutura e de enriquecimento; atividade metabólica de composição é a atividade completa da comunidade de nematoides (FERRIS, 2010b).

As guildas funcionais descritas relacionadas às condições enriquecida, estrutural e basal da cadeia alimentar do solo, sugeridas por Ferris, Bongers e De Goede (2001), acrescida dos índices de maturidade e atividade metabólica dos nematoides, demonstram ser ótimos indicadores da estrutura da comunidade do solo e sustentabilidade do habitat como abordado em muitos estudos. No entanto, a utilização destes parâmetros ainda é insipiente no Nordeste do Brasil, para avaliar a interferência do monocultivo da cana-de-açúcar no ecossistema do solo.

Estudos realizados por Cardoso (2014), Cardoso et al., (2015) e Cardoso et al., (2016), além de serem os primeiros a utilizar o conceito das guildas funcionais e atividade metabólica dos nematoides no Nordeste do Brasil, reforçam a influência do uso, manejo do solo e das propriedades físicas na comunidade de nematoides em áreas cultivadas com cana-de-açúcar e remanescentes de Floresta Atlântica em Pernambuco. Porém mais estudos acerca das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, comunidade e atividade metabólicas dos nematoides em áreas de monocultivo, devem ser realizados principalmente em períodos sucessivos de amostragem para melhor auxiliar no manejo do solo.

O aumento no uso da terra para a produção de alimentos intensificou o crescimento da atividade agrícola, no entanto intensificou também a preocupação com a qualidade do solo e conservação do ecossistema favorecendo a adoção de uma agricultura mais sustentável. Neste contexto, os nematoides que antes eram conhecidos pelos danos causados às culturas, passaram a ser utilizados como bioindicadores de qualidade e sustentabilidade do solo,

auxiliando o agricultor no manejo e valorização de terras. Por tanto, conhecer o comportamento dos nematoides e como respondem às condições alimentares irá auxiliar o produtor na recomendação sustentável de áreas para implantação agrícola (FERRIS, BONGERS e De GOEDE 2001).

3 GEOESTATÍSTICA

A geoestatística é um conjunto de técnicas que estima valores regionalizados de atributos ou características de uma determinada área a ser estudada e leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial. O objeto do estudo da geoestatística são as variáveis regionalizadas, ou seja, variáveis dependentes do espaço e que apresentam caráter aleatório e estrutural (LANDIM, 2006; YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

As variáveis regionalizadas são constituídas por dois aspectos contrastantes. Sua natureza “aleatória” quando os valores medidos variam entre si demonstrando alterações de um ponto para outro e pela sua característica “estrutural”, em que os valores observados não são independentes de sua localização no espaço. A teoria fundamental da geoestatística é a esperança de que, na média, as amostras próximas no tempo e espaço sejam mais similares entre si do que as que estiverem distantes (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

No estudo do comportamento das variáveis regionalizadas duas são as ferramentas que auxiliam os métodos geoestatísticos: O semivariograma e a krigagem (LANDIM, 2006). O semivariograma determina a medida da variabilidade das amostras em relação à distância. Podendo ser observados dois tipos de semivariogramas: observado ou experimental (obtido a partir das amostras no campo) e teórico (de referência, utilizado para o ajuste do modelo).

A definição teórica dessas ferramentas é baseada na Teoria das funções aleatórias (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978; ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989), que apresenta a estimativa experimental dessas estatísticas. Supondo que $Z(x_i)$ represente o valor da variável para o local x , onde x é o vetor (x,y) e $Z(x_i+h)$ representa o valor da mesma variável para alguma distância h (ou “lag”), em qualquer direção. O semivariograma resume a continuidade espacial para todos os pareamentos (comparação de dois valores) e para todos os h significativos.

A dependência espacial é analisada a partir da equação do semivariograma experimental (Eq. 2) através da estimativa da semivariância, segundo Journel (1989), pela expressão:

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

Em que:

$\gamma(h)$ - Corresponde ao valor estimado da semivariância;

$Z(x_i + h)$ e $Z(x_i)$ – São valores observados referentes às variáveis regionalizadas;

$N(h)$ – Número de pares dos valores, separados pela distância h .

O semivariograma é construído através de um conjunto de valores obtidos da Eq. 2, a partir dos quais deve ser ajustada uma função. A análise e o ajuste do semivariograma experimental a um teórico denomina-se análise estrutural.

Dentre os modelos teóricos dos semivariogramas se sobressaem o esférico (Eq. 3), o exponencial (Eq.4), o gaussiano (Eq. 5) com patamar.

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1.5 * \frac{h}{A} - 0.5 \left(\frac{h}{A} \right)^3 \right] \text{ para } h < A \quad (3a)$$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \quad h \geq A \quad (3b)$$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{A}\right) \right] \quad (4)$$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\left(\frac{h}{A}\right)^2\right) \right] \quad (5)$$

A krigagem é um processo de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço, a partir de valores adjacentes enquanto considerados como interdependentes pelo semivariograma. O termo, traduzido do francês *krigeage*, e do inglês *kriging*, foi estabelecido pela escola francesa de geoestatística em homenagem ao engenheiro de minas sul-africano e pioneiro na aplicação de técnicas estatísticas em avaliação mineira, Daniel G. Krige (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

A krigagem compreende um conjunto de técnicas geoestatísticas de ajuste empregada para estimar valores de variáveis locais a partir do princípio que um ponto fixado no espaço, os demais pontos no seu entorno são mais relevantes do que os mais afastados. Isto pressupõe a existência de dependência entre os dados, exigindo saber até onde espacialmente esta correlação importa (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). A técnica consiste em estimar valores

médios e também uma medida de acuracidade dessa estimativa. Seus pesos são calculados com base na distância entre a amostra e o ponto estimado; na continuidade espacial e no arranjo geométrico do conjunto.

Esta ferramenta usa informações a partir do semivariograma para encontrar os pesos ótimos a serem associados às amostras com valores conhecidos que irão estimar pontos desconhecidos. Nessa situação o método fornece, além dos valores estimados, o erro associado a tal estimação, o que o distingue dos demais algoritmos de interpolação. Dentre os métodos de estimativas, comumente empregados, o método geoestatístico da krigagem pode ser considerado como o melhor estimador linear sem viés, cujo objetivo é a minimização da variância da estimativa.

3.1 VARIABILIDADE ESPACIAL DE NEMATOIDES: INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS DO SOLO NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS NEMATOIDES.

A geoestatística é uma ferramenta importante para o manejo integrado dos nematoides, visto que a confecção dos mapas de krigagem mostra a distribuição dos nematoides no campo. A distribuição espacial dos nematoides no solo ocorre de forma irregular, em agregados, que implica em dependência espacial entre os nematoides e os pontos de amostragem, podendo aparecer sintomas em forma reboleiras no campo (FERRIS; WILSON, 1987). Técnicas de análises espaciais, como a geoestatística são poderosas ferramentas para avaliar a dependência espacial dos nematoides (PARK et al., 2014), como observado em muitos estudos.

Oliveira (2014) avaliou o efeito da torta de Nim na variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo, como também na comunidade de nematoides no semiárido Pernambucano em área de agricultura familiar cultivada com pimentão. A partir dos resultados encontrados concluiu que o modelo esférico foi ajustado à maioria das variáveis, tanto para nematoides como para os atributos do solo e por meio dos mapas pode-se observar a dispersão dos nematoides provavelmente devido a aplicação da torta de nim.

Cardoso et al. (2011), ao estudar a distribuição espacial de nematoides e variáveis do solo em áreas de floresta e cana-de-açúcar observaram que os ectoparasitos e os nematoides de vida livre, dentre os demais grupos tróficos estudados, apresentaram dependência espacial apenas na cana; Dinardo-Miranda e Fracasso (2010), avaliaram a variabilidade espacial e temporal de *M. javanica* e *P. zae* em duas áreas cultivadas com cana-de-açúcar e observaram que para estas populações as amostras deveriam ser coletadas à distância de 47 m umas das outras, auxiliando no manejo do solo.

Ortiz et al. (2010), pesquisaram variáveis do solo que influenciavam a variabilidade espacial de *M. incognita*, e também, investigaram possíveis áreas de risco do nematoide por meio de krigagem indicatriz em área cultivada com algodão em solo arenoso no sudeste dos Estados Unidos. Concluíram que as correlações existentes entre as propriedades químicas do solo e o nematoide são mediadas pela textura do solo, como também que a condutividade elétrica aparente do solo pode ser usada para delinear zonas de manejo para *M. incognita*.

Barros (2010) estudou a estrutura e a dependência espacial de *Meloidogyne* spp. e *P. zae* em cana-de-açúcar antes e após o corte e após aplicação de vinhaça no canavial, tendo encontrado dependência espacial para todas as variáveis, para os nematoides foi verificada dependência até 17m. Observou ainda que alguns atributos físicos e químicos do solo se correlacionavam com as densidades populacionais de nematoides.

Dinardo-Miranda e Fracasso (2009) estabeleceram padrões de distribuição espacial de *M. javanica* e *P. zae* ou a população mista de *P. zae* e *P. brachyururs* (Godfrey) Filipjev & Schuurmans Stekhoven em cana-de-açúcar, desta forma notaram que o alcance variou de 18 a 35 m. Hua, Jiang e Liang (2008) avaliaram a variabilidade espacial dos nematoides de vida livre e grupos tróficos em parcelas descobertas e em pousio e os resultados mostraram que foram encontradas diferenças significativas nos padrões de distribuição espacial dos nematoides e grupos tróficos nas duas parcelas, indicando que a cobertura vegetal interfere na distribuição espacial dos nematoides do solo.

Torres et al. (2006), ao realizarem estudo sobre o padrão de distribuição espacial de nematoides em áreas com e sem sintomas de nematoses cultivadas com meloeiro (*Cucumis melo*), observaram que os nematoides da família Dorylaimidae e Aphelenchidae apresentaram dependência espacial moderada e *Rotylenchulus reniformes* apresentou forte e moderada dependência espacial nas áreas com e sem sintomas de nematoses, respectivamente.

O efeito da distribuição espacial de propriedades físicas e mecânicas do solo, em área cultivada com cana-de-açúcar, no litoral Norte de Pernambuco foi avaliado por Tavares et al. (2015). Os autores observaram que o mapa de tensão de pré-consolidação mostrou áreas que toleram implementos mais leves sem causar compactação do solo. Tavares et al. (2012) observou a influência do cultivo convencional da cana na distribuição espacial das variáveis físicas e químicas do solo. Os autores relataram que o sistema de cultivo proporcionou aumento da compactação do solo influenciando na distribuição dos atributos e também produtividade da cultura.

Costa et al. (2013), estudaram alterações nos atributos físicos do solo em duas áreas fertirrigadas com vinhaça, cultivadas com cana-de-açúcar com cobertura de palhço sob

mecanização na Paraíba. Comprovando que a aplicação de vinhaça diminuiu a densidade do solo e aumentou a porosidade total nas duas áreas e evidenciaram a presença de dependência espacial com ajuste do modelo esférico, na área 2, para as frações de areia, silte e argila o que não ocorreu na área 1 onde observaram efeito pepita para as mesmas variáveis.

Greco, Vieira e Xavier, (2010), utilizaram a geoestatística para avaliar a dependência espacial das propriedades químicas do solo, resistência mecânica do solo a penetração, biometria e densidade de raízes da cana-de-açúcar em São Paulo. Averiguando que a maior parte dos atributos do solo apresentou dependência espacial, relacionando as manchas com menor resistência a penetração e densidade do solo ao maior número de perfilhos e desenvolvimento da raiz. O que permitiu boa representatividade da dependência espacial do solo.

A influência da topografia na relação das variáveis do solo com a produtividade da cana-de-açúcar em São Paulo foi verificada por Souza et al. (2010), que atestaram que o uso do relevo e da geoestatística definiram zonas com diferentes variabilidades de atributos do solo associadas a produtividade da cultura. A cana obteve maior produtividade na parte mais baixa do talhão provavelmente devido a maior concentração de atributos químicos e físicos do solo nesta área.

Mudanças no manejo do solo em áreas cultivadas, que influenciam na dinâmica das propriedades física e química do solo, alteram a distribuição espacial dos nematoides e consequentemente da cadeia alimentar do solo alterando o equilíbrio do ecossistema. A compreensão da variabilidade dos atributos do solo é essencial para a elaboração de esquemas de amostragem, gerenciamento de atividades agrícolas como também para o manejo do solo e podem influenciar na produtividade das culturas (SOUZA et al., 2004).

Os resultados de estudos recentes comprovam que a atividade agrícola não só compromete a distribuição espacial dos atributos químicos e físicos do solo como também afeta a comunidade dos nematoides e suas funções no ecossistema. Porém, estudos sobre o comportamento das guildas funcionais de nematoides e sua distribuição espacial ainda são incipientes no Brasil.

Assim é importante determinar a extensão e a intensidade da dependência espacial das variáveis do solo, isoladamente ou em conjunto com outros parâmetros para compreender melhor a relação dos atributos químicos e físicos do solo com os microrganismos, e avaliar a heterogeneidade espacial e o funcionamento da estrutura da cadeia alimentar do solo e suas relações com as culturas, visando melhorar a qualidade de sistemas agrícolas cultivados com cana-de-açúcar na região Nordeste do país.

4 HIPÓTESES E OBJETIVOS

4.1 HIPÓTESES

- A distribuição espaço-temporal dos nematoides é influenciada pelas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo em condições de campo;
- No início do ciclo da cana-de-açúcar a cadeia alimentar do solo estará enriquecida e no final do ciclo é caracterizada por alta estrutura e baixo enriquecimento;
- A densidade populacional de nematoides parasitos de planta influencia o fluxo de nutrientes do sistema solo-planta, contribuindo, assim, para a baixa produtividade da cultura em condições de campo.

4.2 OBJETIVOS

4.2.1 Objetivo Geral

Estudar padrões e relações de atributos físicos e químicos do solo com a nematofauna e os efeitos dos nematoides na absorção de nutrientes pela cana-de-açúcar em condições de campo.

4.2.2 Objetivos Específicos

- Determinar padrões espaciais da nematofauna e de atributos físicos e químicos do solo cultivado com cana-de-açúcar;
- Avaliar o efeito dos nematoides parasitos da cana-de-açúcar na absorção de nutrientes pela planta em condições de campo;
- Avaliar a dinâmica populacional dos demais grupos tróficos e guildas funcionais de nematoides e suas relações com as condições edáficas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 ÁREA DE ESTUDO E AMOSTRAGEM DE SOLO

O estudo foi realizado na Usina Olho D'água em Camutanga - PE em área experimental localizada no município de Juripiranga – PB com 0,4 ha cultivada com cana-de-açúcar (variedade RB867515). A área vem sendo manejada sob sistema de plantio convencional há mais de 50 anos, cujas coordenadas geográficas são: 7° 21' 53.9" S e 35° 11' 60.0" W. Encontra-se localizada em encosta e o relevo foi classificado em suave ondulado (EMBRAPA, 2006). No local vem sendo aplicada vinhaça, uma vez por ano, há no mínimo 20 anos, com dosagem média de 100 m³/ha, conduzida via aspersão (Tabela 3). Adicionalmente à vinhaça, durante o período de reforma do canavial, foi aplicado gesso agrícola e adubo MAP (350 kg/ha). A área foi escolhida como local de estudo de acordo com histórico de nematoides da usina.

Tabela 3 - Composição química média da vinhaça aplicada na área.

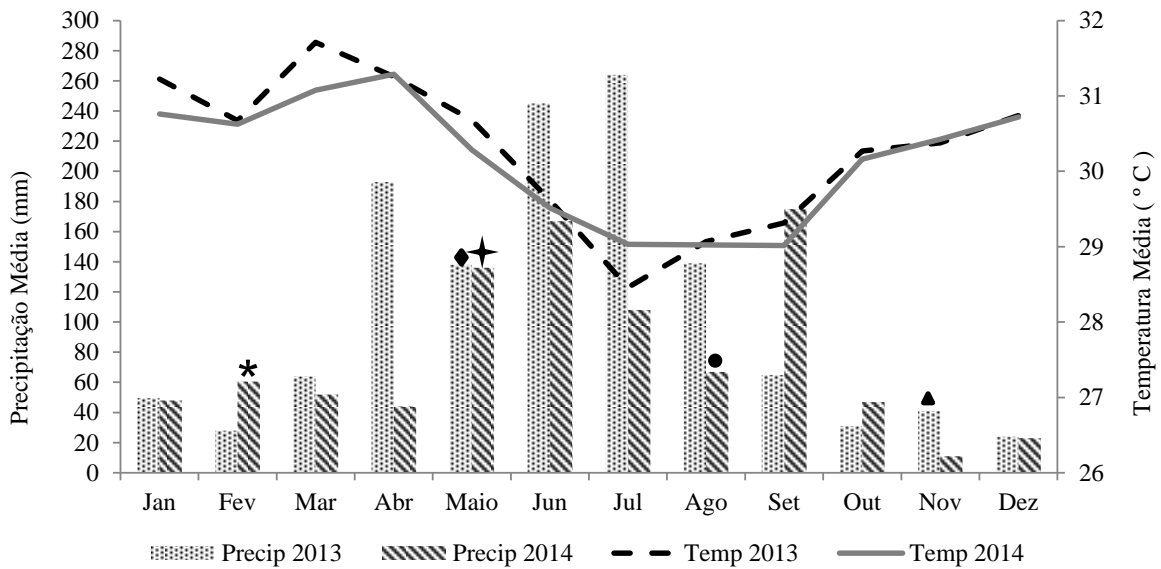
| Elementos | Unidade | Valores |
|---|----------------|----------------|
| Carbono Orgânico Total | mg/L | 12,280 |
| Cobre Total | mg/L | 0,94 |
| DBO | mg/L | 36,28 |
| DQO | mg/L | 51,6 |
| Ferro Total | mg/L | 49,35 |
| Magnésio Total | mg/L | 684 |
| Manganês Total | mg/L | 2,8 |
| Nitrogênio Total | mg/L | 910 |
| Zinco Total | mg/L | 1,44 |
| Cálcio | mg/L | 2,008 |
| Fósforo – P ₂ O ₅ | mg/L | 231,20 |
| Potássio – K ₂ O | mg/L | 2,880 |

Origem do mosto: Misto, porém com maior concentração de melaço

O solo foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo de textura média com 68% de areia, 20% de argila, 11% de silte, 47% de areia grossa e 52% de areia fina. O clima da região é tropical do tipo As' e se caracteriza por ser quente e úmido com chuvas de outono a inverno, de acordo com a classificação climática de Köppen (ALVARES et al., 2013). A precipitação pluviométrica e a temperatura média anual durante o período do experimento se encontram representadas na Figura 1 e a precipitação pluviométrica e temperatura durante os dias de experimento na Figura 2, os meses com precipitação 0 no ano de 2013 não foram

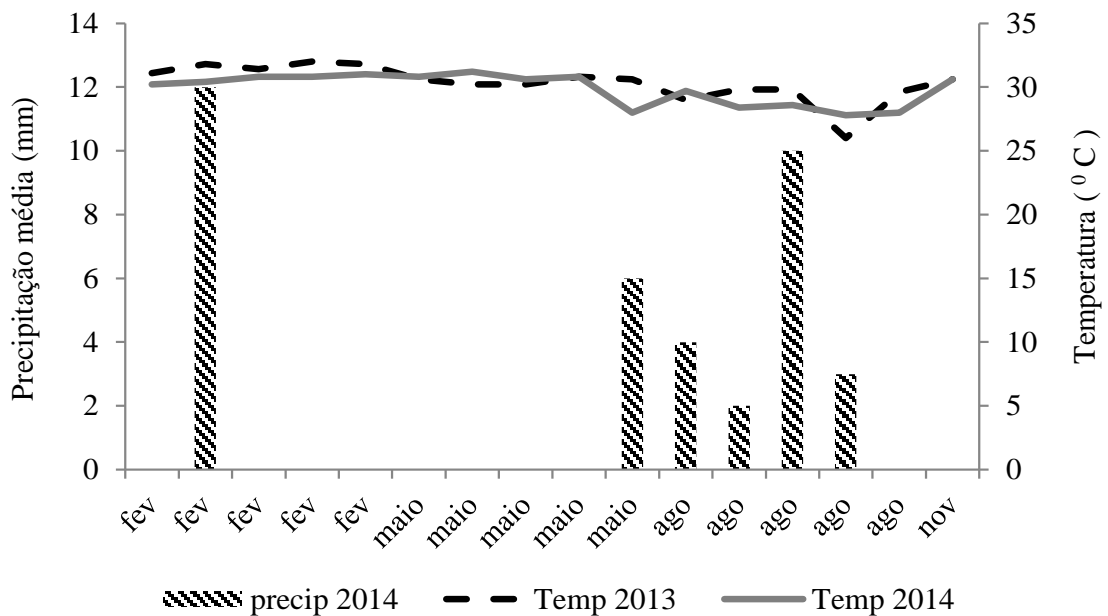
representados na Figura 2. Os dados de precipitação foram obtidos na Usina Olho D'água e os dados de temperatura com PCD/INPE (Plataforma de Coleta de Dados) localizada no município de Itambé-PE.

Figura 1. Distribuição mensal das chuvas e da temperatura média em área de cultivo de cana-de-açúcar.



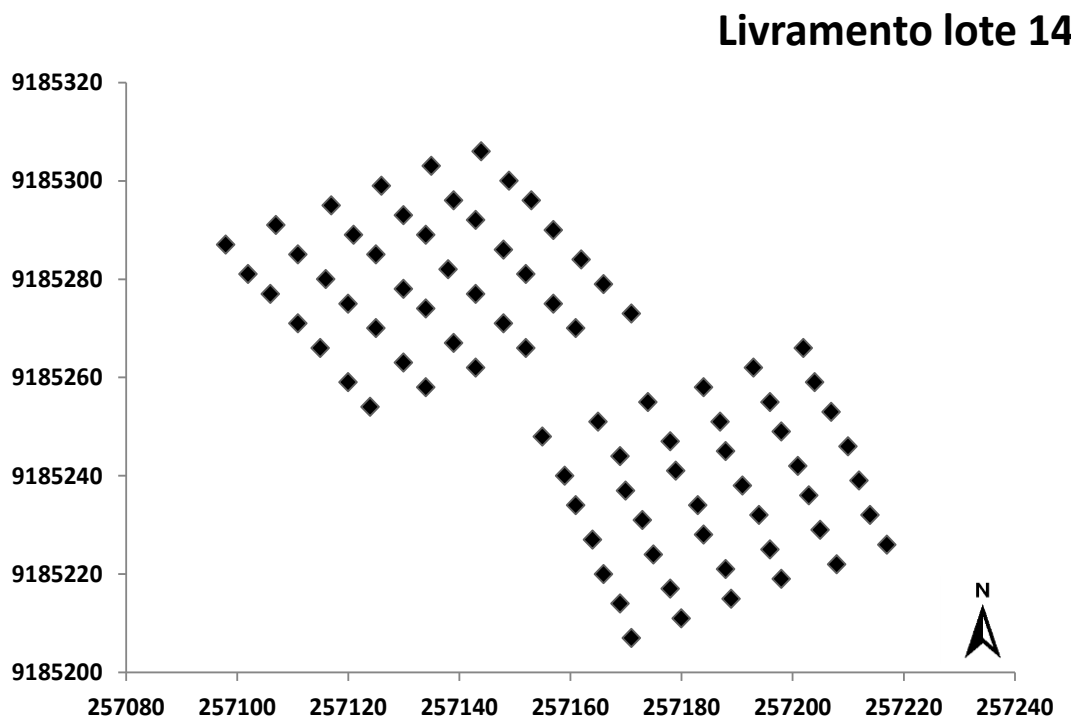
- ◆T1: Antes do plantio da cana (maio de 2013); ▲T2: Três meses após o plantio da cana (novembro de 2013); *T3: Seis meses após o plantio da cana (fevereiro de 2014); ✦T4: Nove meses após o plantio da cana (maio de 2014); ●T5: Colheita (agosto de 2014).

Figura 2. Distribuição das chuvas e da temperatura durante os dias de experimento em área de cultivo de cana-de-açúcar.



Na área de estudo foram delimitados 84 pontos distantes entre si de 8 m (Figura 3), demarcados com o auxílio de uma trena de 100 m e identificados com piquetes numerados, e posteriormente, os pontos foram georreferenciados com GPS. As amostras foram coletadas entre maio de 2013 e agosto de 2014 por ocasião do plantio. A amostragem foi realizada em cinco períodos: T1- Antes do plantio da cana – período de reforma do canavial - (23 de maio de 2013), T2- 3 meses após o plantio da cana (25 de novembro de 2013), T3- 6 meses após o plantio da cana (27 de fevereiro de 2014), T4- 9 meses após o plantio da cana (27 de maio de 2014) e T5- Colheita (19 de agosto de 2014).

Figura 3. Localização geográfica da área experimental cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba.



Os pontos de amostragem foram estabelecidos nas entrelinhas da cultura da cana-de-açúcar, nos quais trincheiras foram abertas para a retirada das amostras na camada de 0,10-0,30 m resultando no total de 420 amostras de solo e 336 amostras de folhas. Para a amostragem do solo coletou-se, em cada ponto, uma amostra de estrutura deformada, com auxílio de enxadeco e uma com estrutura indeformada, através de auxílio do trado de Uhland modificado. Foram retirados, aproximadamente, 800 cm³ de solo por ponto, acondicionados em sacos plásticos transparentes e identificados para posteriores análises físicas, químicas e nematológicas do solo. Parte das amostras de solo foi colocada para secar ao ar (TFSA) e,

posteriormente, destorroada, e processada em peneira de 2mm para as análises físicas e químicas do solo.

5.2 ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO

Depois de seca ao ar, uma parte do solo foi destinada para a análise de densidade de partículas (g/cm^3) pelo método do balão volumétrico e, a outra, para análise de granulometria nas quais as frações de areia, silte e argila foram determinadas por meio do método do densímetro de Boyoucos. A análise granulométrica foi realizada com o auxílio do agitador mecânico como dispersante físico, durante 5 min para solos com textura arenosa, e também se utilizou 25 mL de hexametáfosfato de sódio (Calgon) como dispersante químico. A argila natural foi medida por dispersão de massa de argila em água (EMBRAPA, 2011).

Para determinação da densidade dos solos (g/cm^3), pelo método do anel volumétrico, e da umidade gravimétrica (g), retiraram-se amostras indeformadas na área de estudo. Após coletadas, as amostras foram armazenadas em cápsulas metálicas, devidamente embaladas em filme de PVC visando preservar sua umidade. Obteve-se o teor de água do solo em que as amostras foram pesadas e colocadas em estufa com temperatura de 105°C novamente aferidas após atingirem constância de massa. A porosidade total (%) foi calculada indiretamente a partir da relação entre a densidade de partículas e a densidade dos solos (EMBRAPA, 2011).

5.3 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

Outra parte do solo foi destinada para as análises químicas do solo pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ trocáveis e COT. A determinação do pH do solo em água (1:2,5) foi realizada com o auxílio do potenciômetro calibrado para cada leitura. O Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis foram determinados através da extração em $\text{KCl } 1\text{mol L}^{-1}$ e espectrofotometria de absorção atômica (EAA), enquanto que o K^+ foi extraído por meio da solução de Mehlich 1, e posteriormente determinado por fotometria de chama (EMBRAPA, 2009).

O teor de carbono orgânico total do solo foi determinado pela metodologia de Yeomans e Bremner (1988), por meio da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico; posteriormente, foi determinada a percentagem de matéria orgânica multiplicando-se o resultado do COT por 1,724 (EMBRAPA, 2011).

5.4 ANÁLISE QUÍMICA DO TECIDO VEGETAL

Após a obtenção da massa seca das folhas, as amostras foram passadas em moinho do tipo Wiley, digeridas em forno microondas com ácido nítrico e então feitas as determinações do K por fotometria de chama e o Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica (EMBRAPA, 2009).

5.5 BIOMETRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR

Para a análise dos padrões de crescimento da cana-de-açúcar, medições de variáveis biométricas foram realizadas aos 90, 180, 270 e 360 DAP, com altura do colmo, número de perfilhos, número colmos e massa fresca e seca das folhas. A altura do colmo foi medida com auxílio de uma fita métrica a partir do solo até o colarinho da folha (+1).

5.6 ANÁLISES NEMATOLÓGICAS

As amostras de solo deformadas foram homogeneizadas e processadas com o auxílio de duas peneiras de 60 e 400 mesh para extração, a partir de 300 cm³ de solo, utilizando-se o método da flotação centrífuga com solução de sacarose por 4 min (JENKINS, 1964). As suspensões de nematoides obtidas foram mantidas sob-refrigeração (4-6° C) por não mais do que três dias, até a identificação e contagem das amostras.

A densidade dos nematoides do solo foi estimada por meio de uma alíquota de 1 ml na lâmina de Peters, sob microscópio óptico em uma objetiva de 20 ×, em duas repetições. Os nematoides foram identificados em nível de gênero ou família no microscópio óptico com objetivas de 40 e 100 ×. A identificação em nível de gênero foi realizada por meio de lâminas temporárias, com os nematoides mortos em água quente (85-95°C), adicionando um volume igual de 6% de formaldeído para a suspensão. A abundância foi computada em número de espécimes por 300 cm³ de solo.

5.7 ESTRUTURA DA COMUNIDADE DE NEMATOIDES

Os nematoides foram classificados de acordo com os hábitos alimentares em cinco grupos tróficos: bacteriófagos, micófagos, onívoros, predadores e parasitos de planta, baseado na morfologia do estoma e do esôfago (YEATES et al., 1993). Os nematoides também foram classificados em guildas funcionais, como resultado da combinação entre os hábitos alimentares e os cinco grupos colonizadores – persistentes (c-p) que varia de 1 a 5 (BONGERS, 1990; BONGERS, BONGERS, 1998). Os nematoides parasitos de planta foram identificados em nível de gênero (MAY et al., 1996) e os nematoides de vida livre foram identificados a nível de família conforme a chave de identificação de Tarjan et al. (1977).

5.8 ÍNDICES ECOLÓGICOS DE NEMATOIDES

As características da comunidade de nematoides do solo foram descritas conforme índices ecológicos que se baseiam na proporção da fauna dos nematoides em várias guildas funcionais, estes índices fornecem uma indicação das funções desempenhadas pelos nematoides no ecossistema. O Índice de Maturidade (IM) abrange os nematoides de vida livre com cp 1 a 5 descritos por Bongers (1990), IM (2-5) para nematoides de vida livre com cp 2 a 5 (BONGERS; KORTHALS, 1993), Índice de Parasito de Planta (IPP) para nematoides parasitos de planta segundo Bongers (1990) e Sigma IM que combina os nematoides de vida livre e os parasitos de planta (YEATES, 1994). Todos foram computados a partir da seguinte fórmula:

$$IM = \sum_{i=1}^n v(i) \times f(i) \quad (6)$$

Em que:

v(i) - Valor cp do táxon;

f(i) - Frequência do táxon na amostra.

Os índices basal (IB), de estrutura (IS), de enriquecimento (IE) e de canal (IC) foram calculados de acordo com Ferris, Bongers e De Goede (2001) baseados num sistema de pesos que refletem a importância da presença das guildas funcionais ao longo da trajetória estruturada e enriquecida da cadeia alimentar do solo:

$$IB = 100 \times b / (e + s + b) \quad (7)$$

$$IE = 100 \times (e / (e + b)) \quad (8)$$

$$IS = 100 \times (s / (s + b)) \quad (9)$$

$$IC = 100 \times (0,8 \times Fu_2 / (3,2 \times Ba_1 + 0,8 \times Fu_2)) \quad (10)$$

Em que:

e - $3,2 \times (Ba_1) + 0,8 \times (Fu_2)$;

s - $1,8 \times (Ba_3 + Fu_3 + OP_3) + 3,2 \times (Ba_4 + Fu_4 + OP_4) + 5 \times (Ba_4 + Fu_5 + OP_5)$;

b - $0,8 \times (Ba_2 + Fu_2)$;

Os números de 1 a 5 correspondem aos valores representados na escala c-p;

Ba – bacteriófagos;

Fu – micófagos;

OP – Onívoros - predadores.

A magnitude das funções do ecossistema e os serviços desempenhados pelos organismos na cadeia alimentar são fornecidos pelo cálculo da atividade metabólica dos nematoides. Esta atividade considera que os recursos assimilados pelos organismos são particionados entre um componente de produção e de respiração. O componente de produção se baseia na quantidade de carbono dividido entre crescimento e reprodução, enquanto que o componente de respiração se baseia no carbono utilizado para a atividade metabólica. O cálculo da biomassa dos nematoides classificados em guildas funcionais é importante para determinar a magnitude dos serviços (FERRIS et al., 2010b).

A atividade metabólica dos nematoides é baseada na biomassa (FERRIS, 2010b) que foi obtido por meio do NINJA (SIERIEBRIENNIKOV; FERRIS; DE GOEDE, 2014) <http://spark.rstudio.com/bsierieb/ninja/>. Os índices de atividade metabólica são: Atividade Metabólica de Enriquecimento (AME), Atividade Metabólica de Estrutura (AMS) e a Atividade Metabólica dos bacteriófagos (AMB), dos micófitos (AMM) e dos parasitos de planta (AMP).

A AME se refere aos nematoides que respondem rapidamente a ambientes em condições de enriquecimento, como os bacteriófagos e micófitos os que possuem valores 1 e 2 na escala c-p. Alto valor de (AME) indica grande utilização de carbono nos níveis tróficos mais baixos da cadeia alimentar, como resposta a adição de nutrientes. Por outro lado, a AMS se refere aos nematoides que possuem alto valor na escala c-p, como predadores e onívoros ou que correspondem a c-p 3, c-p 4 e c-p 5. Altos valores de (AMS) indicam atividade nos níveis mais altos da cadeia alimentar, potencial para suprimir organismos oportunistas, além de atuar na ciclagem de nutrientes. A AMB, AMM e AMP indicam a quantidade de carbono e energia que entram na cadeia alimentar do solo por meio dos respectivos canais (FERRIS, 2010b).

Atividade metabólica dos nematoides (FERRIS, 2010b) é calculada conforme a seguir:

$$F = \sum (N_t (0,1(W_t/M_t) + 0,273(W_t^{0,75}))) \quad (11)$$

Em que:

N_t – Número de nematoides em cada táxon;

W_t – Peso estimado dos nematoides (μg);

M_t – É a classificação cp do táxon t.

O cálculo dos índices foi realizado no programa NINJA – Indicador de análise conjunta de nematoides (SIERIEBRIENNIKOV; FERRIS; DE GOEDE, 2014).

5.9 RESPIRAÇÃO MICROBIANA DO SOLO

A avaliação da atividade microbiana foi realizada através da evolução C-CO₂ do solo de acordo com a metodologia de GRISI (1978), na qual amostras com 100 g de solo foram mantidas em frascos de vidro hermeticamente fechados, contendo um recipiente com 10 ml de KOH 0,5 N. Após incubação (25±2°C) por 15 dias, o CO₂ absorvido foi determinado por titulação com HCL 0,1 N, usando-se fenolftaleína e alaranjado de metila como indicadores.

5.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA E GEOESTATÍSTICA

A Análise descritiva (média, mediana, desvio padrão, coeficientes de variação, assimetria e curtose) foi realizada para descrever o comportamento das variáveis durante os cinco períodos de amostragem. As diferenças significativas entre as médias dos índices ecológicos de nematoides e dos parasitos de planta mais abundantes em relação aos períodos foram avaliadas pelo teste de Tukey (p<0,05). Também foram efetuados cálculos do coeficiente de correlação de Pearson entre as guildas funcionais, as variáveis do solo e da planta (p<0,05).

A análise de componentes principais (ACP) foi utilizada para estudar e visualizar relações entre a nematofauna, os atributos físicos, químicos do solo e da planta, utilizando a rotação dos eixos varimax normalizada para melhor interpretação dos resultados. Esta análise foi empregada objetivando o melhor entendimento das relações existentes entre as variáveis biológicas, físicas e químicas analisadas, sendo, estas variáveis, reduzidas a dois fatores (componentes principais) que concentram a maior porcentagem de variabilidade dos atributos (SILVA et al, 2010). Quando os dois componentes principais não foram suficientes para concentrar a maior variabilidade dos atributos, foram separados os dados biológicos e atributos físicos e químicos do solo, para melhor obtenção das componentes. Ademais foi utilizada a análise de correlação canônica, que é um dos muitos métodos de ordenação, utilizados para estudar a correlação entre os fatores do solo e da planta e a nematofauna.

A análise de distribuição espacial das variáveis também foi realizada. Para efetuar esta análise os dados relativos à nematofauna foram transformados para log (x+1). O coeficiente de variação foi classificado de acordo com Warrick e Nielsen (1980) em baixo (CV ≤ 12%), médio (12 < CV ≤ 60%) e alto (CV > 60%).

Os dados foram avaliados quanto à distribuição normal através do teste de aderência à normalidade de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5 e 1% de significância. A análise

geoestatística foi realizada com os dados obtidos nas diferentes épocas de amostragem, utilizando o programa GEO-EAS (Geostatistical Environmental Assessment Software) (ENGLUND; SPARKS, 1991). A análise da dependência espacial foi realizada, através do ajuste do semivariograma clássico (Eq.12) construído a partir da estimativa das semivariâncias (JOURNEL, 1989).

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^n [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (12)$$

Em que:

$\hat{\gamma}(h)$ - Corresponde ao valor estimado da semivariância;

$Z(x_i + h)$ e $Z(x_i)$ – São valores observados referentes às variáveis regionalizadas;

$N(h)$ – Número de pares dos valores, separados pela distância h .

Verificada a existência de tendência dos dados, uma superfície residual foi construída pela diferença entre uma superfície polinomial ajustada e os dados originais. Os resíduos passam a ser a variável regionalizada que possui, localmente, médias iguais à zero (LANDIM, 2006), sendo assim ajustados semivariogramas experimentais aos resíduos.

Depois de gerados os semivariogramas experimentais, procederam-se o ajuste dos dados a um modelo teórico, testando-se os mais comuns: esférico, exponencial e gaussiano conforme equações (13, 14 e 15) como descritas a seguir:

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1.5 * \frac{h}{A} - 0.5 \left(\frac{h}{A} \right)^3 \right] \text{ para } h < A \quad (13a)$$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \quad h \geq A \quad (13b)$$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{A}\right) \right] \quad (14)$$

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp\left(-\left(\frac{h}{A}\right)^2\right) \right] \quad (15)$$

O grau de dependência espacial foi determinado de acordo com Cambardella et al. (1994), observando a proporção dos efeito pepita (C_0) em relação ao patamar (C_0+C_1),

considerando grau de dependência forte ($GDE < 25\%$), moderado ($25 > GDE \leq 75\%$) e fraco ($GDE < 75\%$).

Os modelos ajustados foram submetidos à validação cruzada, utilizando-se o teste de *Jack-Knifing* (VAUCLIN et al., 1983), observando os valores das médias próximas a zero e do desvio padrão próximo a unidade, e também, foi observado o valor do coeficiente de determinação (R^2). Os mapas de contorno, que representam a distribuição espacial das variáveis, foram elaborados com o auxílio do Surfer 7.0 Software.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 DINÂMICA DA COMUNIDADE DE NEMATOIDES

Foram encontrados 31 taxa na área de estudo, durante os cinco períodos avaliados, classificados em 25 gêneros e seis famílias. Nove taxa são comuns em todas as épocas de cultivo (Tabela 4, Figura 4). Foram identificados dez gêneros e duas famílias de parasitos de planta (Criconematidae e Tylenchidae), e também, quinze famílias de nematoides de vida-livre: bacteriófagos (4), micófagos (4), onívoros (4) e predadores (3).

O total de nematoides foi menor no período T3 em relação aos demais (Tabela 4), por consequência da diminuição das chuvas e aumento da temperatura como observado nas Figuras 2 e 3. É importante ressaltar que no litoral do Nordeste as chuvas se concentram de maio a agosto (SANTOS et al., 2009), contribuindo para o aumento na densidade populacional dos nematoides neste período. Somando a baixa precipitação ao longo do ano, o Norte-Nordeste sofreu um período de seca registrado nas safras de cana-de-açúcar de 2012/2013 e 2013/2014, não só interferindo na densidade da comunidade de nematoides como também influenciando na produtividade final da cultura (safras 2011/2012 - 104,74 ton/ha; 2012/2013 - 42,60 ton/ha; 2013/2014 - 75,21 ton/ha).

Os parasitos de planta foram dominantes dentre os grupos tróficos, representando (81,81%, 54,60%, 74,15%, 64,07% e 76,40%), seguidos por bacteriófagos (14,84%, 35,97%, 20,96%, 18,74% e 13,84%), nos períodos T1, T2, T3, T4 e T5, respectivamente. A dominância dos nematoides parasitos de planta seguidos por onívoros foi relatada em muitos estudos em áreas sob cultivo de cana-de-açúcar (RODRIGUES et al., 2011; MATOS et al., 2011; CAIXETA et al., 2011; VICENTE, 2011; MIRANDA et al., 2012; CARDOSO et al., 2012; ARIEIRA et al., 2013; CARDOSO et al., 2015).

Os nematoides parasitos de planta são dominantes em áreas que possuem agroecossistemas, devido às exigências específicas de cada espécie, condições de solo, clima, limitações dos recursos alimentares que diminui a população de predadores naturais destes organismos, o que facilita sua reprodução, e outros fatores que influenciam sua sobrevivência. A área de estudo é cultivada com cana-de-açúcar por pelo menos cinquenta anos, o que explica a dominância dos parasitos de planta, independente do período de amostragem, além dos fatores citados.

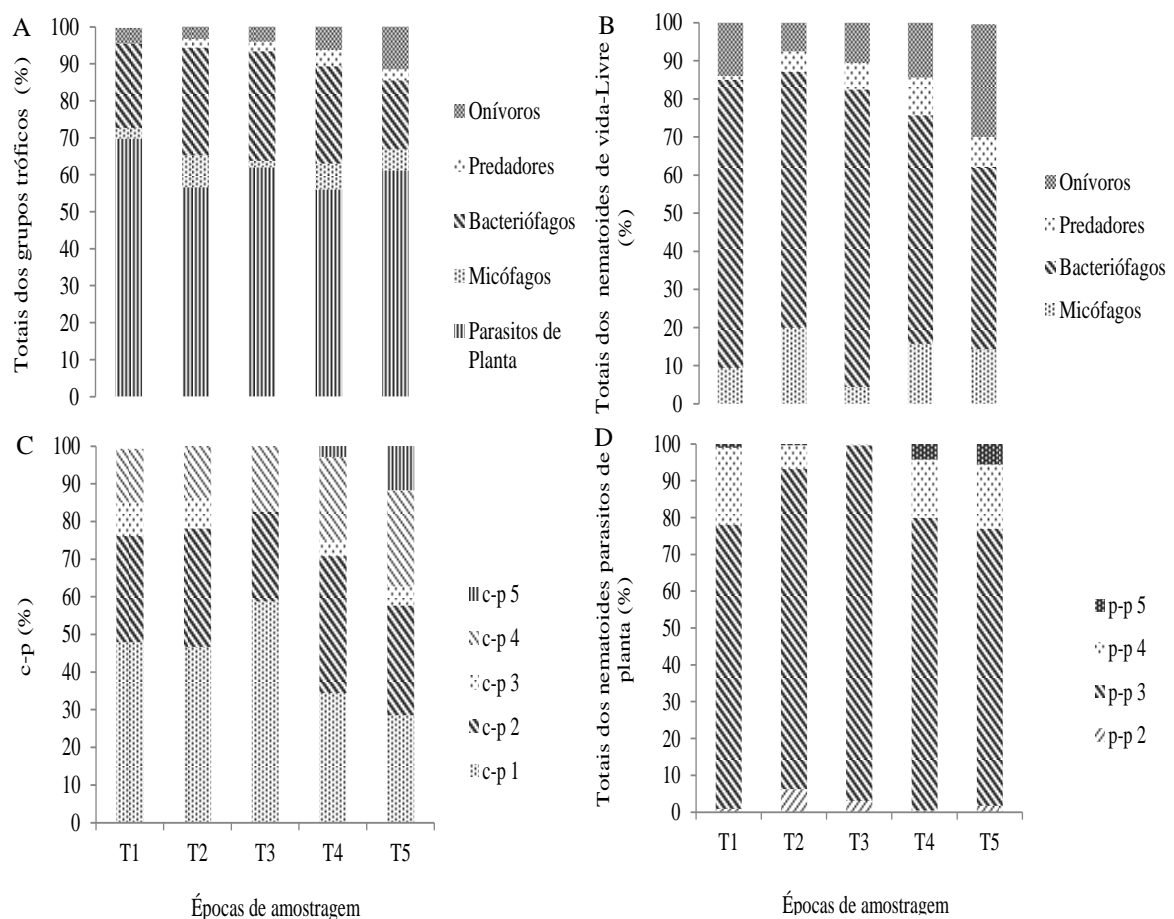
Tabela 4 - Abundância, média e dominância dos *Taxa* de nematoides em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba.

| Grupos Tróficos | GF | B(µg) | T1 | | | T2 | | | T3 | | | T4 | | | T5 | | |
|----------------------------|-----------------|-------|--------------|----------------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|
| | | | A | Média ± δ | D(%) | A | Média ± δ | D(%) | A | Média ± δ | D(%) | A | Média ± δ | D(%) | A | Média ± δ | D(%) |
| Bacteriófagos | | | 5684 | 67,68±66,18 | 14,84 | 18891 | 224,89±259,54 | 35,97 | 2976 | 35,43±44,26 | 20,96 | 6074 | 72,31±56,91 | 18,74 | 7192 | 85,62±83,09 | 13,84 |
| <i>Acrobeles</i> ● | Ba ₂ | 0,71 | 1401 | 16,68±27,94 | 3,66 | 1301 | 15,49±23,83 | 2,48 | 765 | 9,11±28,74 | 5,39 | 1946 | 23,17±28,71 | 6,00 | 1640 | 19,52±33,55 | 3,15 |
| Monhysteridae | Ba ₂ | 0,42 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 41 | 0,49±4,47 | 0,08 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 132 | 1,57±8,35 | 0,41 | 18 | 0,21±1,96 | 0,03 |
| <i>Prismatolaimus</i> | Ba ₃ | 0,49 | 330 | 3,93±10,28 | 0,86 | 683 | 8,13±15,36 | 1,30 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 250 | 2,98±9,49 | 0,77 | 556 | 6,62±19,00 | 1,07 |
| Rhabditida ● | Ba ₁ | 5,39 | 3953 | 47,06±51,52 | 10,32 | 16866 | 200,78±252,61 | 32,12 | 2211 | 26,32±31,47 | 15,57 | 3746 | 44,59±44,12 | 11,56 | 4978 | 59,26±62,15 | 9,58 |
| Micófagos | | | 579 | 6,89±15,22 | 1,51 | 2999 | 35,70±69,48 | 5,71 | 157 | 1,87±5,83 | 1,10 | 2416 | 28,76±75,83 | 7,45 | 1423 | 16,94±23,30 | 2,74 |
| <i>Aphelenchus</i> ● | Mi ₂ | 0,23 | 161 | 1,92±6,53 | 0,42 | 2338 | 27,83±44,37 | 4,45 | 157 | 1,87±5,83 | 1,10 | 195 | 2,32±9,29 | 0,60 | 765 | 9,11±18,13 | 1,47 |
| <i>Aphelenchoides</i> | Mi ₂ | 0,16 | 418 | 4,98±13,38 | 1,09 | 527 | 6,27±34,82 | 1,00 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 150 | 1,78±6,29 | 0,46 | 577 | 6,87±14,65 | 1,11 |
| <i>Dorylaimoides</i> | Mi ₂ | 1,16 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 134 | 1,59±7,60 | 0,25 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 57 | 0,68±4,61 | 0,17 | 81 | 0,96±6,66 | 0,15 |
| <i>Nothotylenchus</i> | Mi ₂ | 0,23 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 2014 | 23,98±75,86 | 6,21 | 0 | 0,00±0,00 | 0 |
| Onívoros | | | 654 | 7,78±15,57 | 1,71 | 893 | 10,63±23,52 | 1,70 | 321 | 3,82±9,28 | 2,26 | 1038 | 12,36±19,62 | 3,20 | 2894 | 34,45±44,25 | 5,57 |
| Dorylaimidae ● | On ₄ | 8,83 | 202 | 2,40±6,95 | 0,53 | 35 | 0,42±2,68 | 0,07 | 186 | 2,21±7,99 | 1,31 | 353 | 4,20±10,94 | 1,09 | 202 | 2,40±8,71 | 0,39 |
| <i>Eudorylaimus</i> | On ₄ | 3,39 | 75 | 0,89±8,18 | 0,19 | 44 | 0,52±3,41 | 0,08 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 428 | 5,16±13,84 | 1,32 | 1129 | 13,44±20,13 | 2,17 |
| <i>Labronema</i> | On ₄ | 7,64 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 76 | 0,90±4,94 | 0,14 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 |
| <i>Laimydrus</i> | On ₅ | 4,56 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 1268 | 15,09±32,14 | 2,44 |
| <i>Mesodorylaimus</i> | On ₄ | 1,48 | 357 | 4,25±11,95 | 0,93 | 455 | 5,42±16,61 | 0,87 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 155 | 1,84±10,70 | 0,48 | 0 | 0,00±0,00 | 0 |
| <i>Prodorylaimus</i> | On ₄ | 5,16 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 45 | 0,53±3,52 | 0,14 | 46 | 0,55±3,53 | 0,09 |
| <i>Thornia</i> | On ₄ | 0,87 | 20 | 0,24±2,18 | 0,05 | 283 | 3,37±13,43 | 0,54 | 135 | 1,61±5,43 | 0,95 | 37 | 0,44±2,84 | 0,11 | 249 | 2,96±9,32 | 0,48 |
| Predadores | | | 50 | 0,59±3,86 | 0,13 | 1060 | 12,62±34,57 | 2,02 | 216 | 2,57±13,85 | 1,52 | 682 | 8,12±14,76 | 2,10 | 737 | 8,77±25,64 | 1,42 |
| <i>Discolaimus</i> | Pr ₅ | 3,02 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 226 | 2,69±8,35 | 0,70 | 126 | 1,5±6,19 | 0,24 |
| Mononchida | Pr ₄ | 5,33 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 16 | 0,19±1,74 | 0,03 | 216 | 2,57±13,85 | 1,52 | 456 | 5,43±11,35 | 1,41 | 697 | 8,30±25,61 | 1,34 |
| <i>Prionchulus</i> | Pr ₄ | 10,58 | 50 | 0,59±3,86 | 0,13 | 1026 | 12,21±34,28 | 1,95 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 |
| <i>Tripyla</i> | Pr ₃ | 4,04 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 18 | 0,21±1,96 | 0,03 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 40 | 0,48±3,07 | 0,08 |
| Vida-Livre | | | 6967 | 82,94±76,18 | 18,19 | 23843 | 283,84±312,53 | 45,40 | 3670 | 43,69±48,69 | 25,85 | 10210 | 121,55±95,71 | 31,50 | 12264 | 146±103,53 | 23,60 |
| Parasitos de Planta | | | 31338 | 373,07±457,12 | 81,81 | 28672 | 341,33±357,06 | 54,60 | 10528 | 125,33±188,84 | 74,15 | 20770 | 247,26±258,99 | 64,07 | 39710 | 472,74±355,66 | 76,40 |
| Criconematidae ● | H ₃ | 0,64 | 4518 | 53,74±71,60 | 11,78 | 6279 | 74,75±164,05 | 11,96 | 984 | 11,71±22,69 | 6,93 | 1982 | 23,59±32,79 | 6,11 | 933 | 11,11±17,42 | 1,79 |
| <i>Helicotylenchus</i> ● | H ₃ | 0,35 | 7488 | 89,14±160,31 | 19,55 | 4378 | 52,12±86,05 | 8,34 | 1476 | 17,57±78,30 | 10,39 | 2493 | 29,68±53,37 | 7,69 | 5454 | 64,93±112,31 | 10,49 |
| <i>Hemicycliophora</i> | H ₃ | 0,93 | 60 | 0,71±5,02 | 0,16 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 |
| <i>Meloidogyne</i> | H _{3s} | 51,35 | 32 | 0,38±2,53 | 0,08 | 216 | 2,57±11,33 | 0,41 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 |
| <i>Paratylenchus</i> | H ₃ | 0,06 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 140 | 1,66±11,47 | 0,99 | 21 | 0,25±2,29 | 0,06 | 429 | 5,11±18,99 | 0,82 |
| <i>Paratrichodorus</i> | H ₄ | 0,68 | 980 | 11,67±29,07 | 2,56 | 165 | 1,96±7,99 | 0,31 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 226 | 2,69±10,91 | 0,70 | 336 | 4,00±18,36 | 0,65 |
| <i>Pratylenchus</i> ● | H ₃ | 0,14 | 9267 | 110,32±253,34 | 24,19 | 5001 | 59,53±77,12 | 9,52 | 1739 | 20,70±33,21 | 12,25 | 2373 | 28,25±56,93 | 7,32 | 10603 | 126,23±124,38 | 20,40 |
| <i>Rotylenchus</i> | H ₃ | 0,92 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 3254 | 38,74±157,74 | 6,20 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 550 | 6,55±60,01 | 1,70 | 0 | 0,00±0,00 | 0 |
| Tylenchidae | H _{2a} | 0,15 | 86 | 1,02±4,61 | 0,22 | 958 | 11,40±20,41 | 1,82 | 82 | 0,98±7,08 | 0,58 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 63 | 0,75±6,87 | 0,12 |
| <i>Tylenchorhynchus</i> ● | H ₃ | 0,21 | 6151 | 73,23±177,66 | 16,06 | 7400 | 88,09±135,46 | 14,09 | 6089 | 72,49±167,44 | 42,89 | 11433 | 136,11±166,52 | 35,27 | 15709 | 187,01±192,43 | 30,22 |
| <i>Trichodorus</i> ● | H ₄ | 1,23 | 2676 | 31,86±39,77 | 6,99 | 966 | 11,50±27,24 | 1,84 | 18 | 0,21±1,96 | 0,13 | 2616 | 31,14±60,08 | 8,07 | 5307 | 63,18±84,85 | 10,21 |
| <i>Xiphinema</i> | H ₅ | 4,31 | 84 | 1,00±4,25 | 0,22 | 55 | 0,65±4,47 | 0,10 | 0 | 0,00±0,00 | 0 | 532 | 6,33±20,06 | 1,64 | 876 | 10,43±20,56 | 1,68 |
| Ectoparasitos | | | 22039 | 262,37±277,81 | 57,53 | 23455 | 279,23±323,43 | 44,66 | 8789 | 104,63±188,98 | 61,90 | 18852 | 224,43±242,04 | 58,16 | 29107 | 346,51±294,76 | 56,00 |
| Endoparasitos | | | 9299 | 110,70±253,29 | 24,28 | 5217 | 62,11±76,60 | 9,93 | 1739 | 20,70±33,21 | 12,25 | 1918 | 22,83±56,90 | 5,92 | 10603 | 126,23±124,38 | 20,40 |
| Total | | | 38305 | 456,01±496,59 | 100 | 52515 | 625,18±497,27 | 100 | 14198 | 169,02±200,92 | 100 | 32416 | 385,90±291,64 | 100 | 51974 | 618,74±407,07 | 100 |

Fonte: Vicente (2016)

A (*abundância*): Somatório do número de nematoides em 300 cm³ de solo em 420 amostras nas cinco épocas, *Média* ± δ : Número médio e desvio padrão do número de nematoides por 300 cm³ de solo em cada época, *D*(%): dominância de cada grupo trófico e taxa expresso em percentagem, *GF*: Guildas funcionais são a combinação dos grupos tróficos e da escala de colonizadores – persistentes c-p (o sufixo “s” indica fêmea sedentária; “a” indica associados às raízes), *B*(μ g):Biomassa, massa corporal dos nematoides, *0*:Baixa densidade populacional de nematoides, *T1*: Antes do plantio da cana-de-açúcar, *T2*: Três meses após o plantio da cana-de-açúcar, *T3*: Seis meses após o plantio da cana-de-açúcar, *T4*: Nove meses após o plantio da cana-de-açúcar e *T5*: Colheita, ● taxa comuns a todas as épocas

Figura 4 - Comunidade de nematoides em área de cultivo de cana-de-açúcar, durante as épocas de amostragem.



Fonte: Vicente (2016)

T1: Antes do plantio da cana; T2: Três meses após o cultivo da cana; T3: Seis meses após o cultivo da cana; T4: Nove meses após o cultivo da cana; T5: Colheita; c-p: Escala dos nematoides de vida livre, colonizadores a persistentes, que varia de 1 (colonizadores) a 5 (persistentes); p-p: Escala dos nematoides parasitos de planta que varia de 2 a 5.

A dominância dos nematoides parasitos de planta é comumente observada em estudos realizados em monocultivos (DJIGAL et al., 2012; UGARTE; ZABORSKY; WANDER, 2013; MALHERBE; MARAIS, 2015; ZHONG; ZENG; JIN, 2015; LU et al., 2016). Além disso, pesquisas revelam a preferência da população de nematoides parasitos de planta por solos arenosos (KOENNING; WALTERS; BARKER, 1996; KANGA et al., 2012), pois possuem maior proporção de macroporos, facilitando sua locomoção até a planta hospedeira, causando consideráveis danos em diferentes culturas.

Os gêneros *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Tylenchorhynchus* e *Trichodorus* e a família Criconematidae, pertencentes aos nematoides parasitos de planta, dominaram a área de cultivo nos períodos de amostragem. No T1 houve dominância de *Pratylenchus* (24,19%), *Helicotylenchus* (19,55%), *Tylenchorhynchus* (16,06%) e Criconematidae (11,78%); no T2

Tylenchorhynchus (14,09%), Criconematidae (11,96%), *Pratylenchus* (9,52%) e *Helicotylenchus* (8,34%) prevaleceram diante dos demais. No T3 *Tylenchorhynchus* (42,89%), *Pratylenchus* (12,25%) e *Helicotylenchus* (10,39%) foram os taxa dominantes; no T4 *Tylenchorhynchus* (35,27%) foi dominante; no T5 *Tylenchorhynchus* (30,22%), *Pratylenchus* (20,40%), *Helicotylenchus* (10,49%) e *Trichodorus* (10,21%) se destacaram entre os demais taxa.

Em áreas cultivadas com cana-de-açúcar os nematoides *M. incognita*, *M. javanica* e *P. zeae* são os parasitos de planta, associados à cultura, que causam significativas perdas econômicas para as unidades produtoras de açúcar e álcool (NOVARETTI, 1995; MOURA et al., 1999; CHAVES; PEDROSA; MOURA, 2002; PEDROSA et al., 2005; DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2010). No entanto, outros gêneros podem se destacar, como o *Tylenchorhynchus* que foi dominante nos períodos T2, T3, T4 e T5. Houve relatos da presença deste nematoide em áreas cultivadas com cana-de-açúcar (STEVEN; SUNDAY; FISAYO, 2014) e arroz (RAMZAN; HANDOO; FAYYAZ, 2008), porém são escassos os estudos que associe este nematoide aos danos causados à cultura da cana-de-açúcar, o que sugere mais pesquisas na área para avaliar esta teoria.

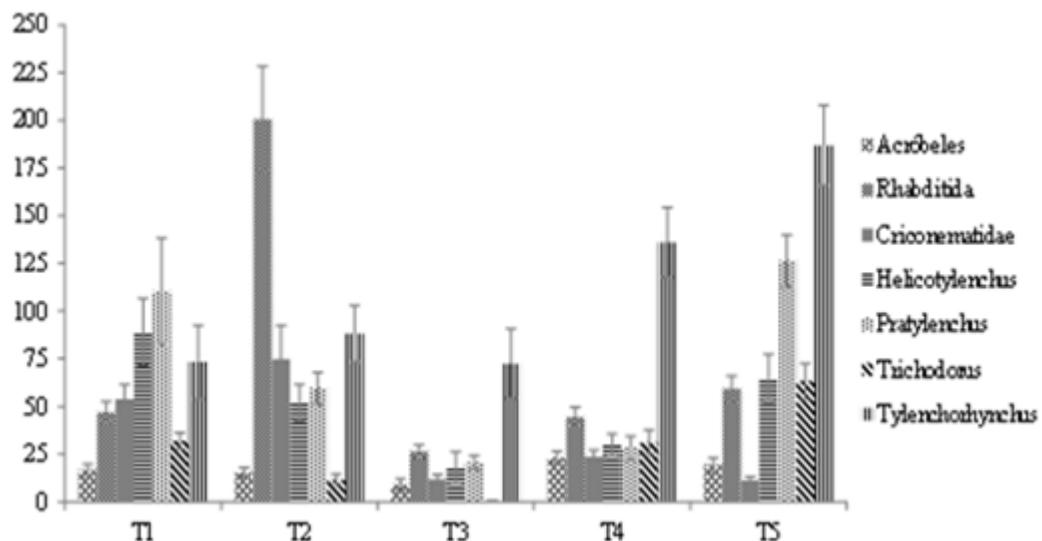
No período T3 houve diminuição da densidade populacional de *Helicotylenchus*, *Paratrichodorus*, *Pratylenchus*, *Trichodorus* e *Xiphinema* em comparação com os períodos T2 e T1, no entanto a densidade populacional destes nematoides tornou a crescer nos períodos T4 e T5. Quanto aos nematoides de vida livre, os bacteriófagos foram dominantes em todos os períodos, seguidos por onívoros (1,71%), micófagos (1,51%) e predadores (0,13%) no T1; por micófagos (5,71%), predadores (2,02%) e onívoros (1,70%) no T2; por onívoros (2,26%), predadores (1,52%) e micófagos (1,10%) no T3; micófagos (7,45%), onívoros (3,20%) e predadores (2,10%) no T4 e onívoros (5,57%), micófagos (2,74%) e predadores (1,42%) no T5.

Os bacteriófagos foram o segundo grupo dominante, corroborando resultados de estudos anteriores, em áreas cultivadas com cana-de-açúcar na região Nordeste do Brasil submetida à aplicação de vinhaça (MATOS et al., 2011; MIRANDA et al., 2012). Estes estudos relatam como grupo dominante os onívoros antes da aplicação da vinhaça (MIRANDA et al., 2012), e em áreas sem aplicação do resíduo (MATOS et al., 2011).

A aplicação de vinhaça favorece o desenvolvimento dos fungos, os quais transformam a matéria orgânica em húmus, facilitando o caminho para o desenvolvimento de bactérias (SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007) que serve de alimento para nematoides bacteriófagos, e micófagos, pertencentes às guildas Ba₁ (Rhabditida) e Mi₂ (*Aphelenchus*),

que são oportunistas de enriquecimento e generalistas respectivamente. São nematoides que vivem em ambientes ricos em bactérias (Ba₁) e materiais orgânicos complexos (Mi₂) resultantes de processos naturais ou antropogênicos. O que explica o aumento populacional da guildas Ba₁ e Mi₂ (*Aphelenchus*) no T2.

Figura 5 - Gêneros e famílias dominantes em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba, representados no gráfico de erro padrão.



Fonte: Vicente (2016)

T1: Antes do plantio da cana, T2: Três meses após o plantio da cana, T3: Seis meses após o plantio da cana, T4: Nove meses após o plantio da cana e T5: Colheita

A distribuição da comunidade de nematoides pode ser observada graficamente como representada na figura 4, no qual se pode constatar dentre os grupos tróficos a dominância dos nematoides parasitos de planta em todos os períodos estudados (Figuras 4A e 5). Dentre os nematoides de vida livre pode-se confirmar a dominância dos bacteriófagos (Figura 4B) em todas as cinco épocas, porém é notável o aumento dos onívoros nos períodos T4 e T5 (Tabela 4) e (Figura 4B).

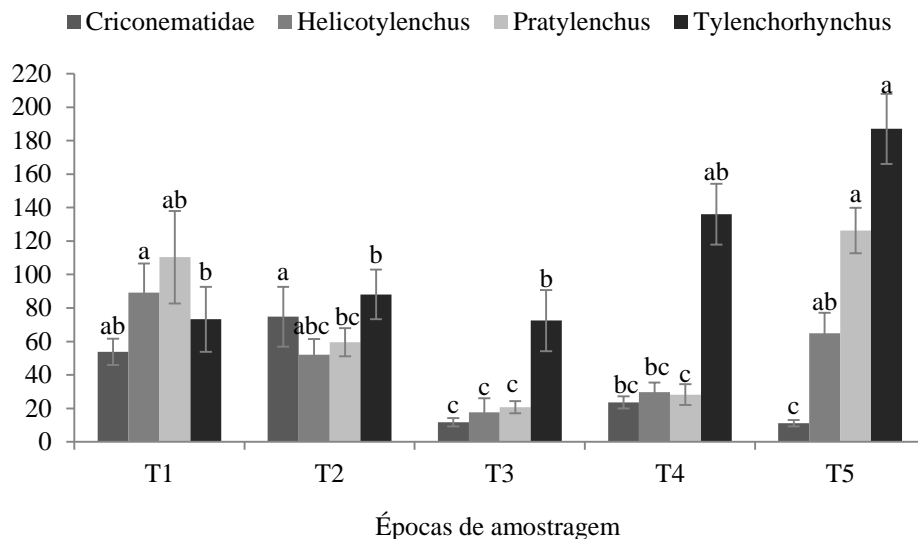
Quanto aos nematoides de vida livre na escala c-p (colonizadores-persistentes), a Figura 4C revela que os nematoides pertencentes ao c-p1 e c-p2 se encontram presentes em todas as épocas. No entanto, o c-p1 é dominante nos três primeiros períodos de cultivo enquanto o c-p2 nos dois últimos. O grupo c-p3 não foi identificado no T3 e o c-p5 surgiu no T4 e T5 quando o ambiente se tornou mais favorável. O c-p1 obteve maior dominância, dentre os cinco períodos, no período T3 com aproximadamente 59%, durante esta época ocorreu menor precipitação tornando o ambiente desfavorável para a prevalência do c-p2.

No grupo p-p (Figura 4D) os gêneros que pertencem ao grupo p-p3 se sobressaíram em relação aos demais, ressaltando *Tylenchorhynchus*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* e a família Criconematidae, vistos com detalhes na Figura 6. Os nematoides parasitos de planta pertencentes ao grupo p-p3 podem resistir a condições ambientais de estresse, como no período T1 antes do plantio da cana, ou seja, na época de renovação do canavial onde o solo se encontrava exposto antes de implantar a cultura, e no T3 após seis meses de plantio da cana cujas condições locais eram de pouca chuva e alta temperatura (Figuras 1 e 2).

Os nematoides de vida livre possuem diferentes hábitos alimentares, uns se alimentam por meio da decomposição da matéria orgânica no solo, outros de algas, esporos de fungos e leveduras, também tem os que se alimentam de rotíferos, protozoários e outros nematoides, enquanto que os parasitos de planta são parasitos obrigatórios e precisam do estabelecimento das plantas superiores para se desenvolverem (YEATES et al., 1993). Como o cultivo da cana-de-açúcar, na área do estudo, vem sendo desenvolvido por mais de cinquenta anos, houve o estabelecimento dos parasitos de planta, que possuem alimento a cada ciclo de cultivo, favorecendo o desenvolvimento do grupo p-p3.

A adição da matéria orgânica no solo pode ter diminuído a densidade populacional dos nematoides parasitos de planta no T2 e T3 (Tabela 4), porém a população voltou a se estabelecer após a menor concentração da matéria orgânica (APÊNDICE A). Embora, não tenha ocorrido correlações entre a MOS e os nematoides parasitos de planta, em nenhum dos períodos de amostragem (Tabela 5), o efeito supressivo da vinhaça sobre os nematoides parasitos de planta é conhecido (PEDROSA et al., 2005; MIRANDA et al., 2012).

Figura 6 - Nematoides parasitos de planta dominantes em área de cultivo de cana-de-açúcar, durante as épocas de amostragem.



Fonte: Vicente (2016)

T1: Antes do plantio da cana; T2: Três meses após o cultivo da cana; T3: Seis meses após o cultivo da cana; T4: Nove meses após o cultivo da cana; T5: Colheita.

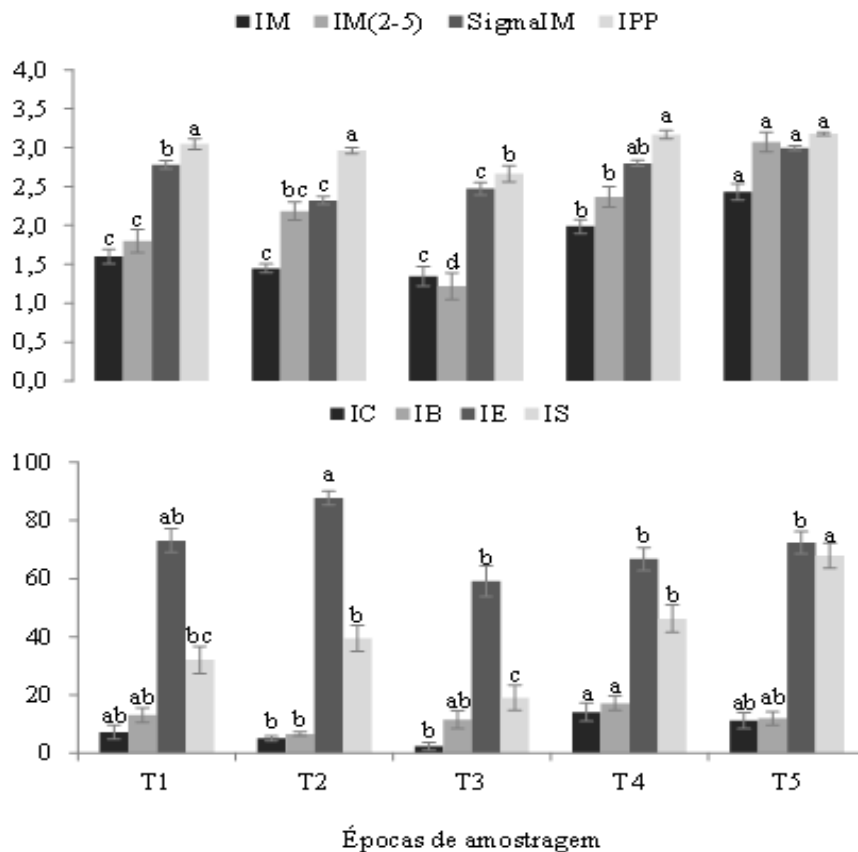
6.2 ÍNDICES ECOLÓGICOS DE NEMATOIDES E CONDIÇÃO DA CADEIA ALIMENTAR DO SOLO

O IM não diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) entre os três primeiros períodos, cujas médias variaram entre 1,6 no T1 diminuiu para 1,4 no T2 e 1,3 no T3, indicando um nível de distúrbio elevado para os três primeiros períodos (Figura 7). Estes valores estão associados ao aumento na densidade populacional dos nematoides oportunistas de enriquecimento (*Rhabditida c-p1*) (BONGERS, 1990; BONGERS; BONGERS, 1998). No entanto os períodos T4 e T5 diferiram entre si e também dos demais ($p < 0,05$), com valores de 2 e 2,4, indicando estágio intermediário de sucessão (BONGERS, 1990; BONGERS; ALKEMADE; YEATES, 1991; BONGERS, 1999; BONGERS; FERRIS, 1999). A incorporação de adubo orgânico ao solo impulsiona a atividade microbiana influenciando o aumento populacional dos nematoides oportunistas (FERRIS; BONGERS; DE GOEDE, 2001).

Não houve diferença significativa entre os períodos T1 e T2 nem entre T2 e T4, para o índice IM(2-5), no entanto T3 e T5 diferiram entre si e dos demais. O IM(2-5) apresentou médias maiores que o IM exceto no período T3. Os nematoides oportunistas de enriquecimento (*c-p1*) não estão incluídos neste grupo, o que os tornaria sensível a mudanças ocorridas devido ao estresse ambiental. No (T1) a área se encontrava em período de reforma do canavial, no T2 a cana-de-açúcar estava em fase de perfilhamento e no T3 em fase de

crescimento dos colmos, o que, aliado a falta de chuva, favoreceu o desenvolvimento dos nematoides do grupo c-p2 que são resistentes às mudanças ambientais ocorridas no ecossistema do solo, já nos períodos T4 e T5 ocorreu o estabelecimento dos nematoides mais sensíveis às mudanças ambientais (c-p4 e 5), consistente com o final do ciclo de crescimento da cana-de-açúcar no qual ocorre menor interferência humana favorecendo assim, a estabilidade do sistema do solo.

Figura 7 - Índices ecológicos dos nematoides em área de cultivo de cana-de-açúcar, durante as épocas de amostragem.



Fonte: Vicente (2016)

T1: Antes do plantio da cana; T2: Três meses após o cultivo da cana; T3: Seis meses após o cultivo da cana; T4: Nove meses após o cultivo da cana; T5: Colheita. IM: Índice de Maturidade; IM(2-5): Índice de Maturidade dos nematoides de vida livre com c-p 2 a 5; Sigma IM: Sigma Índice de Maturidade que correspondem aos nematoides parasitos de planta e vida livre; IPP: Índice de Parasitos de Planta; IC: Índice de Canal; IB: Índice Basal; IE: Índice de Enriquecimento; IS: Índice de Estrutura.

Quanto ao Sigma IM os períodos T2 e T3 não diferiram entre si, porém diferiram dos demais períodos. O Sigma IM é a junção dos índices IM e IPP que demonstra a influência dos nematoides parasitos de planta e dos nematoides de vida livre, juntos, na formação do Sigma IM, como a densidade populacional dos nematoides de vida livre é menor que a dos

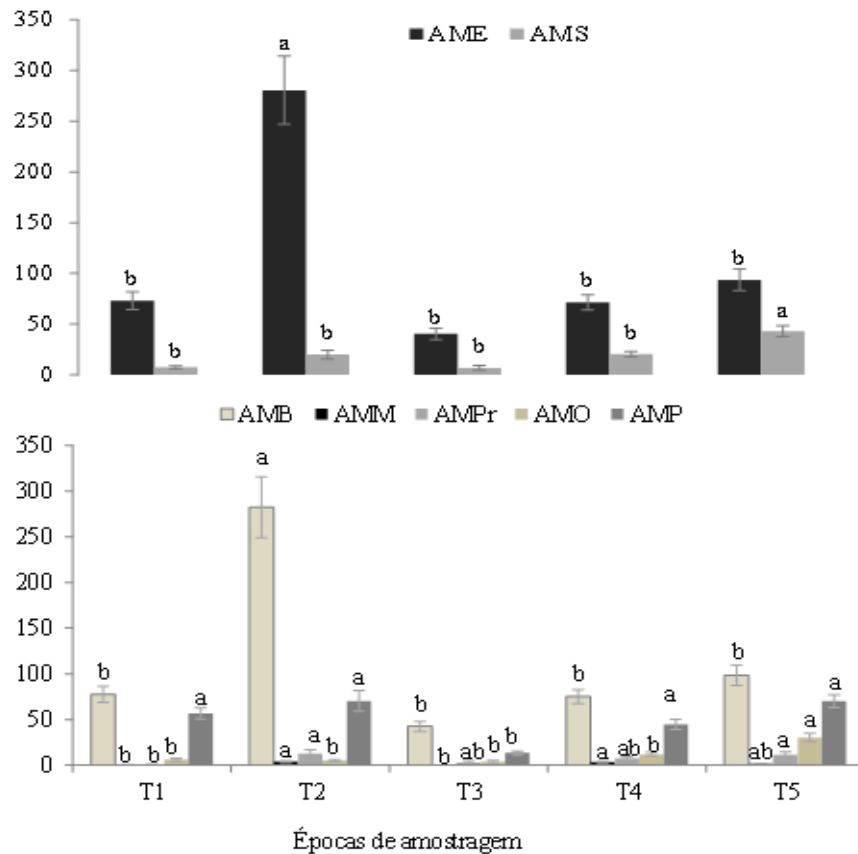
nematoides parasitos de planta, neste estudo, observa-se que quando a densidade dos nematoides parasitos de planta diminui nos períodos T2 e T3 diminui também o valor do Sigma IM. Quanto ao IPP o período T3 diferiu estatisticamente dos demais. No período T3 existe maior influência dos parasitos de planta (p-p3), como observado na figura 4D, estes nematoides se mostraram mais adaptados a condições ambientais adversas, como a falta de chuva.

Na figura 7 podem-se observar os índices baseados nas guildas funcionais para avaliar a condição da cadeia alimentar do solo. O IC que avalia se a via de decomposição da matéria orgânica ocorre por meio de atividade bacteriana ou fúngica fundamenta-se nas guildas Ba₁ e Mi₂, apresentou médias abaixo de 20 revelando que a via de decomposição da matéria orgânica, ao longo do cultivo da cana planta, ocorreu por meio de atividade bacteriana. O IE, no entanto, obteve médias que variam de 59 a 87, indicando um ambiente enriquecido favorável ao desenvolvimento dos oportunistas Ba₁ e Mi₂ (FERRIS; BONGERS; DE GOEDE, 2001; FERRIS; BONGERS; DE GOEDE, 2004), considerando que a área de estudo é uma área de monocultivo que recebe adição de fertilizantes como a vinhaça para melhorar a condição do solo. Ferris, Bongers e De Goede (2001) descrevem que os dois índices juntos são ferramentas poderosas para acessar os níveis de fertilidade do solo e disponibilidade de nutrientes.

No IB os cinco períodos não apresentaram diferença estatística significativa além de mostrarem valores abaixo de 20. No índice IS o período T5 diferiu estatisticamente dos demais, evidenciando o processo de restabelecimento da cadeia alimentar ao fim do ciclo da cana planta após a diminuição e consumo da vinhaça no ecossistema (Figura 7).

Em relação à atividade metabólica (Figura 8), a atividade metabólica de enriquecimento e a AME e AMB diferiram significativamente no período T2, o que comprova que a entrada de carbono no solo ocorre por via bacteriana, confirmada por meio da correlação positiva entre a respiração microbiana e a AME ($r = 0,32$, $p < 0,01$) e AMB ($r = 0,31$, $p < 0,01$) (APÊNDICE B). A AMS e AMO diferiram significativamente no período T5 dos demais períodos, indicando presença de nematoides pertencentes aos altos níveis tróficos e que a área se encontra em maior equilíbrio no período T5 do que nos demais períodos (FERRIS, 2010b).

Figura 8 - Atividade metabólica dos nematoides em área de cultivo de cana-de-açúcar, durante as épocas de amostragem



Fonte: Vicente (2016)

T1: Antes do plantio da cana; T2: Três meses após o cultivo da cana; T3: Seis meses após o cultivo da cana; T4: Nove meses após o cultivo da cana; T5: Colheita. AME: Atividade metabólica de enriquecimento; AMS: Atividade metabólica de estrutura; AMB: Atividade metabólica dos bacteriófagos; AMM: Atividade metabólica dos micófitos; AMPr: Atividade metabólica dos predadores; AMO: Atividade metabólica dos onívoros; AMP: Atividade metabólica dos parasitos de planta.

6.3 RELAÇÕES ENTRE GUILDAS FUNCIONAIS E VARIÁVEIS DO SOLO E PLANTA

Correlações de Pearson foram calculadas para determinar relações entre os nematoides, representados pelas guildas funcionais, e as variáveis do solo e planta. A porosidade total obteve correlações negativas com a guilda H₅ (*Xiphinema*) ($r = -0,30$, $p < 0,01$) no T1 e Mi₂ (*Aphelenchus*) ($r = -0,26$, $p < 0,05$) no T3 (Tabela 5). A densidade populacional dos nematoides é influenciada por algumas propriedades do solo, como porosidade, a densidade e umidade (RITZINGER; FANCELLI; RITZINGER, 2010). Sendo assim foi encontrada correlação negativa entre porosidade e densidade do solo ($r = -0,65$, $p < 0,01$), positiva entre porosidade e umidade ($r = 0,28$, $p < 0,05$) e negativa entre umidade e densidade ($r = -0,27$, $p < 0,05$) no T1 (APÊNDICE C), solos mais porosos retém mais umidade, o que explica a correlação entre positiva entre porosidade e umidade.

No T3 o aumento da densidade do solo (APÊNDICE A) e a diminuição nas chuvas promoveram a correlação negativa entre porosidade e densidade do solo ($r = -0,73$, $p < 0,01$) (APÊNDICE C) e a porosidade e os Mi_2 , comprometendo a locomoção destes nematoides no solo, a realização das trocas gasosas e movimentação por meio do filme de água (DE GOEDE; BONGERS, 1994; BOUWMAN; ARTS, 2000).

Estudos correlacionando a porosidade e os nematoides do solo foram realizados com outras culturas e em áreas de Floresta para mostrar que mudanças provocadas no meio ambiente promovem alterações diretas nesta variável influenciando a dinâmica dos nematoides no solo (VAN EEKEREN et al., 2010; CARDOSO et al., 2012; STHANU et al., 2013; OLIVEIRA, 2014; LEITÃO, 2015). Quanto à densidade do solo foi encontrada uma correlação negativa no T2 com Ba_2 (*Acrobeles*) ($r = -0,24$, $p < 0,05$) entre os cinco períodos avaliados (Tabela 5), sugerindo, que o aumento na densidade do solo diminuiu a população deste nematoide tornando-o sensível a mudanças na densidade do solo.

Em relação à umidade do solo houve correlações negativas no T2 com H_2 (Tylenchidae) ($r = -0,23$, $p < 0,05$), H_3 (Criconematidae, *Helicotylenchus*, *Hemicycliophora*, *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Rotylenchus*, *Tylenchorhynchus*) ($r = -0,29$, $p < 0,01$) e H_4 (*Paratrichodorus* e *Trichodorus*) ($r = -0,26$, $p < 0,05$) e no T4 com H_3 ($r = -0,25$, $p < 0,05$), correlação positiva no T3 com Ba_1 (Rhabditida) ($r = 0,24$, $p < 0,05$) e no T5 com Ba_3 (*Prismatolaimus*) ($r = 0,32$, $p < 0,05$). Estas correlações evidenciam que as guildas H_2 , H_3 e H_4 no T2 aumentaram suas densidades populacionais mesmo com a diminuição das chuvas, o que nos leva a inferir que os nematoides parasitos de planta são mais resistentes à diminuição de umidade no solo.

Tabela 5 - Coeficiente de correlação significativa entre guildas funcionais dos nematoides, propriedades do solo e da folha em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba.

| Atributos | Ba ₁ | Ba ₂ | Ba ₃ | Fu ₂ | Fu ₄ | Pr ₄ | Pr ₅ | On ₄ | H ₂ | H ₃ | H ₄ | H ₅ |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Antes do plantio da cana – T1 | | | | | | | | | | | | |
| PT | | | | | | | | | | | | -0,30** |
| MOS | | | | | | -0,25* | | | | | | |
| C-CO ₂ | | | 0,22* | | | | | 0,43** | | | | |
| AF | | -0,23* | | | | | | | | | | |
| Silte | | 0,34** | | | | | | | -0,26* | | | |
| Três meses após o plantio da cana – T2 | | | | | | | | | | | | |
| Umi | | | | | | | | | -0,23* | -0,29** | -0,26* | |
| DS | | -0,24* | | | | | | | | | | |
| pH | | | | | | 0,28* | | | | | | |
| K _f | | 0,23* | | | | | | | | | | |
| C-CO ₂ | 0,32** | | | 0,22* | | | | | 0,34** | | | |
| Areia | 0,24* | | | | | | | | | 0,27* | | |
| Argila | | | | | | | | | | | | -0,25* |
| AG | 0,28* | | | | | | | | | | | 0,26* |
| AF | | -0,25* | 0,24* | | | | | | 0,22* | | | |
| Seis meses após o plantio da cana – T3 | | | | | | | | | | | | |
| Umi | 0,24* | | | | | | | | | | | |
| PT | | | | -0,26* | | | | | | | | |
| pH | -0,27* | | | | | | | | | | | |
| Perf | | | | | | | | | | 0,30* | | |
| Areia | | | | | | | | | -0,27* | | | |
| Argila | | -0,27* | | | | | | | 0,30* | | | |
| AG | | 0,30* | | | | | | | | | | |
| Nove meses após o plantio da cana – T4 | | | | | | | | | | | | |
| Umi | | | | | | | | | | -0,25* | | |
| pH | | 0,26* | | | | | | | | | | |
| K _s | | | | | | | -0,23* | | | | | |
| Ca _s | | | | | | | | | 0,39** | | | |
| Mg _s | | | | | | | | | | | | -0,24* |
| Ca _f | | | | | | | | | | | | 0,28* |
| Mg _f | 0,26* | | | 0,28* | | | 0,26* | | | | | |
| NC | -0,31** | | | | | | | | | | | |
| Perf | | | | | | -0,24* | | | | 0,36** | | |

Observa-se que, durante as épocas de amostragem a umidade obteve correlações com os nematoides em quatro das cinco épocas, reforçando a importância da umidade nas oscilações das densidades populacionais dos nematoides. No entanto cada *taxa* comporta-se de forma distinta a umidade no solo (SOHLENIUS, 1985).

Correlações positivas foram encontradas entre a respiração do solo e as guildas Ba₃ (*Prismatolaimus*) e On₄ (*Dorylaimidae*, *Eudorylaimus*, *Mesodorylaimus*, *Thornia*) no T1, no T2 com Ba₁ (*Rhabditida*), Mi₂ (*Aphelenchus* e *Aphelenchoides*) e H₂ (*Tylenchidae*) e no T5 com Ba₁ (*Rhabditida*). Estudos relataram correlações positivas entre respiração do solo e total de nematoides (VONK; BREURE; MULDER, 2013). A adição de matéria orgânica no solo influencia na variação na atividade microbiana auxiliando o aumento de bactérias e fungos, facilitando o aumento da densidade populacional destes nematoides (GRUVER et al., 2010). Os resultados mostram que mesmo não encontrando correlações ao longo do estudo entre matéria orgânica e nematoides, apenas negativa no T1 com Pr₄ (*Prionchulus*) ($r = -0,25$, $p < 0,05$), foi possível detectar sua influência sobre nematoides oportunistas por meio da respiração do solo.

Houve correlações positivas entre pH do solo e Pr₄ (*Prionchulus* e Mononchida) ($r = 0,28$, $p < 0,05$) no T2, Ba₂ (*Acrobeles* e Monhysteridae) ($r = 0,26$, $p < 0,05$) no T4 e Ca₄ (Mononchida) ($r = 0,29$, $p < 0,01$) no T5, e correlações negativas com Ba₁ (*Rhabditida*) no T3 e H₃ no T5. O pH controla a distribuição da atividade biológica do solo, controlando a estrutura e composição das comunidades microbianas (KILLHAM, 1994), atuando de forma indireta na distribuição dos nematoides. Rousk et al.(2010) sugerem que as paredes celulares das bactérias são sensíveis a atuação do pH, sendo assim, o aumento do pH promove a diminuição da atividade bacteriana o que pode provocar diminuição da população da guilda Ba₁, porém outros fatores provavelmente interferem nesta correlação já que no T3 a população de *Rhabditida* aumentou assim como o pH do solo.

Correlação negativa foi observada entre os parasitos de planta (H₃) e o pH do solo no período T5, sendo a única guilda dentre os parasitos de planta que se correlacionou negativamente com o pH. O aumento do pH neste período (variou de 5,7 no T2 a 6,2 no T5 – APÊNDICE A) pode ter influenciado na diminuição da densidade populacional destes nematoides, visto que, de acordo com Melakeberhan et al. (2004) os nematoides parasitos de planta sobrevivem a oscilações do pH do solo.

Por outro lado, Rodríguez-kábana (1986) descreve que o processo de decomposição de substâncias orgânicas promovido, por bactérias e fungos, resultam na formação de ácidos orgânicos que pode exercer atividade nematicida dependendo do pH. Dijan et al. (1994)

afirmam que a concentração de matéria orgânica forma moléculas de ácidos orgânicos não dissociados que conseguem ultrapassar a cutícula dos nematoides com liberação de H^+ dentro do pseudoceloma, que pode provocar a morte do nematoide parasito de planta.

No que se refere à textura do solo foi encontrada correlação positiva entre areia e Ba_1 ($r = 0,24$, $p < 0,05$) e H_3 ($r = 0,27$, $p < 0,05$) no T2, Mi_2 ($r = 0,29$, $p < 0,05$), Pr_5 ($r = 0,35$, $p < 0,01$) e H_4 ($r = 0,26$, $p < 0,05$) no T4 e Om_4 ($r = 0,33$, $p < 0,01$) no T5 e negativa com Pr_4 ($r = -0,26$, $p < 0,05$). A argila obteve correlações negativas com H_4 ($r = -0,25$, $p < 0,05$), Ba_2 ($r = -0,27$, $p < 0,05$) no T3, Mi_2 ($r = -0,30$, $p < 0,01$) e Om_5 ($r = -0,36$, $p < 0,01$) no T4 e positivas com H_2 ($r = 0,30$, $p < 0,05$) no T3 e Mi_4 ($r = 0,26$, $p < 0,05$) no T4.

Matteille et al. (2014) e Ortiz et al. (2010) citam que o segundo maior fator que afeta a distribuição dos parasitos de planta é a textura do solo, perdendo apenas para as plantas hospedeiras. Muitos estudos revelam a preferência dos nematoides parasitos de planta por diferentes tipos de solo (WINDHAM; BARKER, 1986; KOENNING; WALTERS; BARKER, 1996; MONFORT et al., 2007; HERRING; KOENNING; HEITMAN, 2010; MOORE; LAWRENCE, 2013).

Olabiyi; Olayiwola e Oyediran (2009) relatam que os nematoides parasitos de planta preferem solos arenosos devido a maior quantidade de espaços porosos, que facilitam sua locomoção, porém possui capacidade de retenção de água reduzida e menor disponibilidade de nutrientes contribuindo assim, para sua busca por hospedeiros. Solos arenosos possuem menor densidade populacional de predadores naturais. O fato de solos com textura arenosa possuir menor população de inimigos naturais para os nematoides pode explicar a correlação negativa com Pr_4 , porém mais estudos a cerca desta afirmativa devem ser realizados.

Quanto aos atributos químicos houve uma correlação positiva entre K^+ na solução do solo e H_3 ($r = 0,23$, $p < 0,05$) e negativa entre K na folha e H_4 ($r = -0,27$, $p < 0,05$) no período T5, o Ca^{2+} na solução do solo obteve correlação positiva com H_2 ($r = 0,39$, $p < 0,01$), o Ca na folha obteve correlação positiva com H_5 ($r = 0,28$, $p < 0,05$) o Mg^{2+} no solo se correlacionou negativamente com o H_5 ($r = -0,24$, $p < 0,05$) no T4, que mostra de alguma maneira o aumento ou a diminuição da concentração destes nutrientes facilita o desenvolvimento dos nematoides parasitos. Possivelmente, uma análise da população dos nematoides nas raízes da cultura ofereça resposta contrária ao observado com os parasitos de planta no solo. Estudos mostram que a deficiência de nutrientes no solo influenciam as doenças causadas pelos nematoides parasitos de planta (FERREIRA et al., 2012).

Por outro lado, correlações negativas foram encontradas entre K na folha e Mi_2 , Ca na folha e K^+ na solução do solo e Ba_2 no T5 enquanto que o Mg na folha se correlacionou

positivamente com Ba₃. No T4 houve correlações positivas entre Mg na planta e Ba₁, Mi₂ e Pr₅ e negativas entre K⁺ na solução do solo e Pr₅. A adubação realizada entre os períodos T1 e T2 de cultivo na cultura influenciaram na atividade microbiana do solo que proporcionou alguns efeitos antagônicos na população dos nematoides de vida livre no solo.

6.4 INFLUÊNCIA DOS NEMATOIDES NA ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELA CANA-DE-AÇÚCAR

Análise de componentes principais (ACP) foi realizada com o intuito de selecionar componentes com maior relação e que concentrasse a maior variabilidade ($\geq 70\%$) em torno dos dois primeiros componentes. Porém não foi o que ocorreu no estudo. Foram avaliadas a nematofauna, os demais atributos, em todas as cinco épocas, em conjunto e separadas, em seguida, os nematoides mais abundantes no solo e os atributos químicos, físicos do solo, também foi feita a tentativa com os parasitos de planta e atributos químicos do solo e planta, guildas funcionais e atributos do solo, logo depois guildas e atributos químicos do solo e planta.

Tentativas foram realizadas com as variáveis químicas do solo isoladamente, as físicas, e as variáveis que de acordo com estudos anteriores (SÁNCHEZ-MORENO et al., 2008) possuem maior relação com os nematoides, entretanto o máximo de porcentagem explicada obtida para as duas primeiras componentes foram de (20% e 9%, variando em torno de 10 a 25% na primeira componente, e de 9 a 14% na segunda componente) mostrando que as primeiras componentes, que deviam concentrar a maior porcentagem de variabilidade dos dados, só concentram em torno de 30% apenas.

A análise de correlação canônica foi utilizada objetivando minimizar a variância entre os dois conjuntos de variáveis e acessar o efeito das variáveis do solo sobre os nematoides. No entanto, os resultados obtidos para as duas raízes também não foram satisfatórios e nem significativos para as o conjunto de variáveis biológicas relacionadas com as físicas e químicas do solo e planta.

As análises estatísticas multivariadas testadas para explicar as hipóteses propostas no estudo não obtiveram o resultado esperado, comprovando que mesmo com o vasto número de variáveis avaliadas provavelmente outros fatores como: nitrogênio no solo, relação C:N, carbono da biomassa microbiana, resistência mecânica a penetração, que não foram mensurados no estudo podem exercer maior influência sobre a variabilidade dos nematoides,

ou melhor, representam a influência dos parasitos de planta sobre a absorção de nutrientes pela cana.

Em relação à influência dos parasitos de planta na absorção de nutrientes pela cana Ferreira et al. (2010) relatam que quanto maior deficiência de nutrientes no solo mais a planta se tornará susceptível às nematoses. Os parasitos de planta induzem alterações na composição mineral e orgânica dos tecidos da cultura hospedeira (WANG; BERGERSON, 1974; BIRD; BROWNELL, 1961) por meio do dano celular provocado nos sítios de alimentação (MELAKEBERHAN, 2004). Esses danos são descritos como: destrutivos, promovendo a morte celular (*Pratylenchus* spp.), adaptativos, provocando modificações na célula (*Heterodera* spp.), e neoplástico, nos quais células que são modificadas provocam um novo desenvolvimento (*Meloidogyne* spp.) (MELAKEBERHAN, 2004).

Os mesmos autores ainda reiteram que os danos nas plantas podem diferir em decorrência da localização do parasito na planta e da influência de outros organismos e fatores físicos do solo. O rompimento das células das raízes por um dos tipos de danos provocados pelos parasitos interfere nos processos de absorção de água e nutrientes pelas células e nas relações com os fitormônios originários nas raízes (fatores primários), influenciando na síntese de clorofila, fotossíntese e na respiração (fatores secundários). A combinação dos dois fatores afeta o crescimento e a produtividade da planta (MELAKEBERHAN, 2004).

Os nematoides parasitos de planta se alimentam dos conteúdos celulares e também liberam inúmeras secreções que podem causar danos às raízes das plantas. Algumas dessas secreções são conhecidas como efetores, proteínas liberadas pelos parasitos, por meio do estilete dentro da célula da planta, alterando a estrutura e função da célula (HOGENHOUT et al., 2009; HAEGEMAN et al., 2012). Alguns efetores possuem a capacidade de degradar polissacarídeos presentes na parede celular, como a celulase (SMANT et al., 1998; ABAD et al., 2008; BELLAFFIORE et al., 2008; OPPERMAN et al., 2008).

Além das secreções liberadas pelos parasitos possivelmente a interferência na absorção de nutrientes pela planta provocada pelos nematoides depende também da densidade populacional do parasito, idade do hospedeiro e também da deficiência de nutrientes nos solos (MELAKEBERHAN, 2004). Alguns estudos relacionaram a aplicação de fertilizante com a taxa de reprodução dos nematoides nas raízes das plantas (ZAMBOLIM; COSTA; VALE, 2001; ZAMBOLIM; RODRIGUES; CAPUCHO, 2005). Ferreira et al., (2012) citam que a deficiência de alguns nutrientes são relacionados com as nematoses como: K, Ca, B, Cu e Mn.

O K é o nutriente mais importante no desenvolvimento da cana-de-açúcar agindo como ativador enzimático na fotossíntese, síntese de proteína, e translocação da sacarose (MEDINA

et al., 2013). O papel do Ca é estrutural, participa na formação da parede celular aumentando a resistência mecânica dos tecidos, e também atua como neutralizador de ácidos orgânicos no citosol. Quanto aos demais elementos agem diretamente no processo de defesa das plantas contra patógenos, participando da síntese da lignina (GRAHAM; WEBB, 1991).

Portanto quando os parasitos de planta penetram (ecto ou endoparasitos) nas raízes das plantas, impedem a absorção dos nutrientes pela cultura, diminuindo a resistência da parede celular por meio da degradação da mesma, agindo na fotossíntese e impedindo consumo dos nutrientes. Correlações negativas entre os parasitos de planta e os nutrientes no solo e na planta eram esperadas indicando alguma influência dos nematoides, na assimilação dos nutrientes pela planta. Porém ocorreram poucas correlações negativas provavelmente devido à adubação (vinhaça) que é realizada na área há ao menos vinte anos, que favoreceu a fertilidade do solo e conseqüentemente o crescimento da cultura.

6.5 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DE NEMATOIDES, PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS DO SOLO, ELEMENTOS QUÍMICOS NA FOLHA, BIOMASSA FRESCA E SECA E NÚMERO DE PERFILHOS

A estatística descritiva dos nematoides parasitos de planta associada à cana nas cinco épocas de cultivo encontra-se representada na Tabela 6. Os dados referentes aos parasitos de planta foram transformados $\log(x+1)$, enquanto que a estatística das propriedades físicas do solo (Tabela 7), químicas do solo (Tabela 8), elementos químicos na folha, biomassa fresca e seca e número de perfilhos encontram-se na Tabela 9.

Nas cinco épocas o nematoide parasito de plantas *Helicotylenchus*, não apresentou distribuição Normal de acordo com o Teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), nas épocas T3 e T4 *Pratylenchus* não apresentou distribuição Normal e *Tylenchorhynchus* no T3 não apresentou distribuição Normal. Para realizar análise geoestatística não é necessário que as variáveis apresentem distribuição normal. Quanto às propriedades físicas (Tabela 7) apenas a umidade do solo no T2 não apresentou distribuição Normal.

No que se refere às propriedades químicas do solo (Tabela 8) na época T1 a MOS e o Ca^{2+} não apresentaram distribuição normal, no T2 o Mg^{2+} não apresentou distribuição Normal, no T3 apenas o K^+ não apresentou distribuição Normal, no T4 apenas a MOS não apresentou distribuição Normal e no T5 o Ca^{2+} no solo, o Mg^{2+} , K^+ não apresentaram distribuição Normal.

Quanto aos dados dos elementos químicos na folha, as biomassas fresca e seca e número de perfilhos (Tabela 9), no período T2 apenas BSPA não apresentou distribuição

Normal, no T3 e T5 Mg e BSPA não apresentaram distribuição Normal e no T4 BSPA não apresentou distribuição Normal. Apesar da maior parte dos dados não apresentarem normalidade pode ser efetuada a análise geoestatística, no entanto os dados que seguem distribuição normal fornecem maior precisão nas estimativas da krigagem (ISAACS; SRIVASTVA, 1989; CRESSIE, 1991).

O coeficiente de variação indica a homogeneidade ou heterogeneidade das variáveis na área de estudo. Os nematoides parasitos de planta apresentaram variabilidade média e alta durante as cinco épocas de amostragem, na época T3 foram observados os maiores valores de CV, para *Helicotylenchus* (187%) e *Pratylenchus* (113%) sendo considerados altos (WARRICK; NIELSEN, 1980). A variabilidade dos nematoides é atribuída a sua taxa de reprodução que varia muito na área, observando os valores máximos e mínimos na estatística descritiva (Tabela 6). A alta variabilidade é comumente relatada em estudos com nematoides (DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2010; CARDOSO et al., 2012; OLIVEIRA, 2014; LEITÃO, 2015).

Os componentes macro e micro exercem grande influência na distribuição dos nematoides, a componente macro é representada por variáveis ambientais ou do solo como a textura e umidade, a componente micro está relacionada com o hábito alimentar e disponibilidade de alimento (DECÄENS, 2010), por isso os nematoides se distribuíram de forma heterogênea no campo durante os períodos estudados.

As propriedades físicas do solo apresentaram valores de CV entre baixo e médio nas épocas de amostragem (Tabela 7). Cambardella et al. (1994) atribuem a variabilidade das propriedades físicas aos fatores extrínsecos e intrínsecos do solo. Kamimura et al. (2013) explica que os fatores intrínsecos são os de origem pedogenética, enquanto que, os fatores extrínsecos são os provocados por alterações no uso do solo.

Quanto aos atributos químicos do solo (Tabela 8) os valores de CV foram classificados como médio, a exceção de Mg^{2+} na época T2 e K^+ na época T3 que apresentaram altos valores para CV. Souza et al. (2014) relatam que mapear propriedades do solo com alta variabilidade dificulta a precisão da análise. Por outro lado, Schimidt, Taylor e Milliken (2002) enfatizam que propriedades do solo com alta variabilidade favorecem o manejo de áreas pontuais.

Os elementos químicos na folha, a biomassa fresca e seca e número de perfilhos (Tabela 9), foram encontrados valores de CV classificados entre médio e alto, porém como houve poucos atributos com valores a baixo de 12 (K na época T5) e acima de 60 (Ca no T2, Ca e Mg no T3, Ca e número de perfilhos no T4, Mg no T5), pode-se considerar que as

propriedades se encontraram distribuídas de forma mais homogênea no campo durante os períodos de amostragem.

Para a análise de distribuição espacial foram selecionados os nematoides parasitos de planta mais abundantes e os que reconhecidamente causam danos à cultura da cana, podendo influenciar na absorção dos nutrientes Ca^{2+} , K^+ e Mg^{2+} do solo para a planta Ca, K e Mg, e consequentemente atuam no desenvolvimento da cana (número de perfilhos, BSPA e BFPA). Os resultados da análise da distribuição espacial para os nematoides se encontram na tabela 10, das propriedades físicas do solo na tabela 11, atributos químicos do solo (Tabela 12) e os elementos químicos na folha, a biomassa fresca e seca e número de perfilhos se encontram apresentados na tabela 13.

A avaliação da estrutura da dependência espacial foi realizada por meio dos parâmetros dos semivariogramas teórico e do grau de dependência espacial de acordo com Cambardella et al. (1994). Antes do plantio da cana (T1) os nematoides ectoparasitos e *Tylenchorhynchus* apresentaram dependência espacial (modelo exponencial) os demais *taxa* apresentaram efeito pepita puro (Figuras 9 e 10) mostrando distribuição aleatória na área. Durante o período T1 a área se encontrava em período de reforma passando por preparos agrícolas para a nova safra, o que explica a distribuição aleatória dos *taxa*.

Tabela 6 - Estatística descritiva dos nematoides parasitos de planta associados à cana-de-açúcar em cinco períodos de cultivo na Paraíba.

| T1 – Antes do plantio da cana | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Taxa | Média | Med | Mín | Máx | Ampl | Var | DP | Curt | Ass | E. Máx | KS (5) | KS (1) | CV(%) |
| Ecto | 2,18 | 2,23 | 0 | 3,21 | 3,21 | 0,34 | 0,58 | 5,35 | -1,83 | 0,12 | 0,15 | 0,18 | 27,69 |
| Heli | 1,20 | 1,35 | 0 | 2,91 | 2,91 | 0,96 | 0,98 | -1,45 | -0,10 | 0,24 | 0,15 | 0,18 | 82,03 |
| Praty | 1,61 | 1,75 | 0 | 3,36 | 3,36 | 0,53 | 0,73 | 0,68 | -0,93 | 0,13 | 0,15 | 0,18 | 45,30 |
| Tylen | 1,25 | 1,54 | 0 | 3,17 | 3,17 | 0,74 | 0,86 | -0,98 | -0,37 | 0,20 | 0,15 | 0,18 | 68,70 |
| T2 – Três meses após o plantio da cana | | | | | | | | | | | | | |
| Ecto | 2,17 | 2,25 | 0 | 3,23 | 3,23 | 0,36 | 0,60 | 4,26 | -1,55 | 0,12 | 0,15 | 0,18 | 27,79 |
| Heli | 1,09 | 1,31 | 0 | 2,66 | 2,66 | 0,80 | 0,89 | -1,50 | -0,15 | 0,25 | 0,15 | 0,18 | 82,34 |
| Praty | 1,34 | 1,50 | 0 | 2,64 | 2,64 | 0,61 | 0,78 | -0,63 | -0,71 | 0,18 | 0,15 | 0,18 | 58,54 |
| Tylen | 1,38 | 1,56 | 0 | 2,84 | 2,84 | 0,76 | 0,87 | -0,85 | -0,53 | 0,18 | 0,15 | 0,18 | 63 |
| T3 – Seis meses após o plantio da cana | | | | | | | | | | | | | |
| Ecto | 1,56 | 1,75 | 0 | 3,10 | 3,10 | 0,62 | 0,79 | 0,29 | -0,93 | 0,18 | 0,15 | 0,18 | 50,59 |
| Heli | 0,38 | 0 | 0 | 2,83 | 2,83 | 0,50 | 0,70 | 1,28 | 1,58 | 0,46 | 0,15 | 0,18 | 187,06 |
| Praty | 0,71 | 0 | 0 | 2,30 | 2,30 | 0,66 | 0,81 | -1,68 | 0,36 | 0,35 | 0,15 | 0,18 | 113,64 |
| Tylen | 1,22 | 1,59 | 0 | 3,09 | 3,09 | 0,79 | 0,89 | -1,12 | -0,35 | 0,22 | 0,15 | 0,18 | 72,35 |
| T4 – Nove meses após o plantio da cana | | | | | | | | | | | | | |
| Ecto | 2,03 | 2,17 | 0 | 3,16 | 3,16 | 0,49 | 0,70 | 2,72 | -1,56 | 0,16 | 0,15 | 0,18 | 34,58 |
| Heli | 0,78 | 0 | 0 | 2,49 | 2,49 | 0,75 | 0,87 | -1,61 | 0,36 | 0,34 | 0,15 | 0,18 | 111,94 |
| Praty | 0,80 | 0,63 | 0 | 2,64 | 2,64 | 0,71 | 0,84 | -1,61 | 0,24 | 0,32 | 0,15 | 0,18 | 104,18 |
| Tylen | 1,61 | 1,82 | 0 | 2,89 | 2,89 | 0,83 | 0,91 | -0,55 | -0,82 | 0,16 | 0,15 | 0,18 | 56,40 |
| T5 – Colheita | | | | | | | | | | | | | |
| Ecto | 2,38 | 2,41 | 1,28 | 3,14 | 1,86 | 0,15 | 0,39 | -0,41 | -0,23 | 0,15 | 0,15 | 0,18 | 16,40 |
| Heli | 1,04 | 1,34 | 0 | 2,69 | 2,69 | 0,96 | 0,98 | -1,64 | -0,06 | 0,29 | 0,15 | 0,18 | 93,83 |
| Praty | 1,89 | 1,91 | 0 | 2,73 | 2,73 | 0,27 | 0,52 | 4,35 | -1,51 | 0,10 | 0,15 | 0,18 | 27,60 |
| Tylen | 2,01 | 2,05 | 0 | 2,96 | 2,96 | 0,36 | 0,60 | 4,03 | -1,63 | 0,13 | 0,15 | 0,18 | 29,80 |

Fonte: Vicente (2016)

Ecto – Ectoparasitos; Heli – *Helicotylenchus*; Praty – *Pratylenchus*; Tylen – *Tylenchorhynchus*; Med – Mediana; Mín – Valor Mínimo; Máx – Valor Máximo; Ampl – Amplitude; Var – Variância; DP – Desvio padrão; Curt – Coeficiente de Curtose; Ass – Coeficiente de Assimetria; E. Máx – Erro Máximo; KS (5) e KS (1) – Teste de aderência à Normalidade de Kolmogorov – Smirnov a 5% e 1% de probabilidade; CV – Coeficiente de variação

Tabela 7- Estatística descritiva das propriedades físicas do solo em área cultivada com cana-de-açúcar durante cinco períodos de cultivo na Paraíba.

| Prop | Média | Med | Mín | Máx | Ampl | Var | DP | Curt | Ass | E. Máx | KS (5) | KS (1) | CV(%) |
|---|--------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| Areia | 687,26 | 695,2 | 576,8 | 756,8 | 180 | 1778,30 | 42,17 | -0,69 | -0,22 | 0,10 | 0,15 | 0,18 | 6,14 |
| AG | 164,42 | 163 | 136 | 201 | 65 | 232,85 | 15,26 | -0,57 | 0,13 | 0,05 | 0,15 | 0,18 | 9,28 |
| AF | 179,21 | 177,9 | 101,4 | 215,6 | 114,2 | 309,92 | 17,60 | 3,81 | -0,87 | 0,08 | 0,15 | 0,18 | 9,82 |
| Argila | 203,38 | 199,2 | 119,2 | 292 | 172,8 | 1406,34 | 37,50 | -0,23 | 0,06 | 0,08 | 0,15 | 0,18 | 18,44 |
| Silte | 109,36 | 105,6 | 51,2 | 271,2 | 220 | 1190,75 | 34,51 | 6,12 | 1,88 | 0,17 | 0,15 | 0,18 | 31,55 |
| T1 – Antes do plantio da cana | | | | | | | | | | | | | |
| Ds | 1,57 | 1,56 | 1,01 | 2,16 | 1,15 | 0,04 | 0,19 | 1,24 | 0,38 | 0,06 | 0,15 | 0,18 | 12,35 |
| Umi | 0,14 | 0,14 | 0,09 | 0,19 | 0,10 | 0,00 | 0,02 | -0,84 | 0,00 | 0,14 | 0,15 | 0,18 | 17,20 |
| PT | 32,91 | 32,31 | 16,95 | 67,15 | 50,2 | 56,59 | 7,52 | 4,12 | 1,05 | 0,10 | 0,15 | 0,18 | 22,86 |
| T2 – Três meses após o plantio da cana | | | | | | | | | | | | | |
| Ds | 1,62 | 1,62 | 1,26 | 2,05 | 0,72 | 0,02 | 0,16 | -0,27 | -0,16 | 0,09 | 0,15 | 0,18 | 9,83 |
| Umi | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,10 | 0,06 | 0,00 | 0,01 | -0,97 | 0,06 | 0,25 | 0,15 | 0,18 | 22,39 |
| PT | 35,48 | 35,42 | 18,50 | 64,05 | 45,55 | 61,43 | 7,84 | 1,40 | 0,35 | 0,07 | 0,15 | 0,18 | 22,09 |
| T3 – Seis meses após o plantio da cana | | | | | | | | | | | | | |
| Ds | 1,62 | 1,62 | 1,27 | 1,98 | 0,71 | 0,02 | 0,16 | -0,28 | -0,16 | 0,06 | 0,15 | 0,18 | 9,83 |
| Umi | 0,06 | 0,06 | 0,03 | 0,10 | 0,07 | 0,00 | 0,01 | 0,52 | 0,55 | 0,15 | 0,15 | 0,18 | 24,08 |
| PT | 35,68 | 37,27 | 12,63 | 62,21 | 49,58 | 89,14 | 9,44 | 0,37 | -0,16 | 0,10 | 0,15 | 0,18 | 26,46 |
| T4 – Nove meses após o plantio da cana | | | | | | | | | | | | | |
| Ds | 1,64 | 1,65 | 1,26 | 1,96 | 0,7 | 0,02 | 0,15 | -0,34 | -0,09 | 0,04 | 0,15 | 0,18 | 9,4 |
| Umi | 0,09 | 0,09 | 0,04 | 0,14 | 0,10 | 0,00 | 0,02 | -0,07 | 0,49 | 0,06 | 0,15 | 0,18 | 21,61 |
| PT | 37,81 | 38,20 | 17,89 | 66,04 | 48,15 | 70,88 | 8,42 | 0,66 | 0,17 | 0,04 | 0,15 | 0,18 | 22,26 |
| T5 – Colheita | | | | | | | | | | | | | |
| Ds | 1,69 | 1,69 | 1,38 | 1,97 | 0,59 | 0,01 | 0,12 | -0,24 | -0,29 | 0,09 | 0,15 | 0,18 | 7,13 |
| Umi | 0,14 | 0,13 | 0,07 | 0,24 | 0,17 | 0,00 | 0,03 | 2,17 | 0,78 | 0,16 | 0,15 | 0,18 | 20,21 |
| PT | 34,71 | 35,60 | 16,04 | 69,61 | 53,57 | 73,99 | 8,60 | 2,42 | 0,68 | 0,06 | 0,15 | 0,18 | 24,78 |

Fonte: Vicente (2016)

Prop – Propriedades físicas do solo; AG – Areia Grossa (g/kg); AF – Areia Fina (g/kg); Ds – Densidade do solo (g.cm³); Umi – Umidade do solo (g/g); PT – Porosidade Total (%); Med - Mediana; Mín – Valor Mínimo; Máx – Valor Máximo; Ampl – Amplitude; Var – Variância; DP – Desvio padrão; Curt – Coeficiente de Curtose; Ass – Coeficiente de Assimetria; E. Máx – Erro Máximo; KS – Teste de aderência à Normalidade de Kolmogorov – Smirnov a 5% e 1% de probabilidade; CV – Coeficiente de variação

Tabela 8. Estatística descritiva das propriedades químicas do solo em área cultivada com cana-de-açúcar em cinco períodos na Paraíba.

| T1 – Antes do plantio da cana | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
| Prop | Média | Med | Mín | Máx | Ampl | Var | DP | Curt | Ass | E. Máx | KS (5) | KS (1) | CV(%) |
| MOS | 56,73 | 55,70 | 29,23 | 115,76 | 86,53 | 168,19 | 12,97 | 4,11 | 1,05 | 0,98 | 0,14 | 0,18 | 22,85 |
| Ca | 2,49 | 2,38 | 0,13 | 4,91 | 4,48 | 0,70 | 0,83 | 0,84 | 0,29 | 0,89 | 0,15 | 0,18 | 33,61 |
| Mg | 2,59 | 2,65 | 0,11 | 7,25 | 7,14 | 1,61 | 1,27 | 1,08 | 0,25 | 0,06 | 0,15 | 0,18 | 48,88 |
| K | 3,92 | 3,83 | 0,63 | 6,30 | 5,67 | 2,20 | 1,48 | -0,93 | -0,11 | 0,07 | 0,15 | 0,18 | 37,83 |
| T2 – Três meses após o plantio da cana | | | | | | | | | | | | | |
| MOS | 61,16 | 61,06 | 31,90 | 110,42 | 78,52 | 182,59 | 13,51 | 1,39 | 0,35 | 0,07 | 0,15 | 0,18 | 22,09 |
| Ca | 3,45 | 3,50 | 0,64 | 5,28 | 4,64 | 0,81 | 0,90 | 0,34 | -0,40 | 0,05 | 0,15 | 0,18 | 26,02 |
| Mg | 1,82 | 0,88 | 0,03 | 6,34 | 6,31 | 3,26 | 1,80 | -0,07 | 1,09 | 0,23 | 0,15 | 0,18 | 99,02 |
| K | 2,90 | 2,95 | 0,16 | 5,67 | 5,51 | 1,28 | 1,13 | 0,08 | -0,23 | 0,06 | 0,15 | 0,18 | 39,15 |
| T3 – Seis meses após o plantio da cana | | | | | | | | | | | | | |
| MOS | 86,17 | 88,48 | 1,72 | 168,95 | 167,23 | 2433,26 | 49,32 | -1,19 | -0,03 | 0,06 | 0,15 | 0,18 | 57,23 |
| Ca | 4,61 | 4,64 | 1,51 | 6,50 | 4,99 | 0,95 | 0,97 | 0,72 | -0,46 | 0,06 | 0,15 | 0,18 | 21,12 |
| Mg | 2,95 | 2,93 | 0,01 | 6,09 | 6,08 | 1,63 | 1,27 | -0,06 | 0,11 | 0,05 | 0,15 | 0,18 | 43,21 |
| K | 3,04 | 2,80 | 1,19 | 24,45 | 23,26 | 7,28 | 2,69 | 70,06 | 8,02 | 0,30 | 0,15 | 0,18 | 88,53 |
| T4 – Nove meses após o plantio da cana | | | | | | | | | | | | | |
| MOS | 65,19 | 65,85 | 30,84 | 113,85 | 83,01 | 210,67 | 14,51 | 0,66 | 0,17 | 0,43 | 0,15 | 0,18 | 22,26 |
| Ca | 5,28 | 5,39 | 2,09 | 10,37 | 8,28 | 2,21 | 1,48 | 0,79 | 0,19 | 0,06 | 0,15 | 0,18 | 28,13 |
| Mg | 1,64 | 1,74 | 0,01 | 3,39 | 3,38 | 0,87 | 0,93 | -0,9 | 0,00 | 0,06 | 0,15 | 0,18 | 56,72 |
| K | 1,99 | 1,99 | 0,31 | 4,07 | 3,76 | 1,05 | 1,02 | -1,06 | 0,11 | 0,10 | 0,15 | 0,18 | 51,53 |
| T5 – Colheita | | | | | | | | | | | | | |
| MOS | 86,24 | 87,92 | 1,72 | 168,95 | 167,23 | 2375,20 | 48,73 | -1,17 | -0,01 | 0,06 | 0,15 | 0,18 | 56,51 |
| Ca | 3,97 | 3,81 | 2,04 | 9,31 | 7,27 | 1,36 | 1,17 | 5,29 | 1,58 | 0,08 | 0,15 | 0,18 | 29,41 |
| Mg | 1,71 | 1,34 | 0,65 | 3,96 | 3,31 | 0,75 | 0,87 | 0,41 | 1,23 | 0,21 | 0,15 | 0,18 | 50,82 |
| K | 1,75 | 1,54 | 0,79 | 4,89 | 4,1 | 0,65 | 0,80 | 4,59 | 2,06 | 0,21 | 0,15 | 0,18 | 46,21 |

Fonte: Vicente (2016)

Prop – Propriedades; MOS – Matéria Orgânica no Solo; Ca - Ca²⁺ na solução do solo (cmolc L⁻¹); Mg – Mg²⁺ na solução do solo (cmolc L⁻¹); K – K⁺ na solução do solo (cmolc L⁻¹); Med – Mediana; Mín – Valor Mínimo; Máx – Valor Máximo; Ampl – Amplitude; Var – Variância; DP – Desvio padrão; Curt – Coeficiente de Curtose; Ass – Coeficiente de Assimetria; E. Máx – Erro Máximo; KS – Teste de aderência à Normalidade de Kolmogorov – Smirnov a 5% e 1% de probabilidade; CV – Coeficiente de variação

Tabela 9. Estatística descritiva dos elementos químicos na folha, da biomassa fresca e seca da parte aérea e do número de perfilhos em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba.

| T2 – Três meses após o plantio da cana | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Prop. | Média | Med | Mín | Máx | Ampl | Var | DP | Curt | Ass | E. Máx | KS (5) | KS (1) | CV(%) |
| Ca | 0,72 | 0,65 | 0,01 | 2,77 | 2,76 | 0,21 | 0,46 | 3,18 | 1,15 | 0,08 | 0,15 | 0,18 | 64,72 |
| Mg | 1,99 | 2 | 1,07 | 2,73 | 1,66 | 0,16 | 0,40 | -0,55 | -0,16 | 0,04 | 0,15 | 0,18 | 20,35 |
| K | 26,77 | 26,63 | 19,12 | 34,51 | 15,39 | 10,58 | 3,25 | 0,11 | 0,19 | 0,06 | 0,15 | 0,17 | 12,15 |
| BFPA | 15,20 | 15 | 7 | 25 | 18 | 15,24 | 3,90 | -0,68 | 0,35 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 25,68 |
| BSPA | 5,28 | 5 | 3 | 7 | 4 | 1,01 | 1,00 | 0,12 | -0,52 | 0,20 | 0,15 | 0,18 | 19,11 |
| Perf. | 4,52 | 4 | 1 | 8 | 7 | 2,54 | 1,59 | -0,71 | 0,12 | 0,15 | 0,15 | 0,17 | 35,24 |
| T3 – Seis meses após o plantio da cana | | | | | | | | | | | | | |
| Ca | 0,66 | 0,56 | 0,00 | 2,56 | 2,56 | 0,25 | 0,50 | 2,77 | 1,46 | 0,11 | 0,15 | 0,18 | 74,86 |
| Mg | 2,47 | 2,34 | 0,48 | 19,75 | 19,27 | 5,11 | 2,26 | 46,09 | 6,35 | 0,34 | 0,15 | 0,18 | 91,29 |
| K | 24,05 | 24,24 | 18,49 | 29,02 | 10,53 | 4,92 | 2,21 | 0,09 | -0,46 | 0,06 | 0,15 | 0,18 | 9,22 |
| BFPA | 15,10 | 14,42 | 9,64 | 33 | 23,36 | 12,03 | 3,46 | 7,84 | 2,09 | 0,12 | 0,15 | 0,17 | 22,96 |
| BSPA | 5,07 | 5 | 3 | 8 | 5 | 1,15 | 1,07 | 0,17 | 0,62 | 0,22 | 0,15 | 0,18 | 21,13 |
| Perf. | 3,80 | 3,66 | 1,66 | 9,33 | 7,67 | 1,73 | 1,31 | 4,24 | 1,56 | 0,14 | 0,15 | 0,17 | 34,61 |
| T4 – Nove meses após o plantio da cana | | | | | | | | | | | | | |
| Ca | 0,69 | 0,45 | 0,00 | 3,19 | 3,19 | 0,57 | 0,75 | 3,11 | 1,94 | 0,18 | 0,15 | 0,17 | 109,13 |
| Mg | 1,57 | 1,49 | 1,05 | 2,61 | 1,56 | 0,10 | 0,32 | 0,45 | 0,76 | 0,09 | 0,15 | 0,17 | 20,48 |
| K | 27,33 | 27,47 | 4,64 | 32,23 | 27,59 | 11,43 | 3,38 | 23,76 | -3,68 | 0,12 | 0,15 | 0,17 | 12,37 |
| BFPA | 24,83 | 25 | 17 | 36 | 19 | 15,44 | 3,92 | 0,08 | 0,33 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 15,82 |
| BSPA | 5,97 | 6 | 4 | 8 | 4 | 0,72 | 0,84 | -0,11 | 0,16 | 0,23 | 0,15 | 0,17 | 14,22 |
| Perf. | 1,31 | 1,16 | 0 | 4 | 4 | 0,89 | 0,94 | 0,15 | 0,77 | 0,12 | 0,15 | 0,17 | 71,76 |
| T5 – Colheita | | | | | | | | | | | | | |
| Ca | 1,53 | 1,46 | 0,83 | 2,83 | 2 | 0,12 | 0,35 | 1,01 | 0,62 | 0,09 | 0,15 | 0,17 | 22,98 |
| Mg | 1,82 | 1,53 | 0,72 | 9,42 | 8,7 | 1,37 | 1,17 | 22,29 | 4,11 | 0,28 | 0,15 | 0,17 | 64,37 |
| K | 25,10 | 24,91 | 17,86 | 33,95 | 16,09 | 8,94 | 2,99 | 0,09 | 0,29 | 0,04 | 0,15 | 0,17 | 11,91 |
| BFPA | 19,79 | 20,15 | 12,08 | 26,07 | 13,99 | 7,10 | 2,66 | 0,36 | -0,25 | 0,06 | 0,15 | 0,17 | 13,46 |
| BSPA | 5,11 | 5 | 3 | 6 | 3 | 0,58 | 0,76 | -0,14 | -0,53 | 0,23 | 0,15 | 0,17 | 14,98 |
| Perf. | 5,01 | 5 | 10 | 15 | 5 | 3,89 | 1,97 | 7,09 | 1,85 | 0,15 | 0,15 | 0,17 | 39,38 |

Fonte: Vicente (2016)

Prop – Propriedades; Ca - Ca^{2+} na solução do solo (cmolc L^{-1}); Mg - Mg^{2+} na solução do solo (cmolc L^{-1}); K - K^+ na solução do solo (cmolc L^{-1}); Ca_f - Ca na folha (g Kg^{-1}); Mg_f - Mg na folha (g Kg^{-1}); K_f - K na folha (g Kg^{-1}); BFPA – Biomassa Fresca da Parte Aérea; BSPA – Biomassa Seca da Parte Aérea; Perf. – Número de Perfilhos; Med – Mediana; Mín – Valor Mínimo; Máx – Valor Máximo; Ampl – Amplitude; Var – Variância; DP – Desvio padrão; Curt – Coeficiente de Curtose; Ass – Coeficiente de Assimetria; E. Máx – Erro Máximo; KS – Teste de aderência à Normalidade de Kolmogorov – Smirnov a 5% e 1% de probabilidade; CV – Coeficiente de variação

No período de três meses após o plantio da cultura (T2), nove meses após o plantio da cultura (T4) e por ocasião da colheita (T5) além dos ectoparasitos, os demais gêneros apresentaram dependência espacial, representada pelo modelo exponencial. No T3 os nematoides parasitos de planta apresentaram efeito pepita puro com exceção do *Tylenchorhynchus* que exibiu modelo exponencial. Estudos anteriormente realizados também relataram presença de efeito pepita puro para diferentes *Taxa* de nematoides e grupos tróficos em áreas de cana-de-açúcar (DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2010; CARDOSO, 2012).

A falta de dependência espacial pode ser atribuída à escala de amostragem utilizada, mostrando que o espaçamento utilizado não foi suficiente para caracterizar a distribuição espacial dos nematoides parasitos de planta. Por outro lado, a adição da vinhaça no solo pode ter interferido na distribuição espacial dos nematoides parasitos de planta, diminuindo a densidade populacional. Entretanto, não foi realizada amostragem na área de estudo antes da adição da vinhaça, visto que na área a aplicação do resíduo ocorre ao menos a vinte anos. Porém estudos foram desenvolvidos relatando que independente de aplicação de resíduo não há um espaçamento ótimo para caracterização da distribuição espacial dos nematoides já que possuem hábitos alimentares diferentes e respondem a estímulos ambientais (MARTÍN et al., 2014; ORTIZ et al., 2010; SHI et al., 2008; HUA; JIANG; LIANG et al., 2008; LIANG et al., 2005).

O modelo exponencial foi ajustado aos nematoides parasitos de planta, no entanto em estudos de distribuição espacial de nematoides o modelo esférico se ajusta melhor ao comportamento destas variáveis (DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2010; CARDOSO, 2012; VIKETOFT, 2013; OLIVEIRA, 2014; LEITÃO, 2015), os modelos esféricos são ajustados a atributos com alta continuidade espacial (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

Os nematoides apresentaram grau de dependência espacial ($C_0/(C_0+C_1)$), que seria a relação entre efeito pepita e patamar, caracterizando a estrutura de dependência espacial, variando de fraco a moderado (Tabela 10). De acordo com Ferris, Mullens e Foord (1990), os ectoparasitos investem parte da energia acumulada na sua movimentação e seleção dos sítios de alimentação, depositando seus ovos de forma individual no solo, o que ocasiona em padrões menos agregados, coincidindo com os resultados deste estudo.

As propriedades físicas do solo (Tabela 11) se ajustaram ao modelo exponencial, e apenas Ds no T3 apresentou efeito pepita puro. Quanto ao grau de dependência espacial

obtiveram o mesmo comportamento dos nematoides, variando de fraco a moderado, porém, o teor de argila apresentou grau de dependência forte. Segundo Souza et al. (2014) semivariogramas que possuem estrutura de dependência espacial entre moderada e forte, produzem mapas mais precisos do que os elaborados com fraca dependência espacial, em razão da menor contribuição da componente aleatório na variabilidade dos dados.

As propriedades químicas do solo (Tabela 12) se ajustaram ao modelo exponencial, no entanto K^+ no T3, Ca^{2+} no T4 e MOS no T5 se ajustaram ao modelo gaussiano, Mg^{2+} no T1 e T4 apresentaram efeito pepita puro. O grau de dependência espacial das propriedades foram, em sua maioria, fraco, com exceção da MOS que obteve dependência moderada no T1.

O modelo exponencial (Figuras 9 a 16) foi o que melhor se ajustou aos dados durante os cinco períodos. Greco, Vieira e Xavier (2010) e Souza et al. (2010) ajustaram modelos esféricos e exponenciais as variáveis químicas no solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, validando em parte os resultados encontrados neste estudo. VIEIRA et al. (2011) também ajustou os modelos esférico e exponencial para os atributos químicos do solo em sistema de semeadura direta. Mcbratney e Webster (1986) estudaram ajustes de modelos para os atributos do solo e indicaram que os modelos esférico e exponencial são frequentemente mais reportados nestes estudos.

Os elementos químicos na folha, a biomassa fresca e seca da parte aérea e o número de perfilhos (Tabela 13) se ajustaram ao modelo exponencial, no entanto Ca e Mg no T2 e Mg no T5 se ajustaram ao modelo gaussiano. Quanto ao grau de dependência espacial os atributos variaram de moderado a fraco em todas as épocas de amostragem com exceção de BFPA no T1 que apresentou grau de dependência forte.

Segundo o critério de Cambardella et al. (1994) quanto menor o grau de dependência (GDE) maior a dependência espacial entre as amostras. O alcance variou de 11, 3m para Ca no T3 a 51m para BFPA no T4 (Tabela 13). Souza et al. (1997) descreve que os valores de alcance são utilizados para a definição do espaçamento na coleta de dados, no entanto é necessário saber que os valores de alcance variam para os diferentes atributos do solo, com o manejo adotado e com o tempo.

Tabela 10. Parâmetros dos semivariogramas teóricos, grau de dependência espacial (GDE) e validação cruzada dos nematoides parasitos de planta associados à cana-de-açúcar na Paraíba.

| PP | Modelo | C ₀ | C ₁ | a(m) | R ² | C ₀ /(C ₀ +C ₁) (%) | GDE | Jack-Knifing Média | DP |
|--|--------------------|----------------|----------------|-------|----------------|--|-------|-----------------------|-------|
| T1-Antes do plantio da cana | | | | | | | | | |
| Ecto | Exponencial | 0,2 | 0,15 | 15 | 0,66 | 133,33 | Fraco | -0,001 | 0,995 |
| Heli | Efeito pepita puro | | | | | | | | |
| Praty | Efeito pepita puro | | | | | | | | |
| Tylen | Exponencial | 0,308 | 0,215 | 18 | 0,55 | 143,25 | Fraco | -0,019 | 1,023 |
| T2-Três meses após o plantio da cana | | | | | | | | | |
| Ecto | Exponencial | 0,131 | 0,266 | 27 | 0,88 | 49,25 | Mod. | 0,004 | 1,097 |
| Heli | Exponencial | 0,3 | 0,503 | 16 | 0,74 | 59,64 | Mod. | 0,027 | 1,043 |
| Praty | Exponencial | 0,401 | 0,25 | 20 | 0,21 | 160,4 | Fraco | 0,014 | 1,028 |
| Tylen | Exponencial | 0,229 | 0,252 | 13,35 | 0,41 | 91,6 | Fraco | 0,008 | 1,025 |
| T3- Seis meses após o plantio da cana | | | | | | | | | |
| Ecto | Efeito pepita puro | | | | | | | | |
| Heli | Efeito pepita puro | | | | | | | | |
| Praty | Efeito pepita puro | | | | | | | | |
| Tylen | Exponencial | 0,3 | 0,188 | 41,16 | 0,78 | 159,57 | Fraco | -0,018 | 1,132 |
| T4-Nove meses após o plantio da cana | | | | | | | | | |
| Ecto | Exponencial | 0,208 | 0,181 | 21,01 | 0,74 | 114,92 | Fraco | 0,004 | 0,971 |
| Heli | Exponencial | 0,306 | 0,476 | 25 | 0,75 | 64,28 | Mod. | -0,020 | 1,027 |
| Praty | Exponencial | 0,404 | 0,306 | 33 | 0,56 | 132,03 | Fraco | 0,017 | 1,103 |
| Tylen | Exponencial | 0,3 | 0,33 | 20 | 0,40 | 90,91 | Fraco | 0,030 | 1,026 |
| T5-Colheita | | | | | | | | | |
| Ecto | Exponencial | 0,081 | 0,075 | 20 | 0,68 | 108,11 | Fraco | -0,002 | 1,057 |
| Heli | Exponencial | 0,36 | 0,556 | 21 | 0,97 | 64,75 | Mod. | 0,011 | 0,979 |
| Praty | Exponencial | 0,10 | 0,172 | 25 | 0,95 | 58,14 | Mod. | 0,022 | 0,997 |
| Tylen | Exponencial | 0,180 | 0,155 | 22 | 0,59 | 116,13 | Fraco | -0,018 | 1,188 |

Fonte: Vicente (2016)

PP – Nematoides Parasitos de Planta; Ecto – Ectoparasitos; Heli – *Helicotylenchus*; Praty – *Pratylenchus*; Tylen – *Tylenchorhynchus*; Esf. – Modelo Esférico; C₀ – Efeito pepita; C₁ – Soleira; a – Alcance; R² - Coeficiente de determinação; Mod – Moderado; DP – Desvio Padrão

Tabela 11. Parâmetros dos semivariogramas teóricos, grau de dependência espacial (GDE) e validação cruzada das propriedades físicas do solo em área cultivada com a cana-de-açúcar na Paraíba.

| Prop. | Modelo | C ₀ | C ₁ | a(m) | R ² | C ₀ /(C ₀ +C ₁) (%) | GDE | Jack-Knifing | |
|--|--------------------|----------------|----------------|-------|----------------|--|-------|--------------|-------|
| | | | | | | | | Média | DP |
| Areia | Exponencial | 680 | 1300 | 65 | 0,92 | 52,31 | Mod. | -0,025 | 0,979 |
| AG | Exponencial | 50,41 | 67,708 | 35 | 0,88 | 74,45 | Mod. | -0,048 | 1,167 |
| AF | Exponencial | 180 | 160 | 40 | 0,77 | 112,5 | Fraco | -0,023 | 0,97 |
| Argila | Exponencial | 136,27 | 1400,442 | 33 | 0,86 | 9,73 | Forte | 0,027 | 1,008 |
| Silte | Exponencial | 650,546 | 820,535 | 45 | 0,62 | 79,28 | Fraco | -0,006 | 1,018 |
| T1-Antes do plantio da cana | | | | | | | | | |
| Ds | Exponencial | 0,016 | 0,010 | 24,96 | 0,83 | 160 | Fraco | 0,008 | 1,039 |
| Umi | Exponencial | 0,0002 | 0,0005 | 35 | 0,95 | 40 | Mod. | -0,004 | 1,025 |
| PT | Exponencial | 18,904 | 51,562 | 45 | 0,76 | 36,66 | Mod. | -0,016 | 1,041 |
| T2-Três meses após o plantio da cana | | | | | | | | | |
| Ds | Efeito pepita puro | | | | | | | | |
| Umi | Exponencial | 0,0015 | 0,0047 | 35 | 0,67 | 31,91 | Mod. | 0,019 | 0,996 |
| PT | Exponencial | 30,858 | 36,729 | 25 | 0,81 | 84,01 | Fraco | -0,034 | 1,069 |
| T3- Seis meses após o plantio da cana | | | | | | | | | |
| Ds | Exponencial | 0,007 | 0,018 | 35 | 0,73 | 38,88 | Mod. | 0,015 | 1,136 |
| Umi | Exponencial | 0,0046 | 0,0063 | 28 | 0,79 | 73,01 | Mod. | 0,010 | 1,034 |
| PT | Exponencial | 45,649 | 55,733 | 23 | 0,84 | 81,91 | Fraco | -0,003 | 1,064 |
| T4-Nove meses após o plantio da cana | | | | | | | | | |
| Ds | Exponencial | 0,013 | 0,016 | 18,44 | 0,84 | 81,25 | Fraco | 0,002 | 0,949 |
| Umi | Exponencial | 0,0021 | 0,0023 | 20,42 | 0,76 | 91,30 | Fraco | 0,015 | 0,977 |
| PT | Exponencial | 45,209 | 40,091 | 50 | 0,86 | 112,76 | Fraco | -0,018 | 1,045 |
| T5-Colheita | | | | | | | | | |
| Ds | Exponencial | 0,005 | 0,013 | 24,49 | 0,90 | 38,46 | Mod. | 0,023 | 0,927 |
| Umi | Exponencial | 0,0003 | 0,0005 | 35 | 0,76 | 60 | Mod. | -0,005 | 1,056 |
| PT | Exponencial | 30,299 | 65,804 | 40 | 0,86 | 46,04 | Mod. | -0,005 | 1,128 |

Fonte: Vicente (2016)

Prop – propriedades; AG – Areia Grossa; AF – Areia Fina; Ds – densidade do solo (g.cm³); Umi – Umidade do solo (g.g⁻¹); PT – Porosidade total (%); C₀ – Efeito pepita; C₁ – Soleira; a – Alcance; R² - Coeficiente de determinação; Mod – Moderado; DP – Desvio Padrão

Tabela 12. Parâmetros dos semivariogramas teóricos, grau de dependência espacial (GDE) e validação cruzada das propriedades químicas no solo em área cultivada com a cana-de-açúcar na Paraíba.

| Prop. | Modelo | C ₀ | C ₁ | a(m) | R ² | C ₀ /(C ₀ +C ₁) (%) | GDE | Jack-Knifing Média | DP |
|--|--------------------|----------------|----------------|-------|----------------|--|-------|-----------------------|-------|
| T1-Antes do plantio da cana | | | | | | | | | |
| MOS | Exponencial | 70 | 155 | 65 | 0,80 | 45,16 | Mod. | -0,016 | 1,040 |
| Ca | Exponencial | 0,31 | 0,381 | 15 | 0,25 | 80,58 | Fraco | -0,012 | 1,092 |
| Mg | Efeito pepita puro | | | | | | | | |
| K | Exponencial | 1,4 | 1,1 | 23 | 0,77 | 127,27 | Fraco | 0,029 | 1,029 |
| T2-Três meses após o plantio da cana | | | | | | | | | |
| MOS | Exponencial | 115 | 70 | 20 | 0,72 | 164,28 | Fraco | -0,042 | 1,053 |
| Ca | Exponencial | 0,05 | 0,68 | 17 | 0,77 | 7,35 | Forte | -0,015 | 1,027 |
| Mg | Exponencial | 2,02 | 1,38 | 12,70 | 0,60 | 146,38 | Fraco | -0,017 | 1,044 |
| K | Exponencial | 0,7 | 0,54 | 15 | 0,27 | 129,63 | Fraco | -0,016 | 0,993 |
| T3- Seis meses após o plantio da cana | | | | | | | | | |
| MOS | Exponencial | 160 | 137 | 30 | 0,87 | 116,79 | Fraco | -0,003 | 1,072 |
| Ca | Exponencial | 0,60 | 0,45 | 35 | 0,59 | 133,33 | Fraco | -0,029 | 0,999 |
| Mg | Exponencial | 0,87 | 0,78 | 34,85 | 0,69 | 111,54 | Fraco | 0,013 | 0,985 |
| K | Gaussiano | 0,39 | 0,49 | 61,71 | 0,93 | 79,59 | Fraco | 0,018 | 1,077 |
| T4-Nove meses após o plantio da cana | | | | | | | | | |
| MOS | Exponencial | 120,23 | 132,36 | 45 | 0,75 | 90,83 | Fraco | -0,017 | 1,057 |
| Ca | Gaussiano | 1,63 | 0,70 | 24 | 0,92 | 232,86 | Fraco | -0,005 | 1,108 |
| Mg | Efeito pepita puro | | | | | | | | |
| K | Exponencial | 0,7 | 0,36 | 20 | 0,54 | 194,44 | Fraco | 0,016 | 1,053 |
| T5-Colheita | | | | | | | | | |
| MOS | Gaussiano | 187 | 76,52 | 32,05 | 0,65 | 244,38 | Fraco | -0,004 | 1,037 |
| Ca | Exponencial | 0,70 | 0,857 | 53,13 | 0,97 | 81,68 | Fraco | -0,003 | 1,102 |
| Mg | Exponencial | 0,40 | 0,43 | 32,79 | 0,90 | 93,02 | Fraco | 0,019 | 1,048 |
| K | Exponencial | 0,45 | 0,23 | 15 | 0,42 | 195,65 | Fraco | 0,069 | 0,988 |

Fonte: Vicente (2016)

Prop – Propriedades; MOS – Matéria Orgânica no Solo; Ca - Ca²⁺ na solução do solo (cmolc L⁻¹); Mg – Mg²⁺ na solução do solo (cmolc L⁻¹); K – K⁺ na solução do solo (cmolc L⁻¹); C₀ – Efeito pepita; C₁ – Soleira; a – Alcance; R² - Coeficiente de determinação; Mod – Moderado; DP – Desvio Padrão

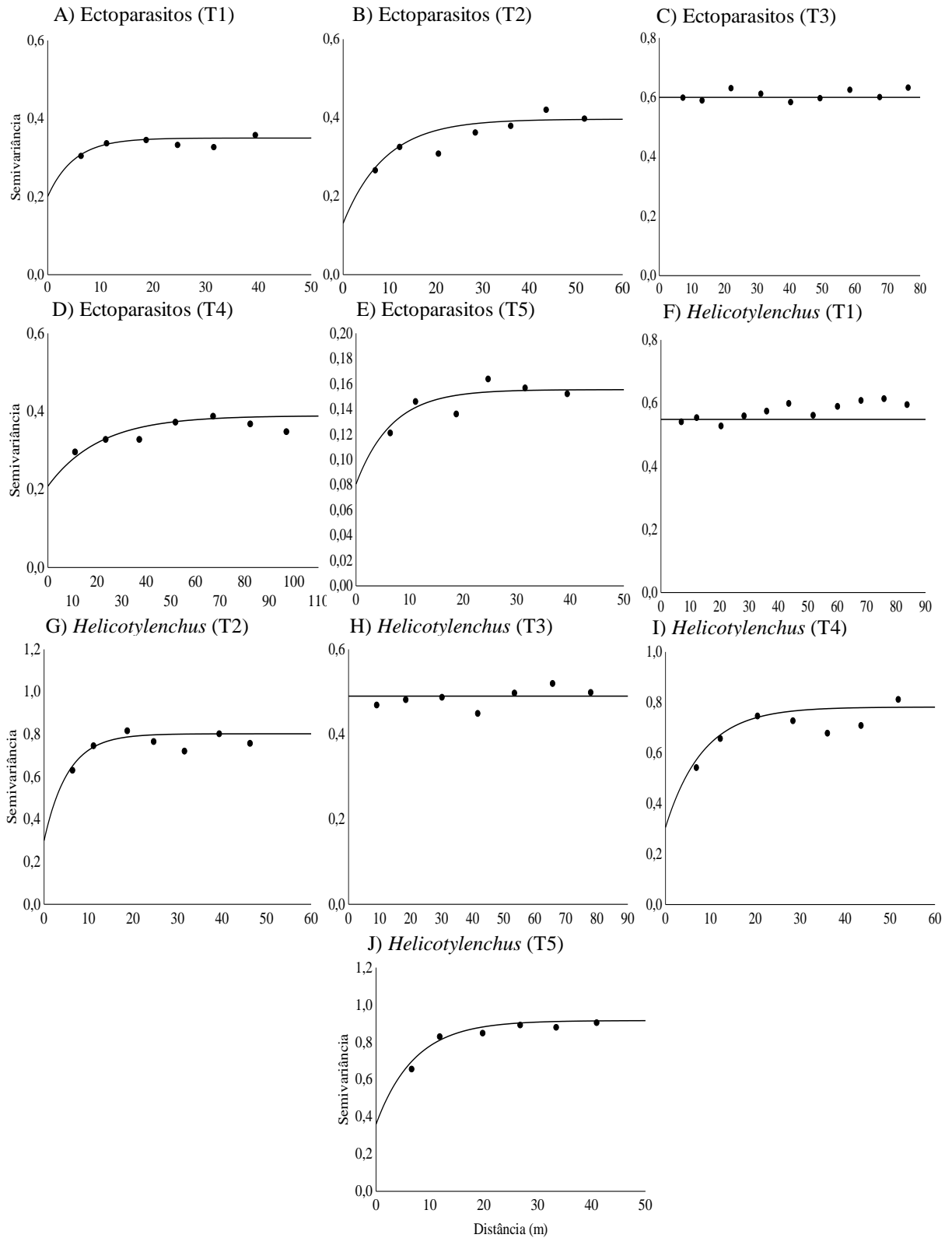
Tabela 13. Parâmetros dos semivariogramas teóricos, grau de dependência espacial (GDE) e validação cruzada dos elementos químicos na folha, da biomassa fresca e seca da parte aérea e do número de perfilhos em área cultivada com a cana-de-açúcar na Paraíba

| Prop. | Modelo | C ₀ | C ₁ | a(m) | R ² | C ₀ /(C ₀ +C ₁) (%) | GDE | Jack-Knifing Média | DP |
|---|-------------|----------------|----------------|-------|----------------|--|-------|-----------------------|-------|
| T2-Três meses após o plantio da cana | | | | | | | | | |
| Ca | Exponencial | 0,09 | 0,135 | 20 | 0,47 | 66,66 | Mod. | 0,028 | 1,041 |
| Mg | Exponencial | 0,07 | 0,098 | 25 | 0,94 | 93,02 | Fraco | -0,040 | 0,995 |
| K | Exponencial | 3 | 7,2 | 22 | 0,84 | 41,66 | Mod. | 0,025 | 1,072 |
| BFPA | Exponencial | 3 | 12,4 | 33 | 0,5 | 24,19 | Forte | -0,019 | 0,994 |
| BSPA | Exponencial | 0,56 | 0,43 | 34,59 | 0,92 | 130,23 | Fraco | 0,015 | 1,003 |
| Perf. | Exponencial | 1,5 | 1,15 | 15 | 0,74 | 130,43 | Fraco | -0,002 | 1,022 |
| T3-Seis meses após o plantio da cana | | | | | | | | | |
| Ca | Gaussiano | 0,19 | 0,08 | 37,84 | 0,72 | 237,5 | Fraco | -0,029 | 1,024 |
| Mg | Gaussiano | 0,25 | 0,27 | 50,76 | 0,86 | 92,59 | Fraco | 0,001 | 1,058 |
| K | Exponencial | 3 | 2 | 20 | 0,27 | 150 | Fraco | 0,033 | 1,003 |
| BFPA | Exponencial | 2 | 8 | 18 | 0,38 | 33,33 | Mod. | -0,002 | 1,011 |
| BSPA | Exponencial | 0,1 | 0,8 | 35 | 0,97 | 12,5 | Forte | -0,005 | 1,080 |
| Perf. | Exponencial | 0,9 | 0,82 | 15 | 0,48 | 109,76 | Fraco | -0,043 | 1,054 |
| T4-Nove meses após o plantio da cana | | | | | | | | | |
| Ca | Exponencial | 0,23 | 0,4 | 25 | 0,83 | 57,5 | Mod. | 0,033 | 1,019 |
| Mg | Exponencial | 0,025 | 0,064 | 30,72 | 0,91 | 39,06 | Mod. | 0,002 | 1,094 |
| K | Exponencial | 3 | 2,45 | 21 | 0,38 | 122,45 | Fraco | -0,006 | 1,016 |
| BFPA | Exponencial | 4 | 4,8 | 43 | 0,77 | 83,33 | Fraco | 0,008 | 1,171 |
| BSPA | Exponencial | 0,3 | 0,35 | 30,50 | 0,75 | 85,71 | Fraco | 0,018 | 1,104 |
| Perf. | Exponencial | 0,09 | 0,074 | 20 | 0,86 | 121,62 | Fraco | 0,021 | 1,048 |
| T5-Colheita | | | | | | | | | |
| Ca | Exponencial | 0,07 | 0,06 | 17 | 0,57 | 116,66 | Fraco | 0,012 | 1,044 |
| Mg | Gaussiano | 0,89 | 0,86 | 42,25 | 0,97 | 103,49 | Fraco | 0,014 | 0,960 |
| K | Exponencial | 5 | 4,41 | 37 | 0,48 | 113,38 | Fraco | -0,015 | 1,099 |
| BFPA | Exponencial | 3,5 | 5,03 | 23,02 | 0,94 | 69,58 | Mod. | 0,005 | 0,996 |
| BSPA | Exponencial | 0,30 | 0,38 | 30 | 0,95 | 78,95 | Fraco | 0,015 | 1,003 |
| Perf. | Exponencial | 1,5 | 2,3 | 22 | 0,37 | 65,22 | Mod. | -0,022 | 1,130 |

Fonte: Vicente (2016)

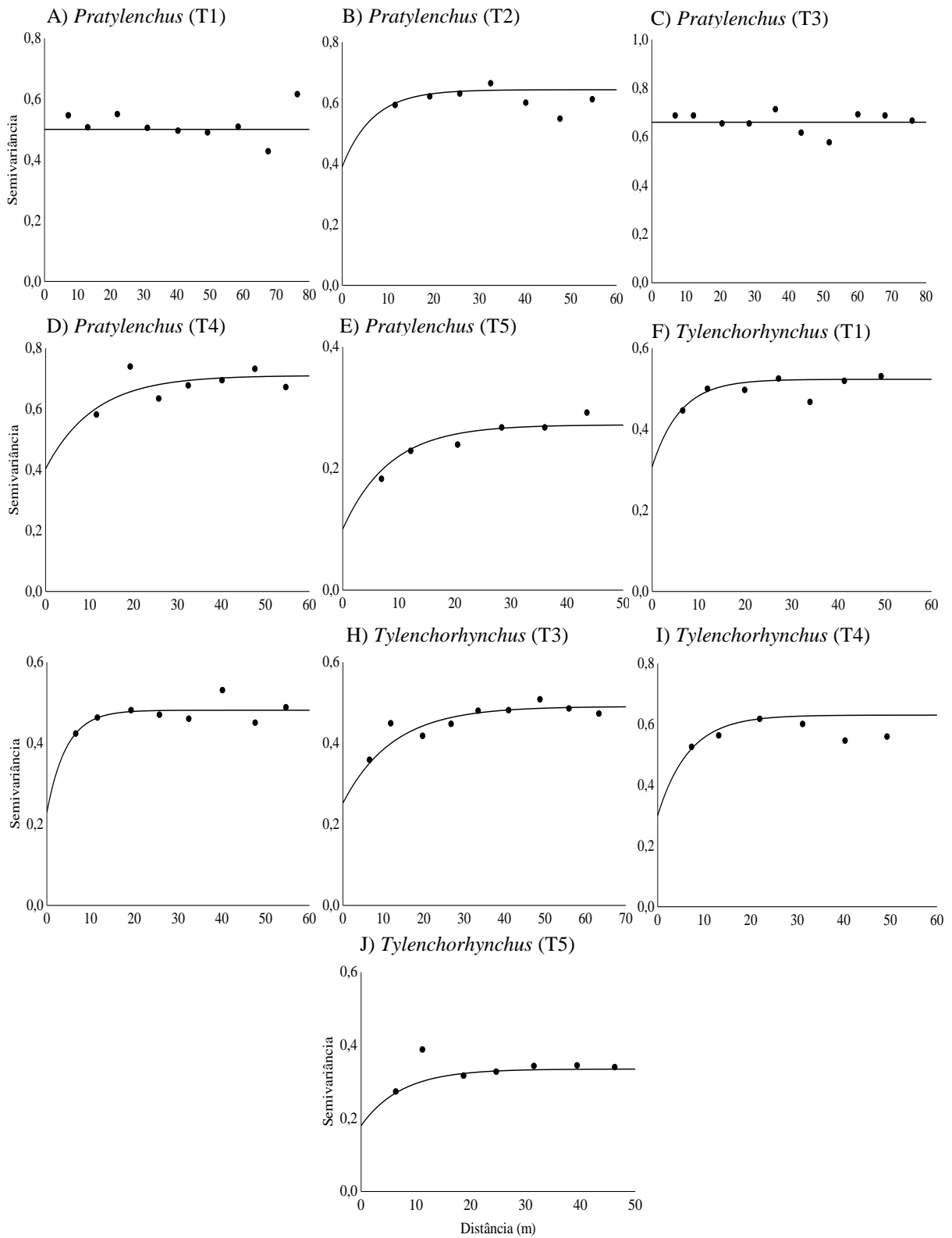
Prop – Propriedades; Ca - Ca²⁺ na solução do solo (cmolc L⁻¹); Mg – Mg²⁺ na solução do solo (cmolc L⁻¹); K – K⁺ na solução do solo (cmolc L⁻¹); Ca_f – Ca na folha (g Kg⁻¹); Mg_f – Mg na folha (g Kg⁻¹); K_f – K na folha (g Kg⁻¹); BFPA – Biomassa Fresca da Parte Aérea; BSPA – Biomassa Seca da Parte Aérea; Perf. – Número de Perfilhos; C₀ – Efeito pepita; C₁ – Soleira; a – Alcance; R² - Coeficiente de determinação; Mod – Moderado; DP – Desvio Padrão

Figura 9. Semivariogramas teórico e experimental dos nematoides parasitos de planta no solo em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba-PB.



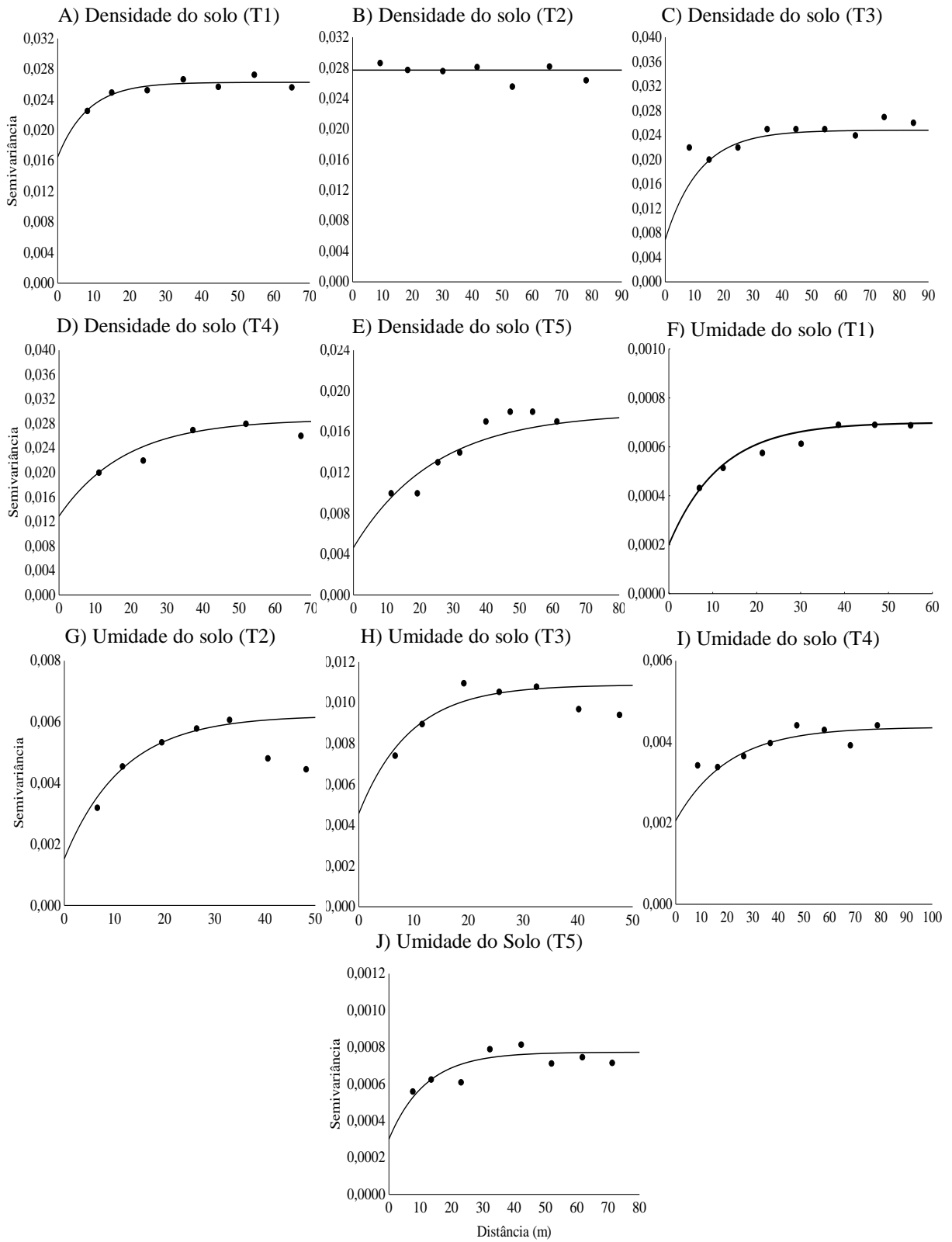
Fonte: Vicente (2016)

Figura 10. Continuação dos semivariogramas teórico e experimental dos nematoides parasitos de planta no solo em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba-PB.



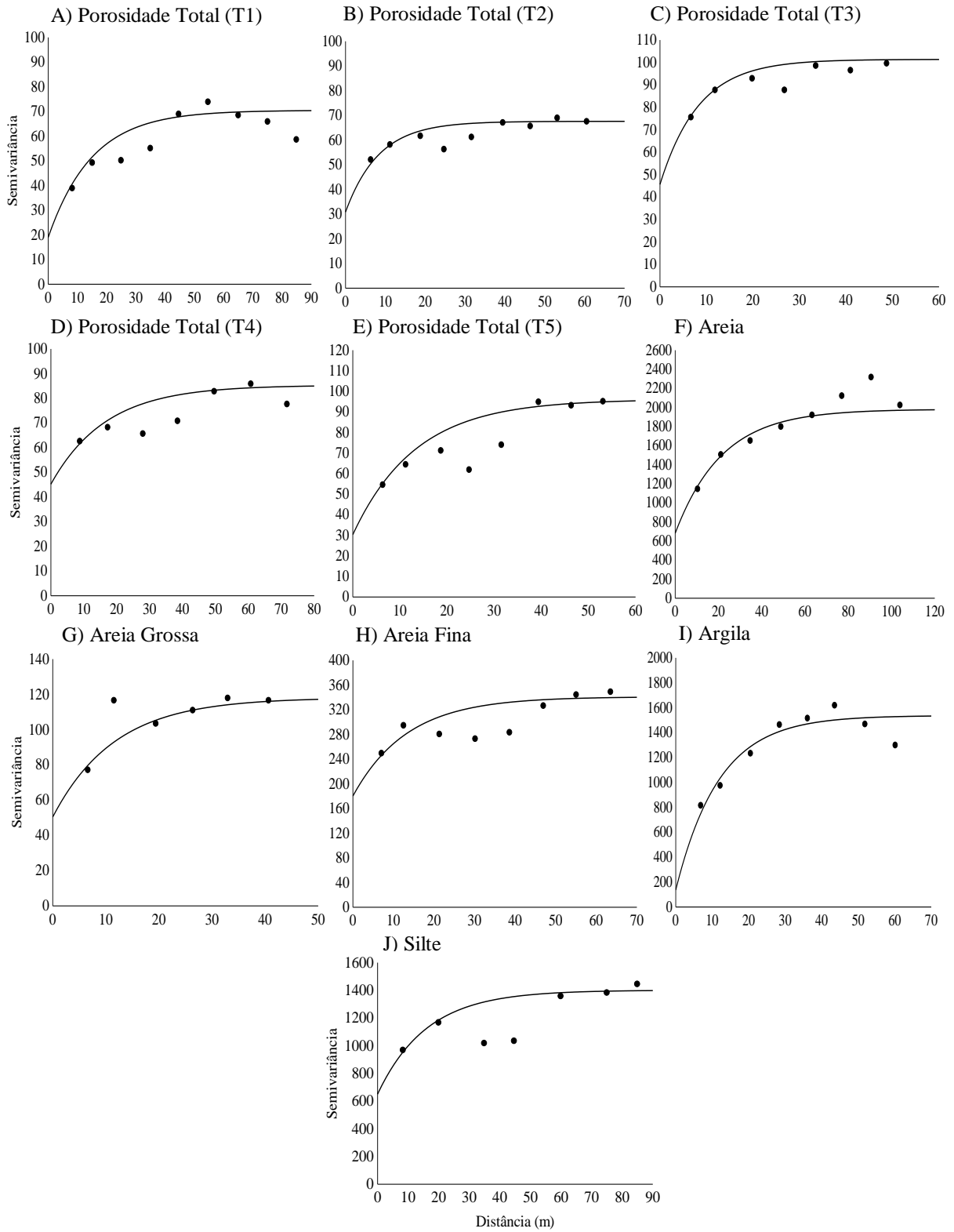
Fonte: Vicente (2016)

Figura 11. Semivariogramas teórico e experimental das propriedades físicas do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba-PB.



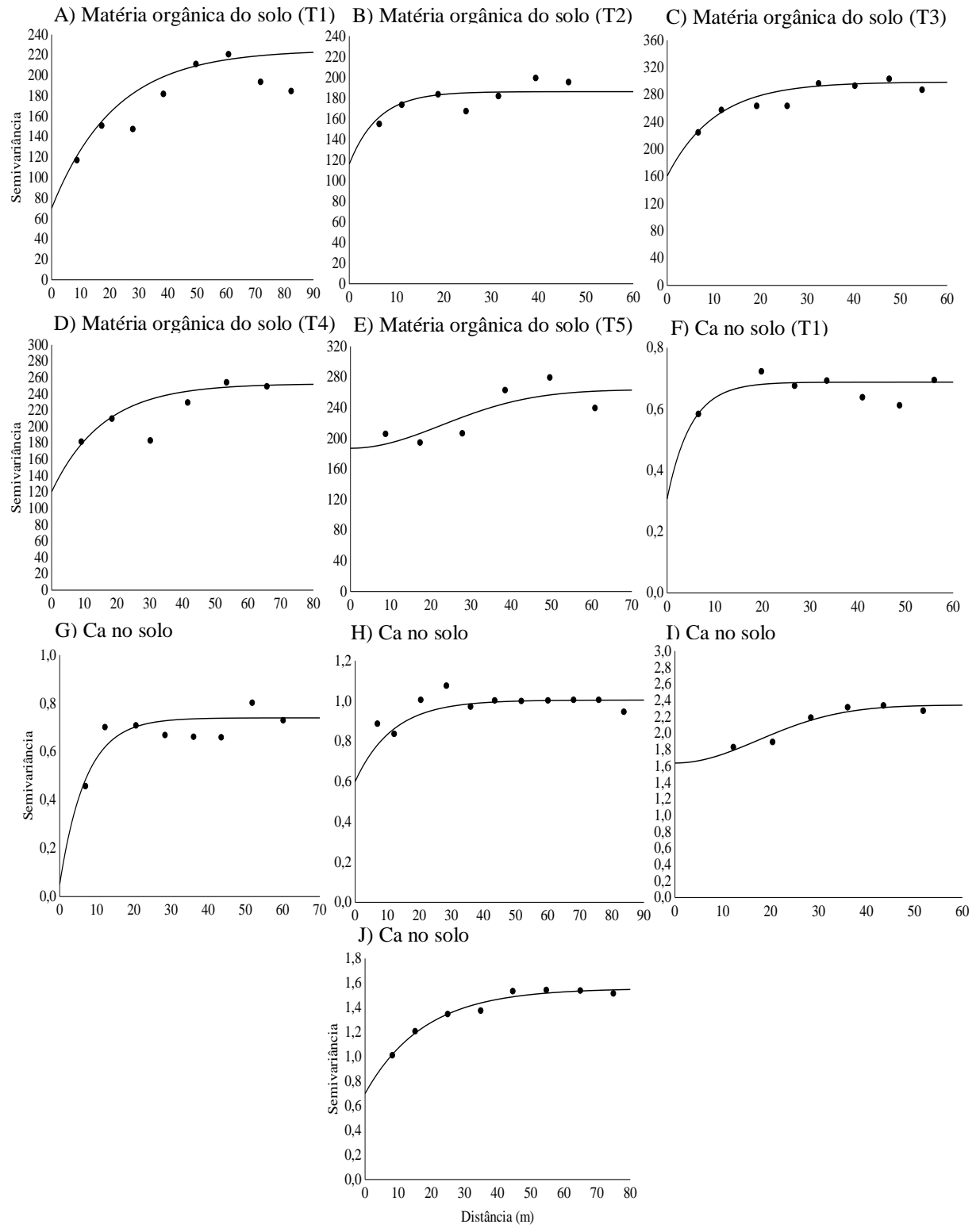
Fonte: Vicente (2016)

Figura 12. Continuação dos semivariogramas teórico e experimental das propriedades físicas do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba-PB.



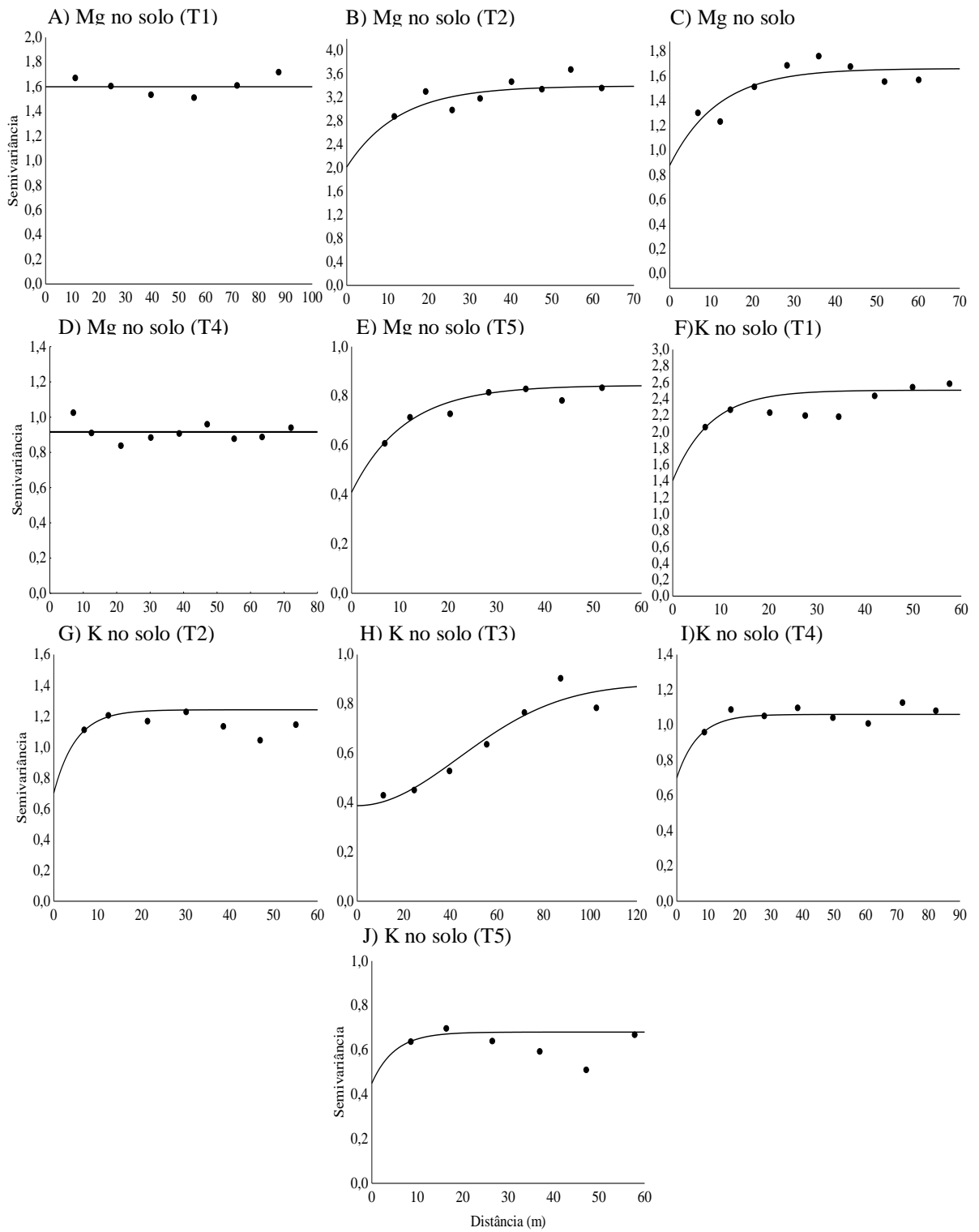
Fonte: Vicente (2016)

Figura 13. Semivariogramas teórico e experimental das propriedades químicas do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba-PB.



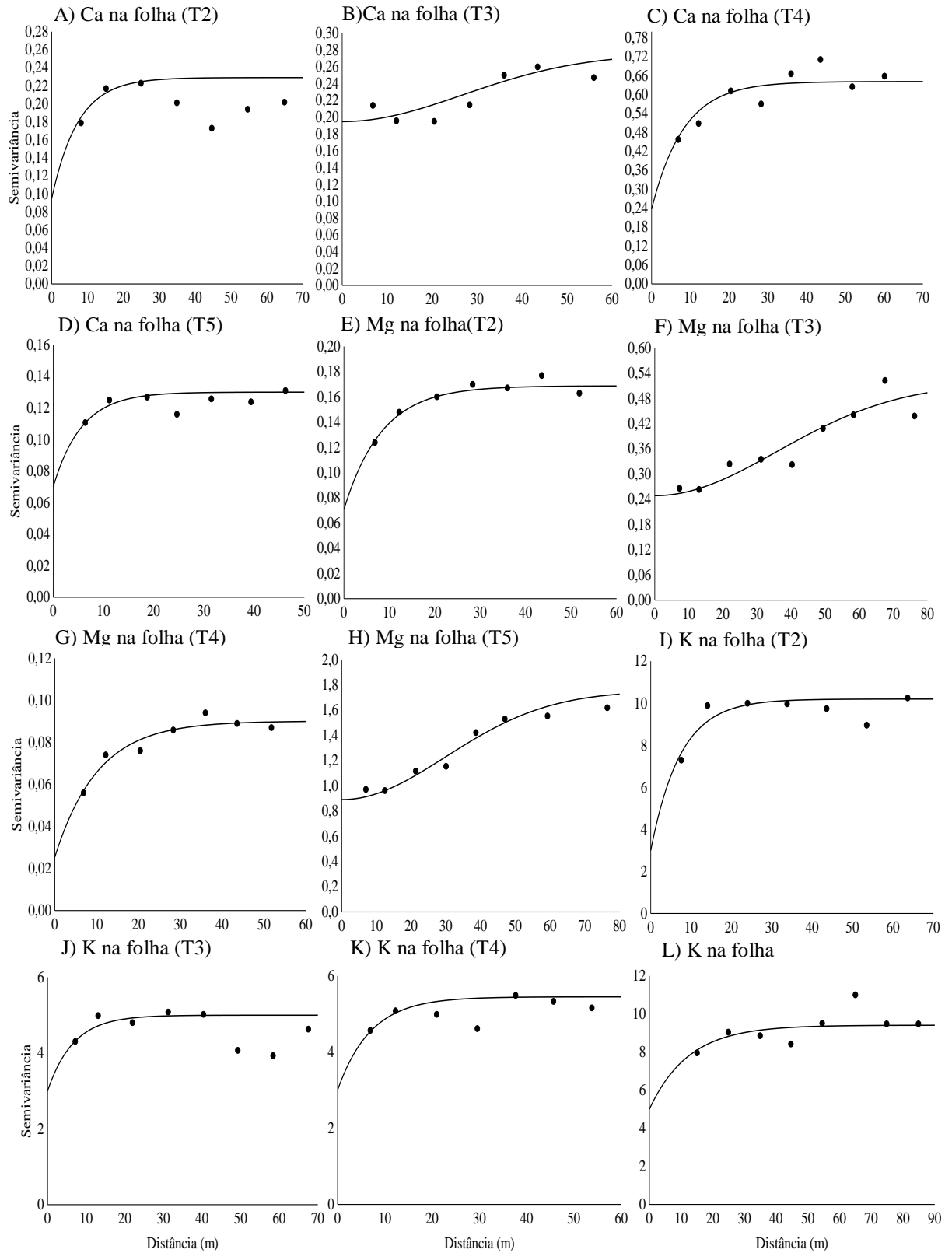
Fonte: Vicente (2016)

Figura 14. Continuação dos semivariogramas teórico e experimental das propriedades químicas do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba-PB.



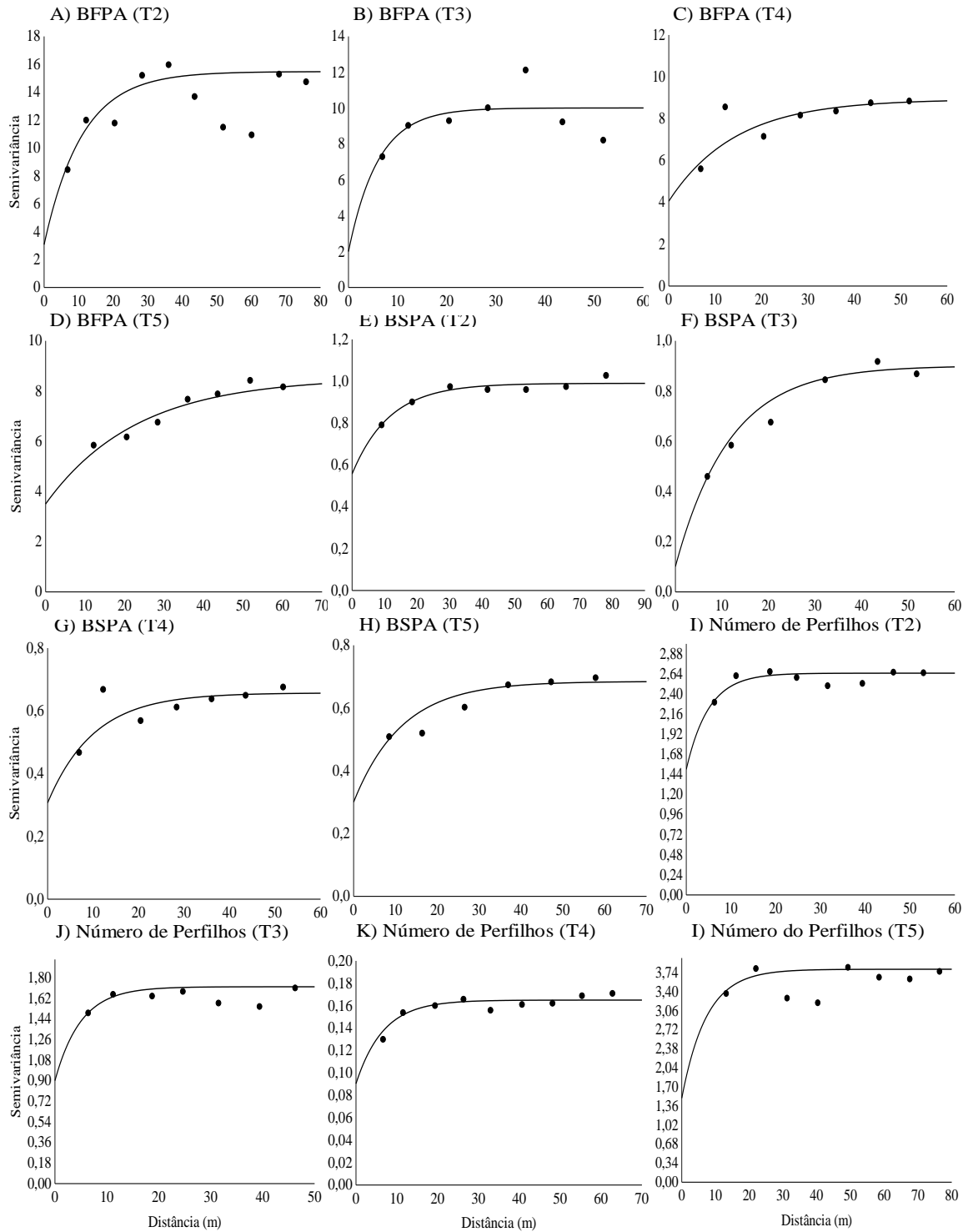
Fonte: Vicente (2016)

Figura 15 - Semivariogramas teórico e experimental dos elementos químicos na folha em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba-PB.



Fonte: Vicente (2016)

Figura16 - Semivariogramas teórico e experimental da Biomassa Fresca da Parte Aérea (BMFPA), da Biomassa Seca da Parte Aérea (BSPA) e do Número de Perfíhos da cana-de-açúcar na Paraíba-PB.



Fonte: Vicente (2016)

6.6 MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DAS VARIÁVEIS DO SOLO, DA FOLHA E DE CRESCIMENTO DA CULTURA

Nos mapas de isolinhas podem-se observar as regiões com maior densidade populacional de nematoides (Figuras 17 a 20), maior concentração das propriedades físicas do solo (Figuras 21 a 24), maior concentração das propriedades químicas do solo (Figuras 25 a 28), elementos químicos na folha (Figuras 29 a 31) e maior concentração da BFPA, BSPA e número de perfilhos (Figuras 32 a 34).

Analisando as figuras 17 a 20 referentes à distribuição dos nematoides parasitos de planta, observa-se que se encontram bem distribuídos durante os cinco períodos de amostragem (T1, T2, T3, T4 e T5). Pode-se observar que *Pratylenchus* no T4 e T5 (Figura 19) se concentra nas regiões de menor densidade (Figura 21) e maior umidade do solo (Figura 22). Além disso, observa-se também que o aumento da densidade populacional de *Pratylenchus* (Figura 19) possivelmente tem relação com a diminuição da MOS ao longo dos cinco períodos de amostragem (APÊNDICE A e Figura 25), pois estes nematoides se concentram nas regiões onde possuem menor concentração de MOS.

A análise conjunta às figuras 17 a 20 referentes à distribuição espacial e temporal dos nematoides no solo, e das figuras 25 a 31 referentes às propriedades químicas do solo e dos elementos químicos na folha, pode-se verificar que existem algumas relações entre estas variáveis. Como a exemplo de *Helicotylenchus* e Ca^{2+} no solo, Ectoparasitos, Ca^{2+} no solo e Mg na folha no T2, *Tylenchorhynchus* e Ca^{2+} na folha no T2, T3 e T4, *Tylenchorhynchus* e K^+ no solo no T2, T3 e T4.

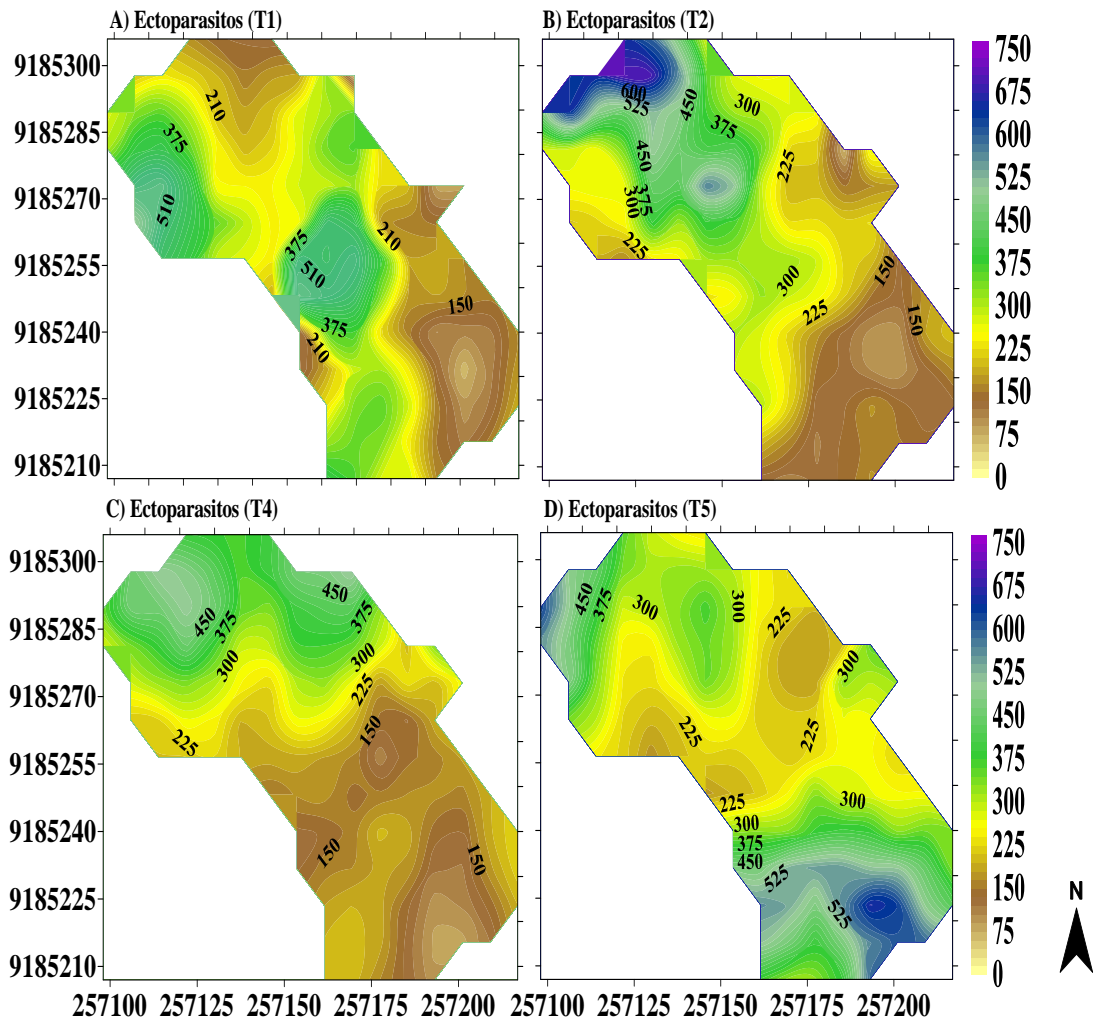
Comparando os mapas dos nematoides parasitos de planta (Figuras 17 a 20) e MFPA, MSPA e número de perfilhos (Figuras 32 a 34), pode-se verificar relações entre ectoparasitos e MFPA e MSPA e número de perfilho no T2, no T4 entre *Helicotylenchus* e MSPA e número de perfilhos e *Tylenchorhynchus* e número de perfilhos, enquanto que no T5 *Helicotylenchus* e *Pratylenchus* obtiveram relações com MSPA e MFPA. Evidenciando que apesar não serem encontradas correlações entre estas variáveis os mapas mostraram que as correlações existem.

A figura 22 mostra a variação da umidade do solo nos cinco períodos de amostragem, onde se observa que a umidade encontra-se bem distribuída na época T1 em toda a área, no entanto diminui com a falta de chuvas no T2 e T3, e torna a aumentar no T4 e T5, coerente com os períodos de concentração de chuvas da região (SANTOS et al., 2009). O K^+ no solo (Figura 28) encontra-se bem distribuído no período T1, porém com o plantio da cana, a partir

do período T2 até o T5 nota-se a diminuição gradativa do elemento no solo, devido à absorção pela cultura.

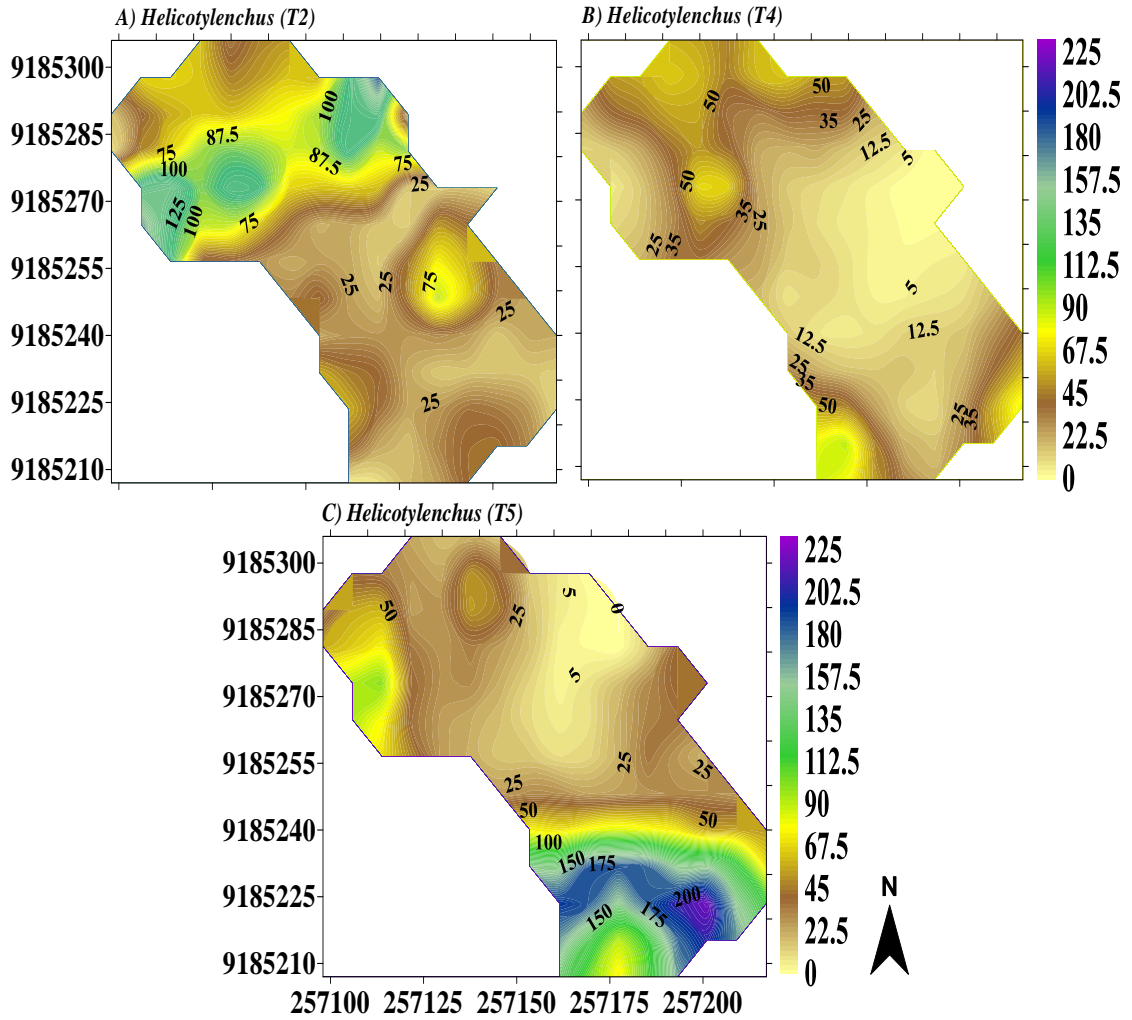
O elemento Ca na folha (Figura 29) apresenta maior absorção pela cultura na época T5 e a época de menor absorção é a T3. Para o Mg na folha (Figura 30) se observa o contrário, o período de maior absorção do elemento pela cultura é a época T3. A cana diminuiu a absorção do K na época T3, mas tornou o processo de absorção do elemento no T4. Comparando os mapas representados das figuras 25 a 28 com as figuras 29 a 31 observamos que existe relação entre todas as variáveis no solo e na planta visto que todos estes elementos encontrados no solo fazem parte do desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Figura 17 - Mapas de isolinhas representando os nematoides ectoparasitos no solo em quatro períodos de amostragem.



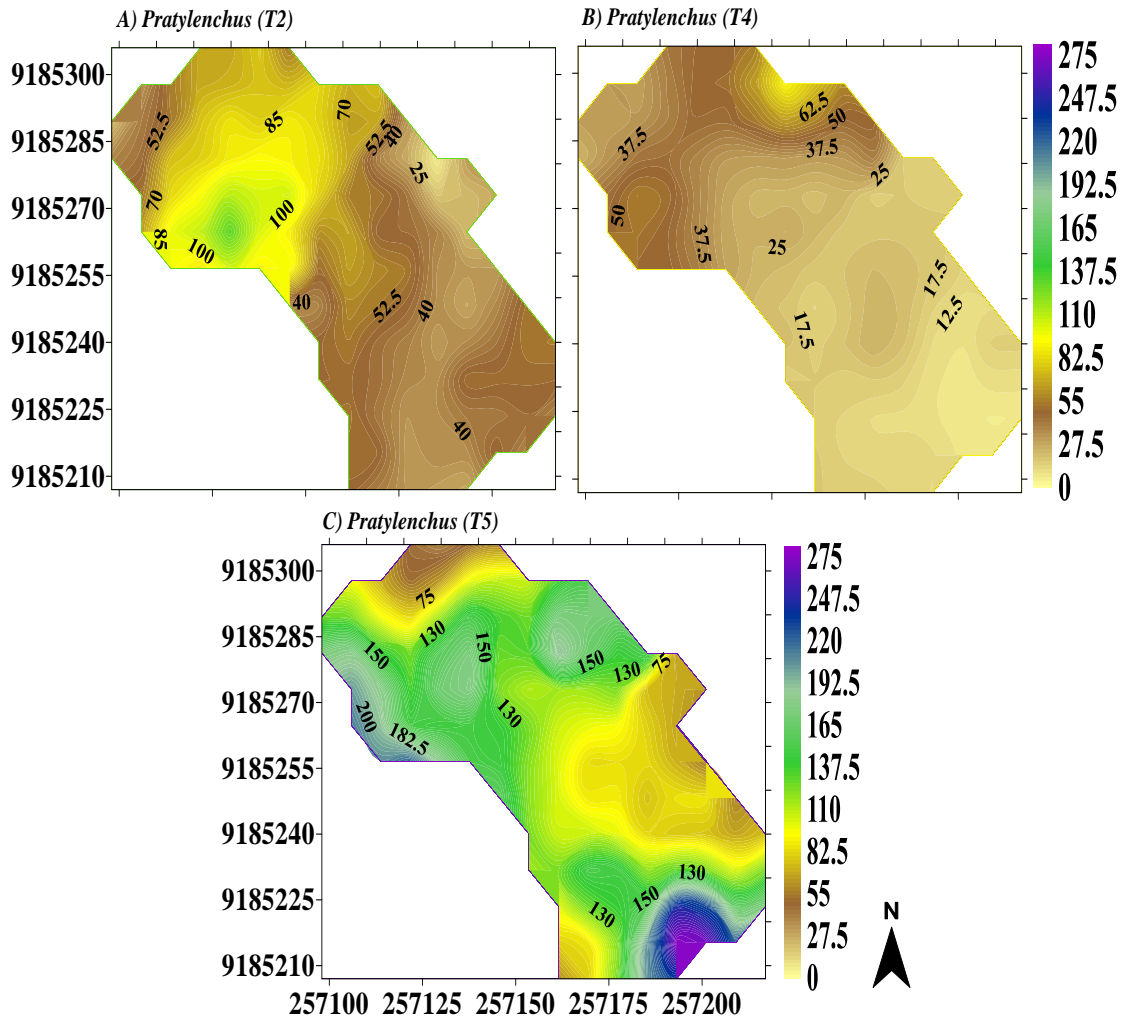
Fonte: Vicente (2016)

Figura 18 - Mapas de isolinhas representando os nematoides *Helicotylenchus* no solo em três períodos de amostragem.



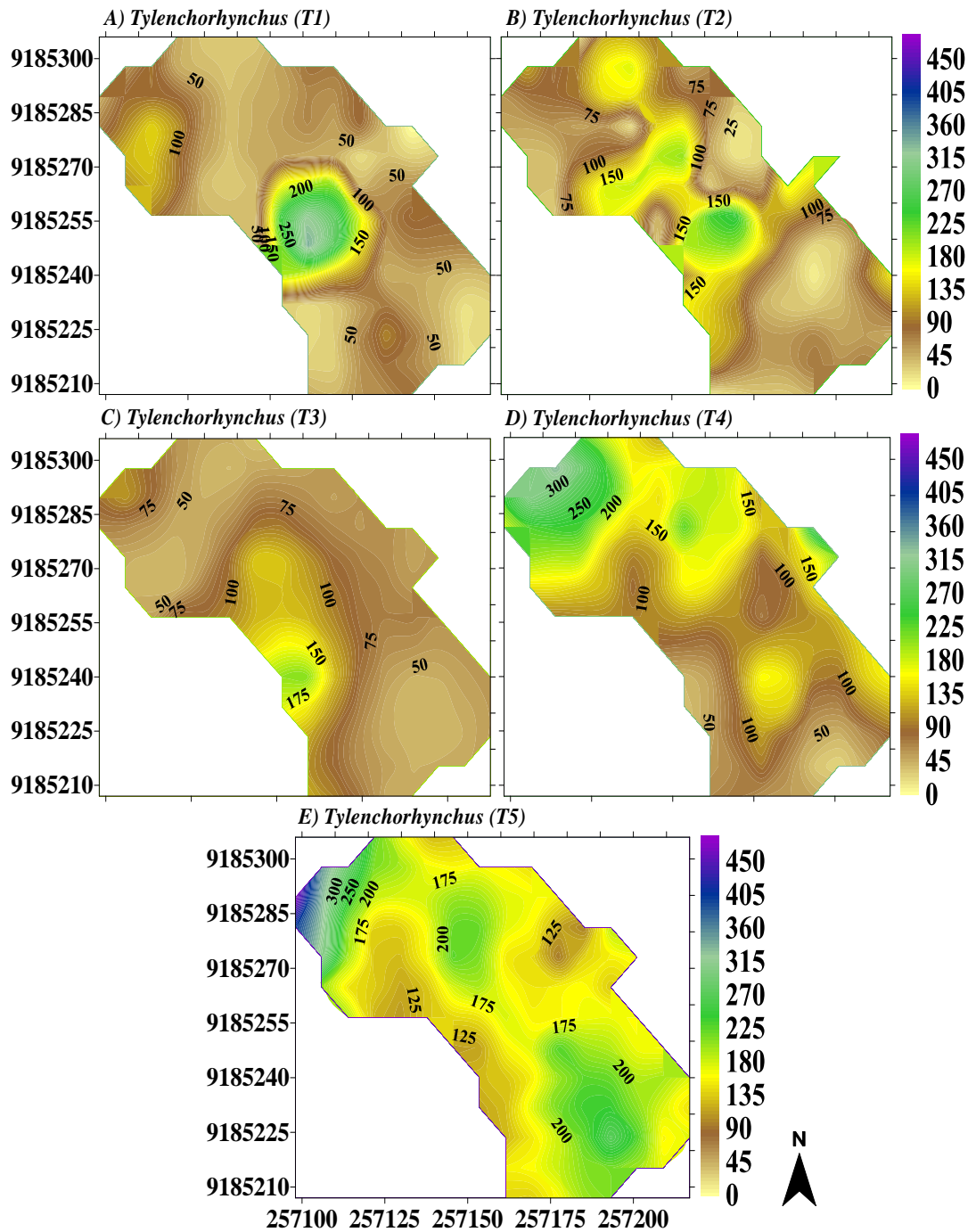
Fonte: Vicente (2016)

Figura 19 - Mapas de isolinhas representando os nematoides *Pratylenchus* no solo em três períodos de amostragem.



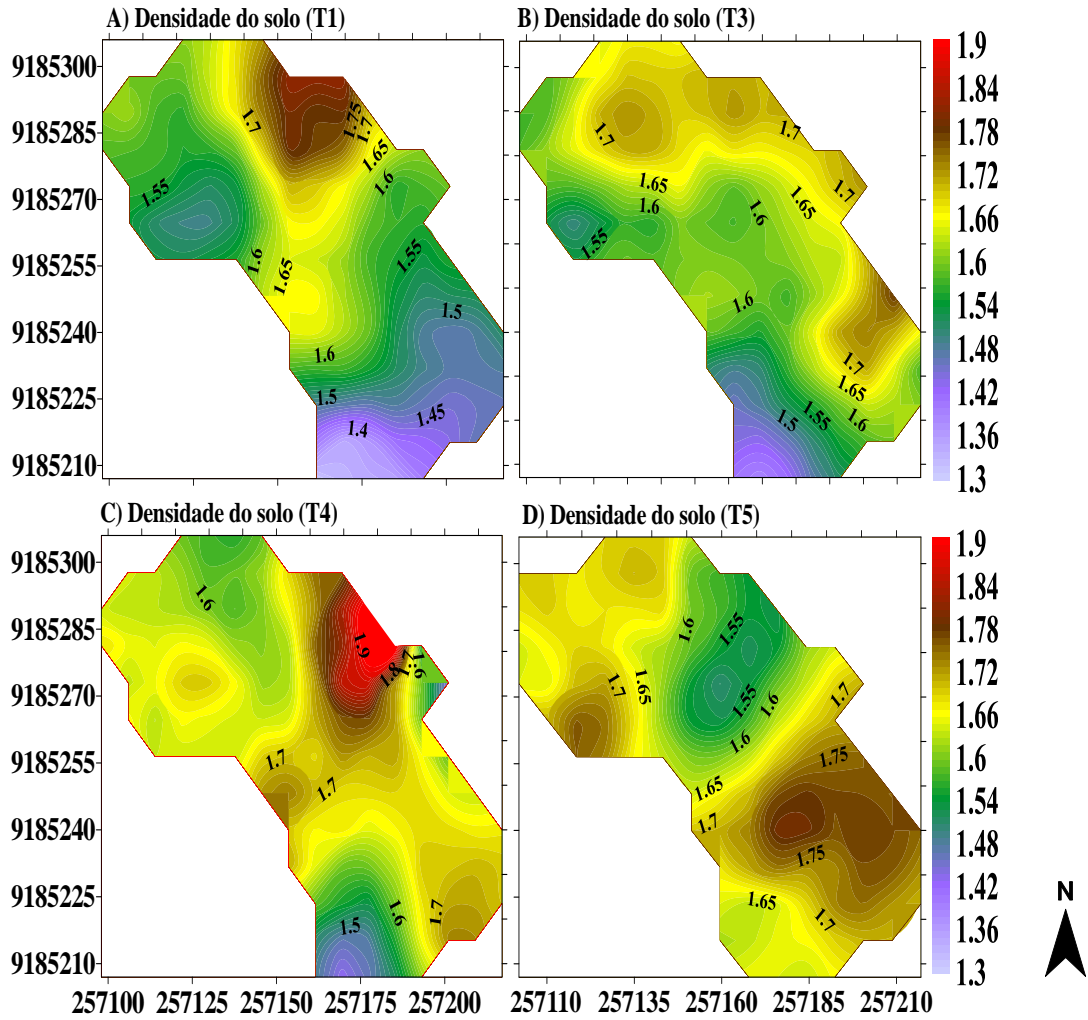
Fonte: Vicente (2016)

Figura 20 - Mapas de isolinhas representando os nematoides *Tylenchorhynchus* no solo nos cinco períodos de amostragem.



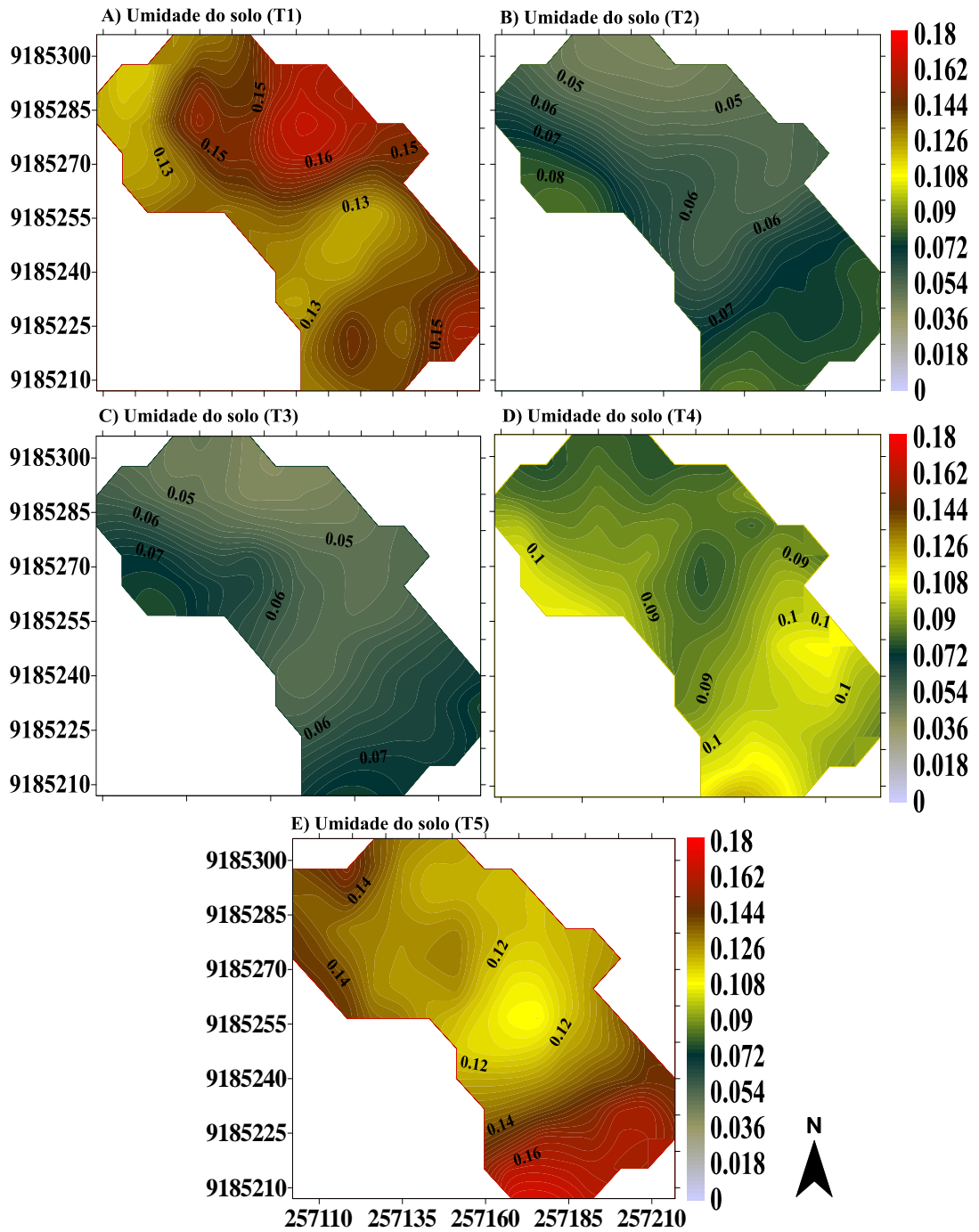
Fonte: Vicente (2016)

Figura 21 - Mapas de isolinhas representando a densidade do solo ($\text{g}\cdot\text{cm}^3$) em quatro períodos de amostragem.



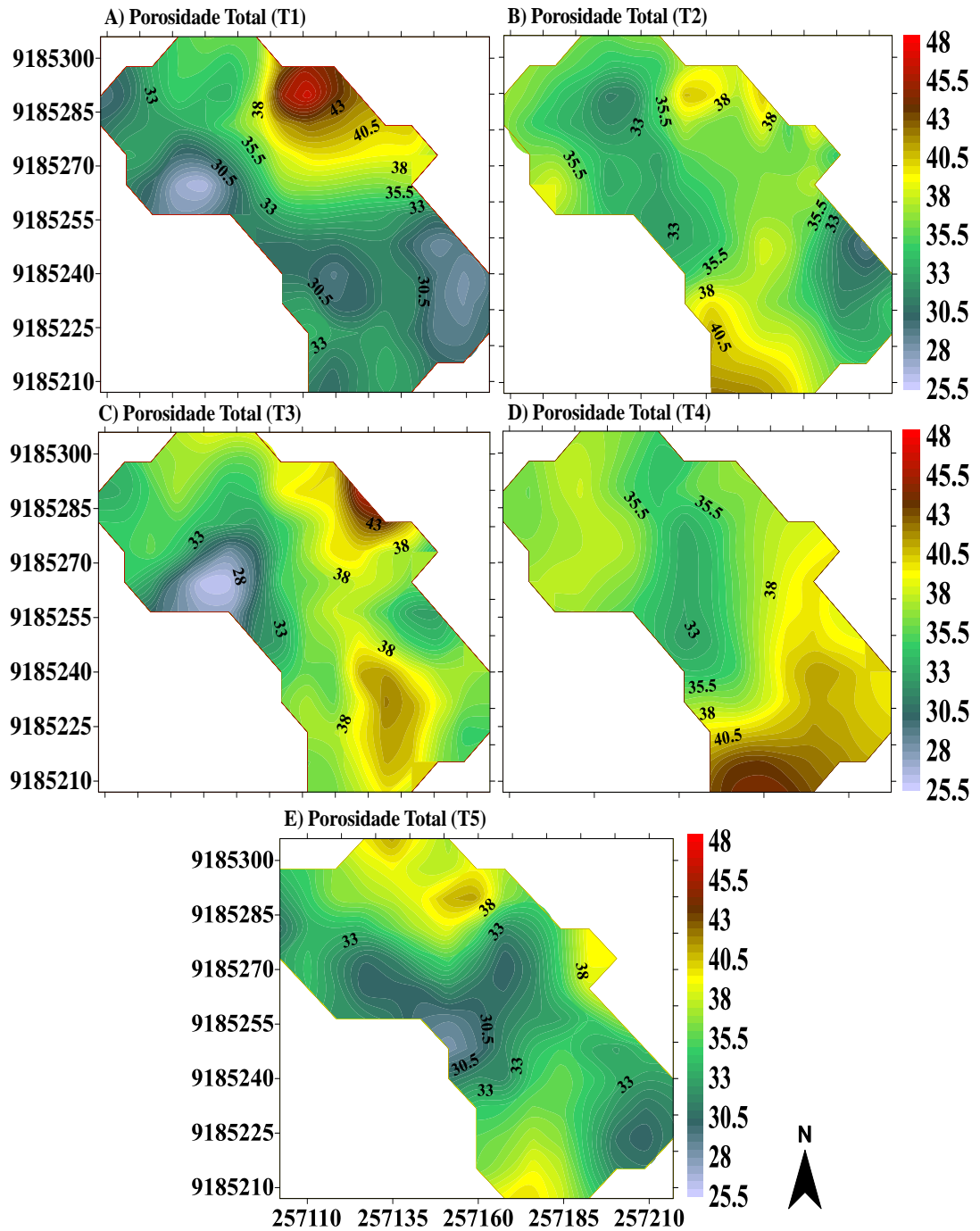
Fonte: Vicente (2016)

Figura 22 - Mapas de isolinhas representando a umidade do solo ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) nos cinco períodos de amostragem.



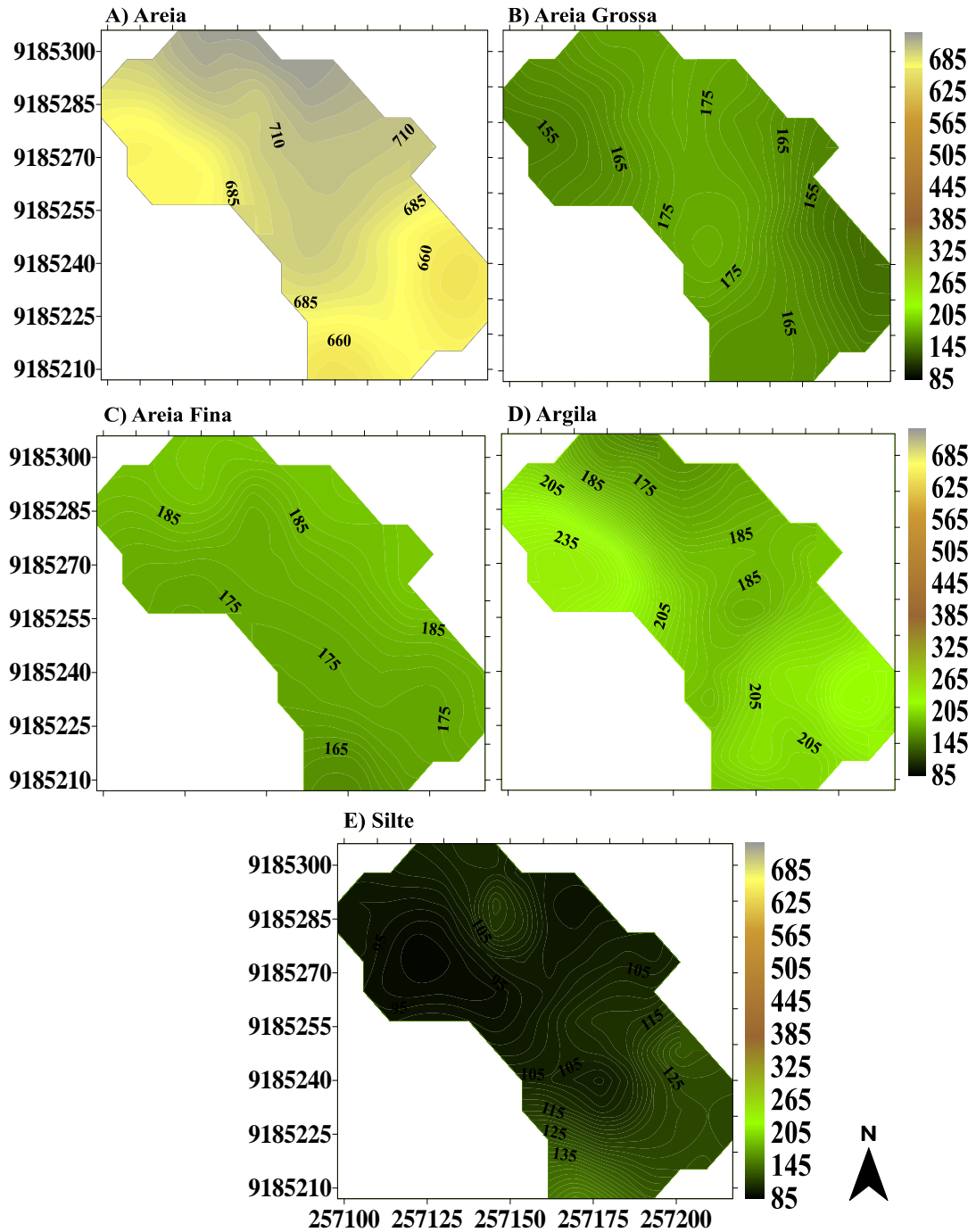
Fonte: Vicente (2016)

Figura 23 - Mapas de isolinhas representando a porosidade total do solo (%) nos cinco períodos de amostragem.



Fonte: Vicente (2016)

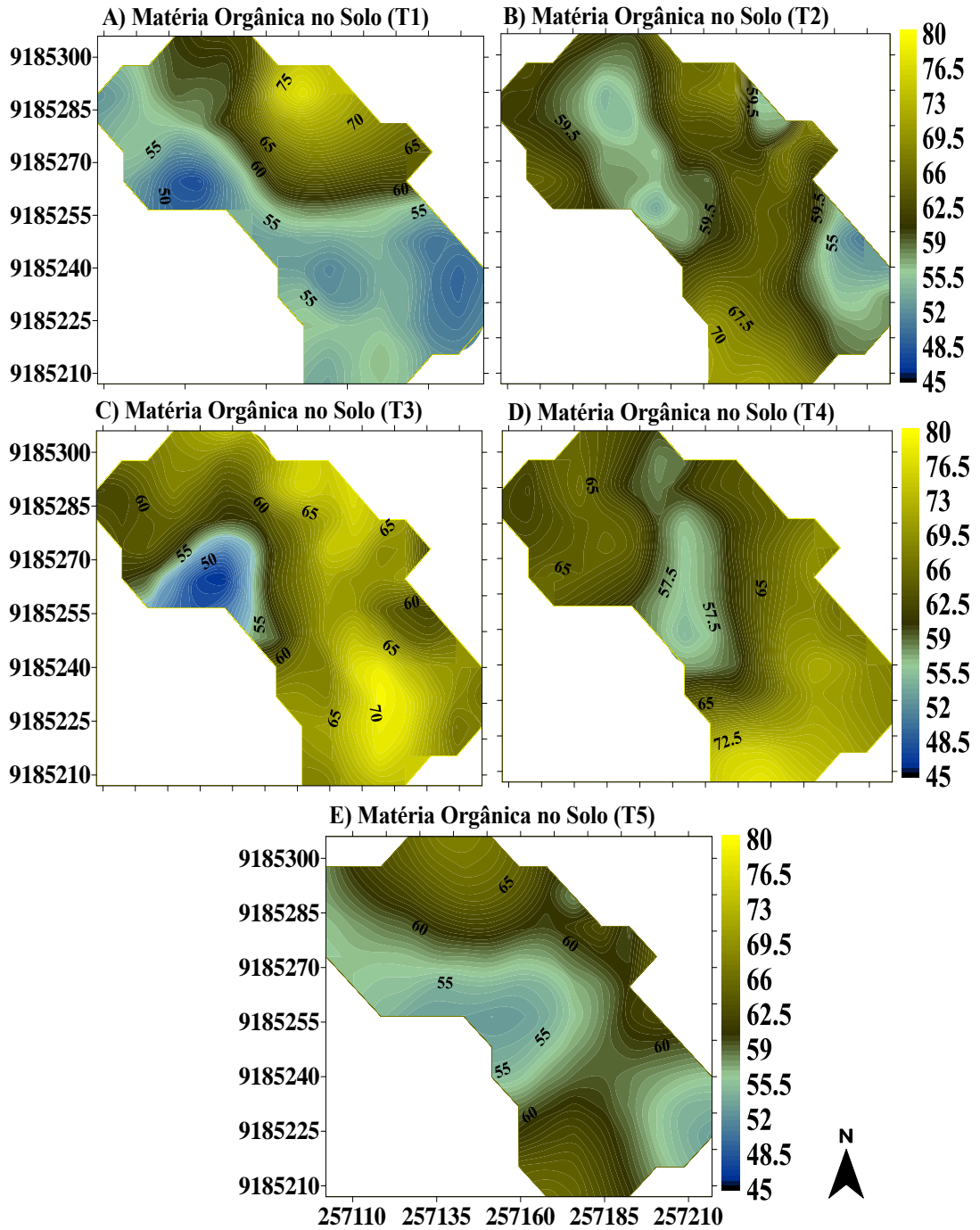
Figura 24 - Mapas de isolinhas representando a textura do solo na área de amostragem.



Fonte: Vicente (2016)

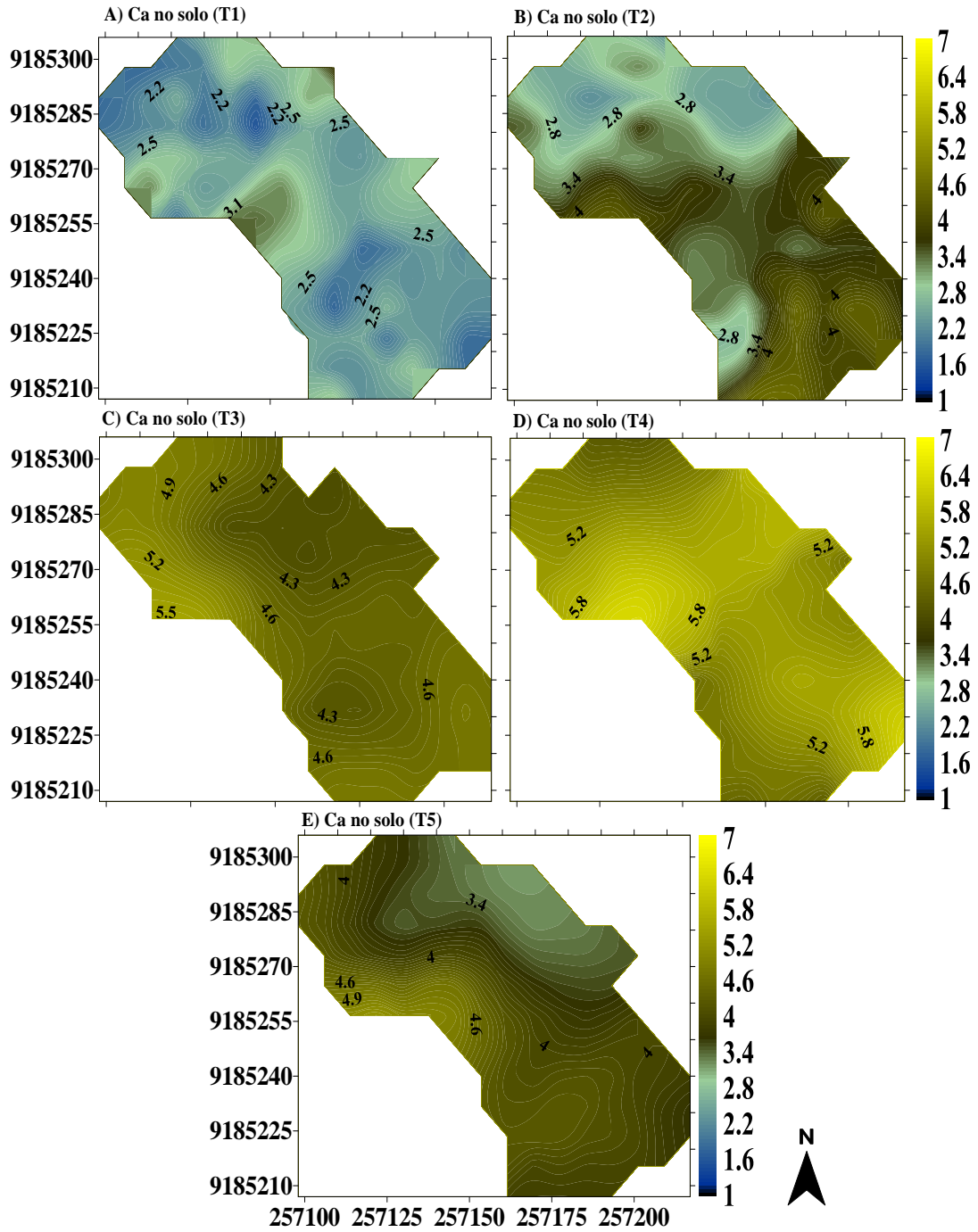
A – Areia (g.kg⁻¹); B – Areia Grossa (g.kg⁻¹); C – Areia Fina (g.kg⁻¹); D – Argila (g.kg⁻¹); E – Silte (g.kg⁻¹).

Figura 25 - Mapas de isolinhas representando a matéria orgânica do solo (%) nos cinco períodos de amostragem.



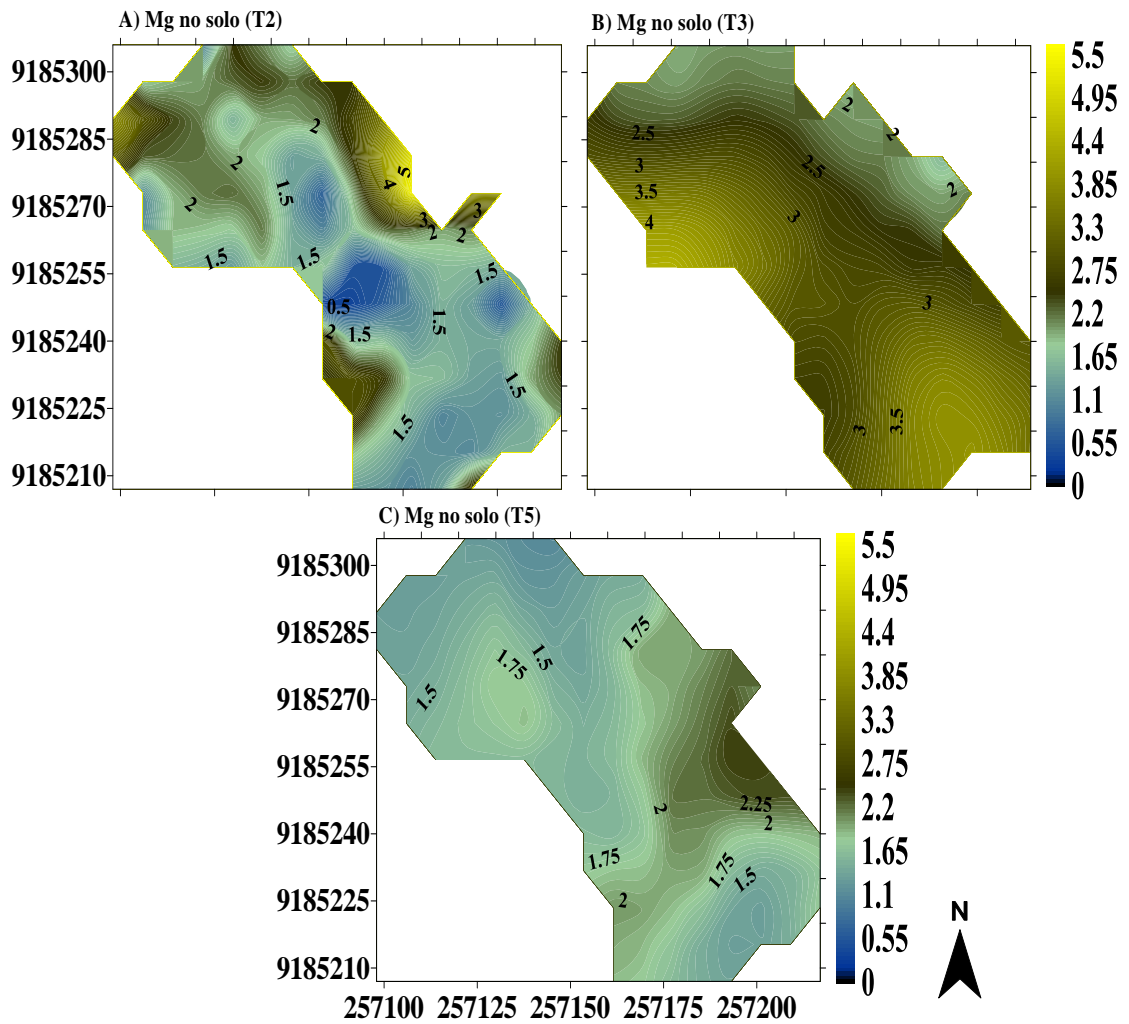
Fonte: Vicente (2016)

Figura 26 - Mapas de isolinhas representando o Ca^{2+} na solução do solo (cmolc L^{-1}) nos cinco períodos de amostragem.



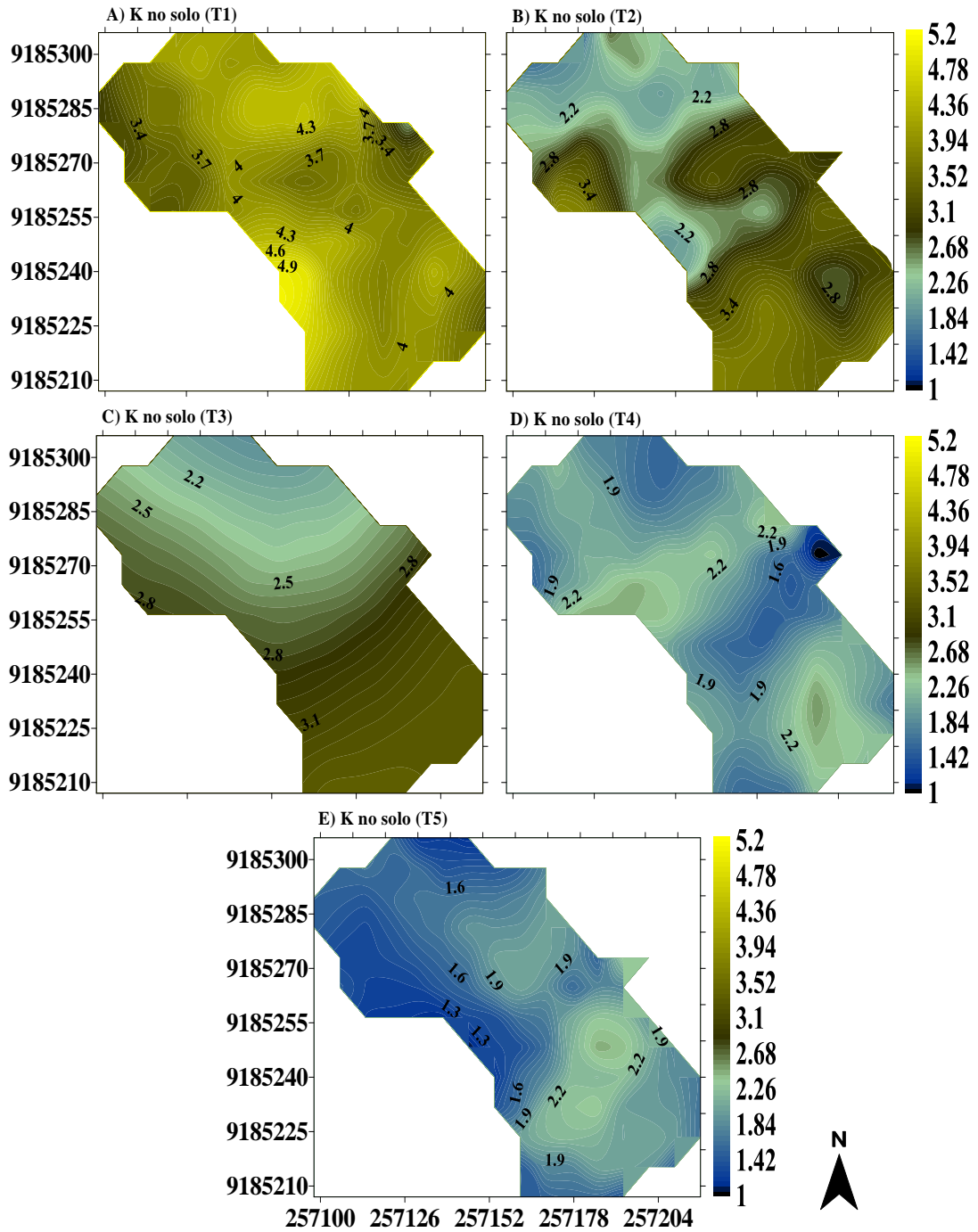
Fonte: Vicente (2016)

Figura 27 - Mapas de isolinhas representando o Mg^{2+} na solução do solo ($cmolc L^{-1}$) no solo em três períodos de amostragem.



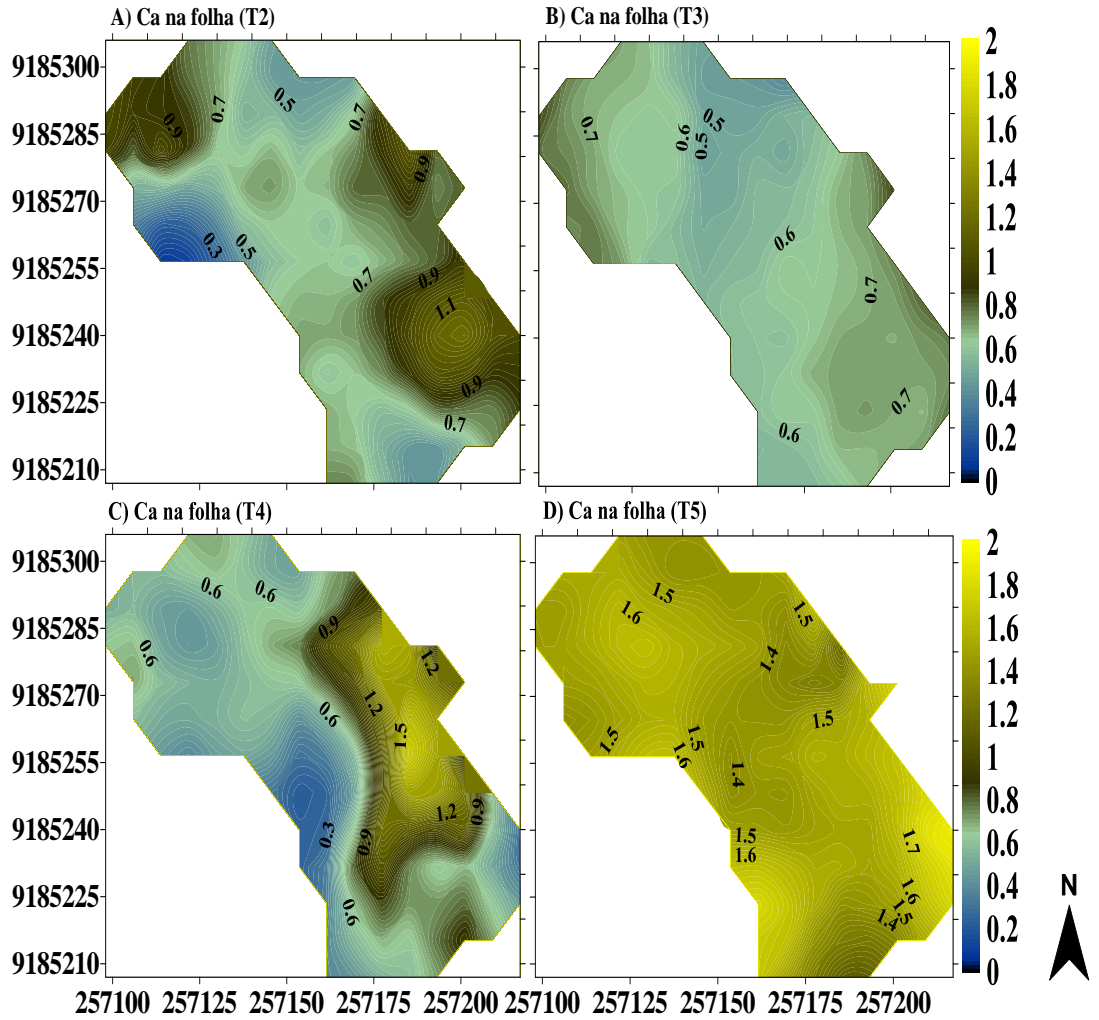
Fonte: Vicente (2016)

Figura 28 - Mapas de isolinhas representando o K^+ na solução do solo (cmolc L^{-1}) no solo nos cinco períodos de amostragem.



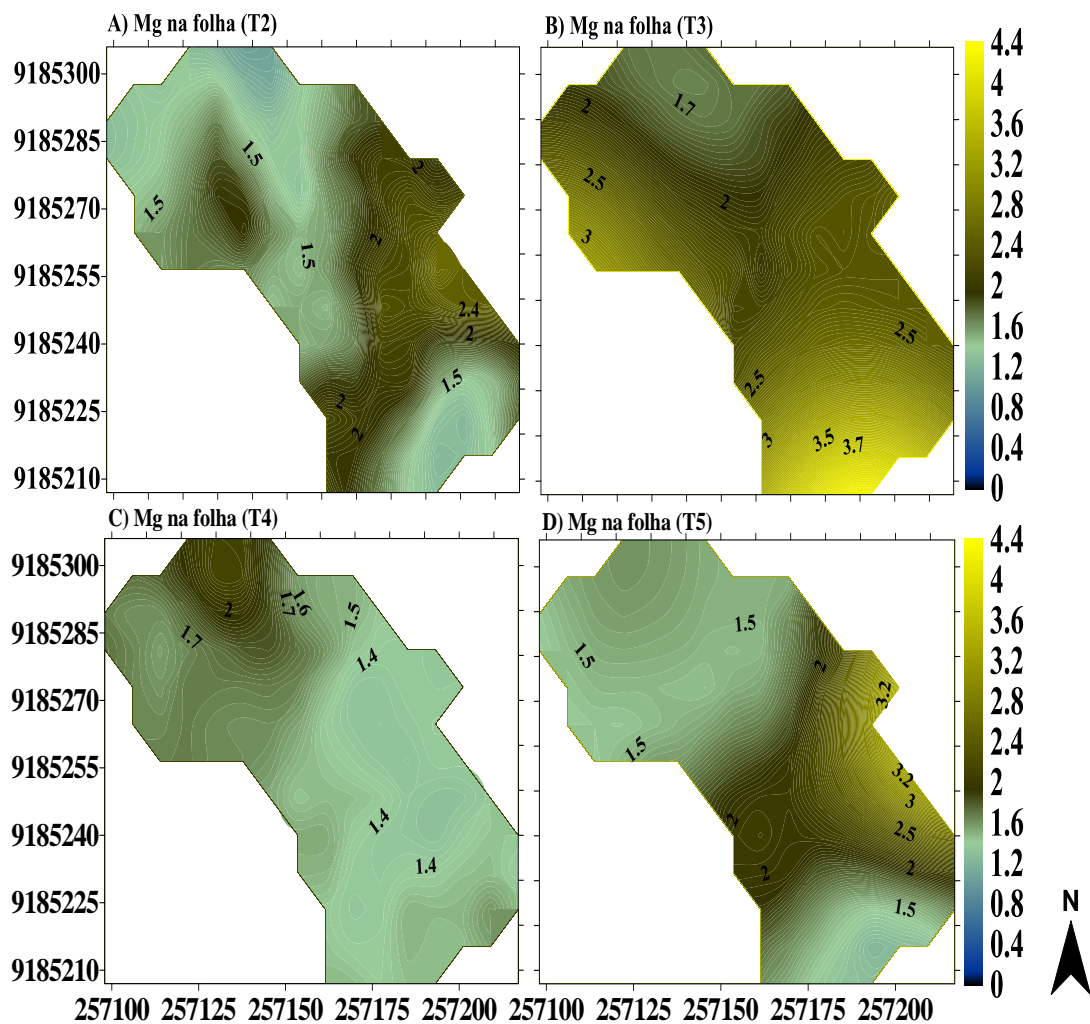
Fonte: Vicente (2016)

Figura 29 - Mapas de isolinhas representando o elemento Ca na folha (g Kg^{-1}) em quatro períodos de amostragem.



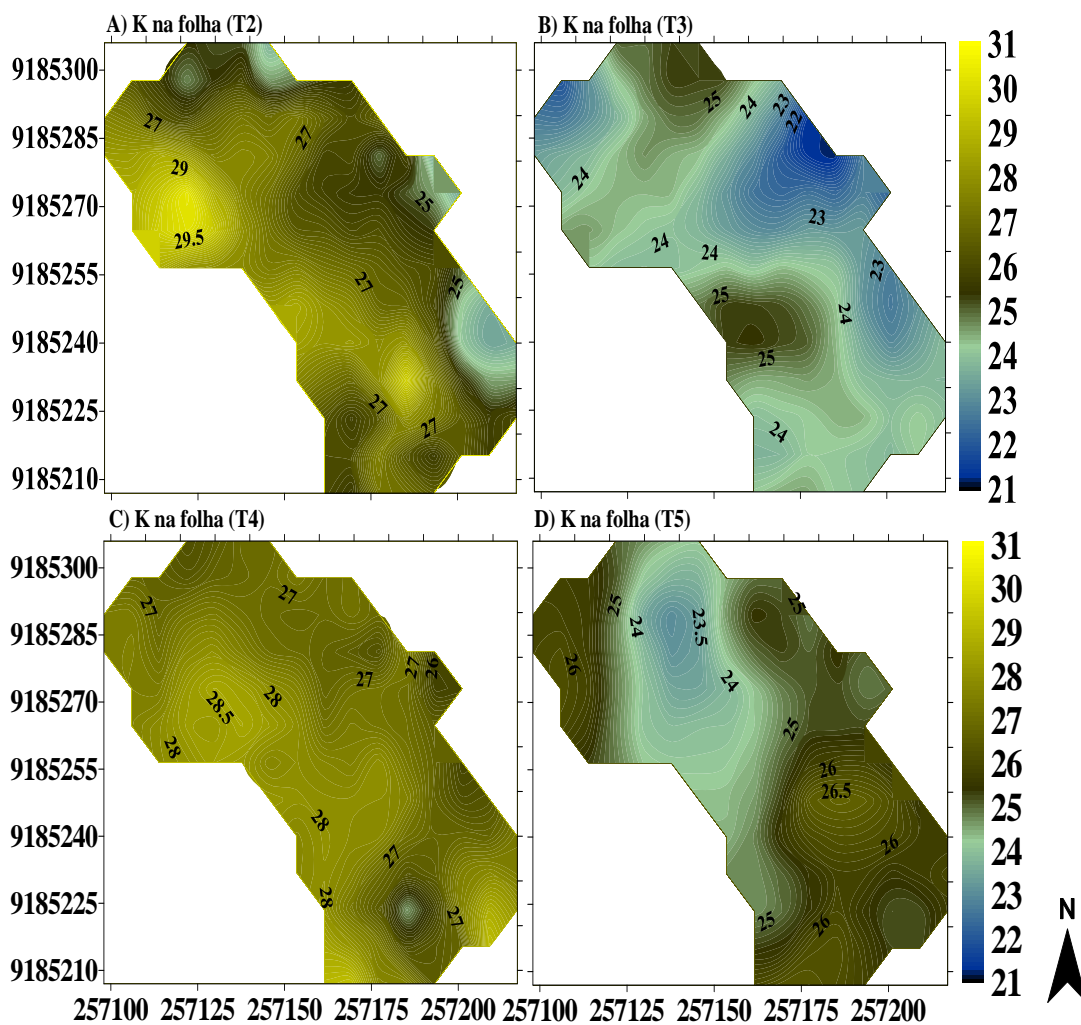
Fonte: Vicente (2016)

Figura 30 - Mapas de isolinhas representando o elemento Mg na folha (g Kg^{-1}) em quatro períodos de amostragem.



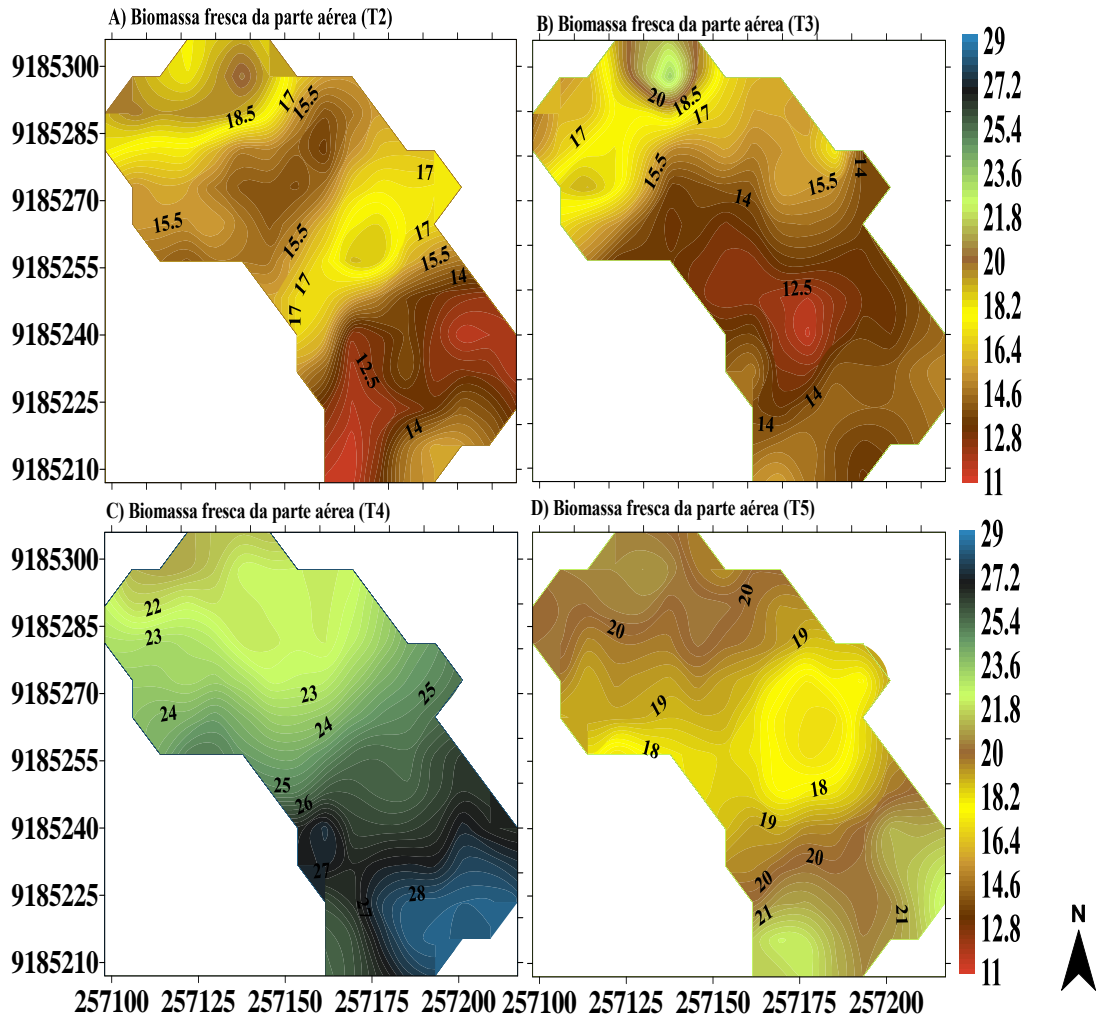
Fonte: Vicente (2016)

Figura 31 - Mapas de isolinhas representando o elemento K na folha (g Kg^{-1}) em quatro períodos de amostragem.



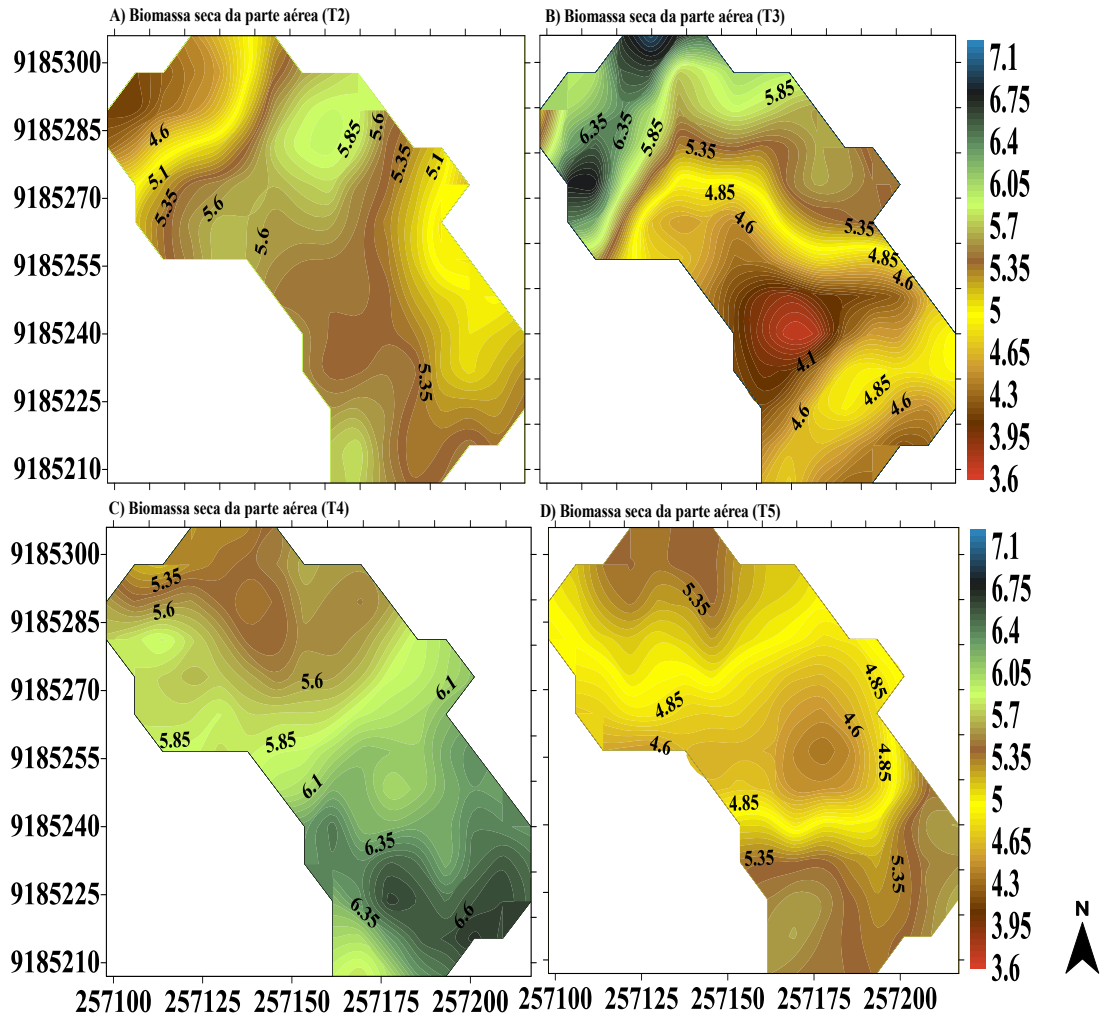
Fonte: Vicente (2016)

Figura 32 - Mapas de isolinhas representando a Biomassa Fresca da Parte Aérea (g) em quatro períodos de amostragem.



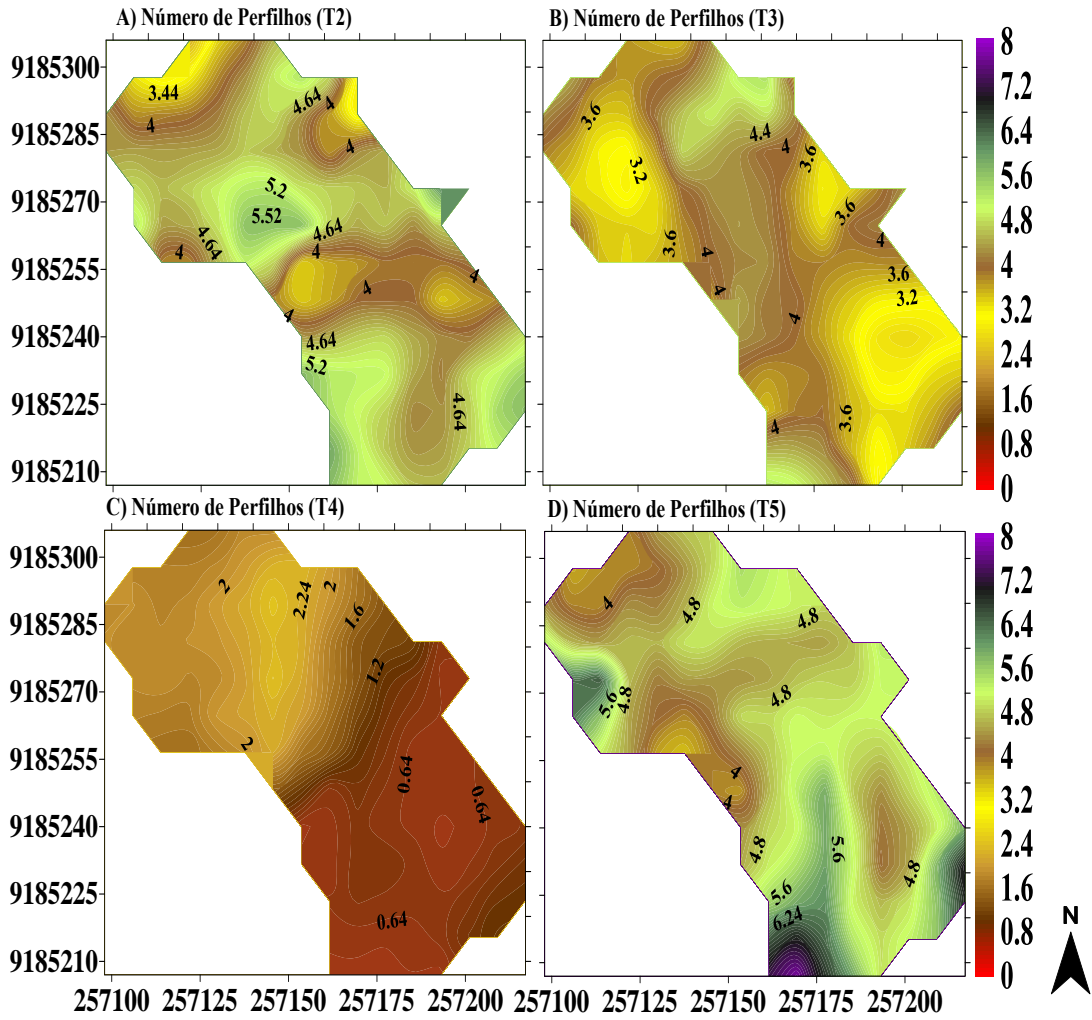
Fonte: Vicente (2016)

Figura 33 - Mapas de isolinhas representando a biomassa seca da parte aérea (g) em quatro períodos de amostragem.



Fonte: Vicente (2016)

Figura 34 - Mapas de isolinhas representando o número de perfis nos quatro períodos de amostragem.



Fonte: Vicente (2016)

7. CONCLUSÕES

- No período do estudo a área se encontrava enriquecida, mesmo por ocasião da colheita quando a cadeia se encontrava em processo de estruturação;
- Os nematoides respondem de formas diferentes às práticas agrícolas, sendo a resposta afetada pelo tempo e adubação, especialmente aplicação de vinhaça, além dos corretivos aplicados durante a reforma do canavial;
- Os índices ecológicos dos nematoides responderam às mudanças provocadas no solo pela adição da vinhaça como também pela diminuição na umidade do solo;
- Os índices de maturidade se mostraram sensíveis às práticas agrícolas e a falta de chuva na área;
- O índice Sigma IM se mostrou mais sensível que o IM nas três primeiras épocas de amostragem;
- As guildas Ba₁ e PP₃ respondem melhor à falta de chuva;
- A decomposição da matéria orgânica ocorre por via bacteriana;
- Os nematoides parasitos de planta são dominantes na área, com destaque para os gêneros *Tylenchorhynchus*, *Pratylenchus*, *Helicotylenchus* e a família Criconematidae;
- Durante o período de reforma do canavial os nematoides parasitos de planta *Helicotylenchus* e *Pratylenchus* se distribuíram de forma aleatória;
- O manejo da área durante o período de reforma do canavial não interferiu na distribuição espacial das propriedades físicas e químicas do solo, a exceção do Mg²⁺ que obteve distribuição aleatória neste período;
- As relações entre os nematoides parasitos de planta e as variáveis químicas do solo e da planta são complexas e se influenciam mutuamente, não havendo, nas condições estudadas, resposta expressiva dos parasitos de planta a uma ou poucas variáveis, mas ao conjunto delas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAD, P. et al. Genome sequence of the metazoan plant-parasitic nematode *Meloidogyne incognita*. **Nature biotechnology**, Nova Iorque, Estados Unidos, v. 26, n. 8, p. 909-915, 2008.
- AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**. 5th ed. Califórnia: Elsevier academic press, 2005. 948 p.
- ALMEIDA, E. J.; SANTOS, J. M.; MARTINS, A. B. G. Influência do parasitismo pelo nematoide de galhas nos níveis de nutrientes em folhas e na fenologia de goiabeira ‘Paluma’. **Bragantia**, Campinas, São Paulo, v. 70, p. 876-881, 2011.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, Alemanha, v. 22, n. 6, p.711-728, 2013.
- ALVAREZ, F. C. **El registro agronômico de Clementes y su aplicacion em Venezuela**. Caracas: Ministério da Agricultura y Cria, 1975. 125 p.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, Minas Gerais, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.
- ARCIA, M. A. et al. Effect of *Meloidogyne incognita* and *Meloidogyne javanica* on boron deficiency in plants of burley tobacco (*Nicotiana tabacum*). **Nematropica**, Flórida, Estados Unidos, v. 6, n. 2, p. 63-67, 1976.
- ARIEIRA et al. Responses of free-living and plant-parasitic nematodes to sugarcane crop in two soils. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, Pernambuco, v.8, n.4, p.570-575, 2013.
- ASANO, S.; MOURA, R. M. Efeitos dos macro e dos micronutrientes na Severidade da Meloidoginose da Cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, São Paulo, v. 19, p. 15-20, 1995.
- ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA. **Conceitos e Tecnologias**, 2015. Disponível em: <http://www.cogen.com.br/cog_conceito.asp>. Acesso em: 20 jun. 2015.
- BARROS, P. A. **Variabilidade espacial de atributos químicos e biológicos do solo sob cultivo de cana-de-açúcar**. 2010. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- BASTOS, J. B. V. **Avaliação de mecanismos de incentivo à cogeração de energia a partir do bagaço da cana de açúcar em uma planta química brasileira de soda-cloro**. 2011. 247 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BELLAFIORE, S. et al. Direct identification of *Meloidogyne incognita* secreto-me reveals proteins with host cell reprogramming potential. **Plos Pathology**, Califórnia, Estados Unidos, v. 4, p. e1000192, 2008.

- BIEDERMAN, L. A.; BOUTTON, T. W. Spatial variation in biodiversity and trophic structure of soil nematode communities in a subtropical savanna parkland: Responses to woody plant encroachment. **Applied Soil Ecology**, v. 46, p. 168-176, 2010.
- BIRD, A. F.; BROWNELL, P. F. Growth of a nematode in tomato plants on sodium-deficient water culture. **Nature**, v. 189, p. 418-419, 1961.
- BONGERS, T.; ALKEMADE, R.; YEATES, G. W. Interpretation of disturbance-induced maturity decrease in marine nematode assemblages by means of maturity index. **Marine Ecology Progress Series**, v. 76, p. 135-142, 1991.
- BONGERS, T.; BONGERS, M. Functional diversity of nematodes. **Applied Soil and Ecology**, v. 10, p. 239-251, 1998.
- BONGERS, T. et al. Proposed changes of c-p classification for nematodes. **Russian Journal of Nematology**, v.3, p.61-62, 1995.
- BONGERS, T.; FERRIS, H. Nematode Community structure as a bioindicator in environmental monitoring. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 14, p. 224-228, 1999.
- BONGERS, T.; KORTHALS, G. The Behaviour of MI and PPI under enriched conditions. **Nematologica**, v. 41, p. 286, 1995.
- BONGERS, T.; KORTHALS, G. The Maturity Index, an instrument to monitor changes in the nematode community structure. Summaries of the 45th International Symposium on Crop Protection, May 4, 1993. Ghent, Belgium. 80.
- BONGERS, T. The Maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. **Oecologia**, v. 83, p.14-19, 1990.
- BONGERS, T. The Maturity Index, the evolution of nematode life history traits, adaptive radiation and cp-scaling. **Plant and Soil**, v.212, p.13-22, 1999.
- BONGERS, T.; van der MEULEN, H.; KORTHALS, G. Inverse relationship between the nematode maturity index and plant parasite index under enriched nutrient conditions. **Applied Soil Ecology**, v.6, p.195-199, 1997.
- BOWMAN, L. A.; ARTS, W. B. M. Effects of soil compaction on the relationships between nematodes, grass production and soil physical properties. **Applied Soil Ecology**, v. 14, p. 213 – 222, 2000.
- BRIAR, S. S. et al. Nematode community responses to a moisture gradient and grazing along a restored riparian corridor. **European Journal of Soil Biology**, v. 50, p. 32-38, 2012.
- CADET, P.; SPAULL, V. W. Nematode parasites of sugarcane. In: LUC, M.; SIKORA, R. A.; BRIDGE, J. (Ed.). **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. Wallingford: CABI, 2005. 17, p. 645-674.
- CAIXETA, L.B.C. et al. Variações no solo e nematofauna após o corte da cana-de-açúcar e aplicação de vinhaça. **Nematopica**, Flórida, Estados Unidos, v. 41, p. 271-280, 2011.

CALDEIRA-PIRES, A. et al. Sustainability of the biorefinery industry for fuel production. **Energies**, Basel, Suíça n. 6, p. 329-350, 2013.

CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Spatial variability of physical attributes of an Alfisol under different hillslope curvatures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Minas Gerais, v. 34, p. 617- 630, 2010.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CARDOSO, M. E. et al. Effects of soil mechanical resistance on nematode community structure under conventional sugarcane and remaining of atlantic forest. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, p. 3529-3544, 2011.

CARDOSO, M. O. et al. Comparing sugarcane fields and forest fragments: the effect of disturbance on soil physical properties and nematode assemblages. **Soil Use and Management**, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2015.

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. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

CARDOSO, M. S. O. **Avaliação da qualidade do solo cultivado com cana-de-açúcar e de fragmentos de floresta atlântica por meio de índices ecológicos e atividade metabólica de nematoides**. 2014. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

CARDOSO, M. S. O. et al. Relationship between nematode assemblages and physical properties across land use types. **Tropical plant pathology**, v. 41, p. 107-114, 2016

CARDOZO, R. B.; ARAÚJO, F. F. Multiplicação de *Bacillus subtilis* em vinhaça e viabilidade no controle da meloidoginose, em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 15, n. 12, p. 1283-1288, 2011.

CASTRO, D. B. **Uso de torta de nim no manejo de fitonematoides em goiabeiras e implicações na variabilidade espacial da nematofauna e atributos do solo**. 2015. 109 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

CHAVES et al. Incidência de *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus* sp. em cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco, Brasil. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 278 – 280, 2009.

CHAVES, A.; PEDROSA, E. M. R.; MOURA, R. M. Efeitos da aplicação de terbufos sobre a densidade populacional de nematoides endoparasitos em cinco variedades de cana-de-açúcar no Nordeste. **Nematologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, p. 167-176, 2002.

CLEMENTS, H. F. Sugarcane nutrition and culture. Indian Institute of Sugar Reseach, Lucknow, Uttar Pradesh, India, 89 p, 1959.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Levantamentos de Safra**. 2015.

Disponível em: <

http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_02_23_17_34_53_boletim_cana_p_ortugues_-_3o_lev_-_15-16.pdf >. Acesso em: 30 dez. 2015.

CORDEIRO NETO, A. T. **Efeito da compactação do solo e da vinhaça no desenvolvimento inicial e nutrição da cana-de-açúcar parasitada por nematoides**. 2012. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

COSTA, C. S. **Efeitos da aplicação de vinhaça nas propriedades físicas, química e população de nematóides do solo coberto com palhço de cana-de-açúcar, sob manejo mecanizado**. 2012. 94 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

COSTA, C. S. et al. Effects of vinasse application under the physical attributes of soil covered with sugarcane straw. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, São Paulo, v. 33, p. 636-646, 2013.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991. 920 p.

DECÄENS, T. Macroecological patterns in soil communities. **Global Ecology and Biogeography**, New Jersey, Estados Unidos, v. 19, p. 287-302, 2010.

de GOEDE, R. G. M.; BONGERS, T. Nematode community structure in relation to soil and vegetation characteristics. **Applied Soil Ecology**, v. 1, p. 29 – 44, 1994.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V. Spatial and temporal variability of plantparasitic nematodes population in sugarcane. **Bragantia**, Campinas, São Paulo, v. 69, p. 39-52, 2010.

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

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

DJIGAL, D. et al. Cover crops alter the soil nematode food web in banana agroecosystems. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 48, p. 142-150, 2012.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, p. 3-11, 2000.

DUYCK, P. F. et al. Niche partitioning based on soil type and climate at the landscape scale in a community of plant-feeding nematodes. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 44, p. 49-55, 2012.

EISENHAUER, N. et al. Changes in plant species richness induce functional shifts in soil nematode communities in experimental grassland. **Plos One**, San Francisco, Estados Unidos, v. 6, p. 1-9, 2011.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Brasília, 2006, 306p.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF, 2009. 627 p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2011. 225 p.

EMÍDIO, Z. P. O.; LANDIM, P. M. B. Análise de superfície de tendência aplicada à chuva, medida por radar meteorológico, nas regiões de Assis e Piracicaba, São Paulo. **Geociências**, SP, v. 27, n. 4, p. 439-449, 2008.

ENGLUND, E.; SPARKS, A. GeoEAS (Geostatistical Environmental Assessment Software). Las Vegas: U. S. Environmental Protection Agency, 1991. EPA/600/4-88/033a, 1991.

FAO. Food and Agricultural commodities production / Countries by commodity. 2016. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/browse/rankings/countries_by_commodity/E>. Acesso em: 25 jan. 2016.

FERREIRA, P. A. et al. Efeito da fertilização e da nutrição de plantas sobre doenças causadas por nematoides. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, Chapadinha, maranhão, v. 6, n. 2, p. 33 - 42, 2012.

FERRIS, H.; BONGERS, T.; DE GOEDE, R. G. M. Nematode faunal analyses to assess food web enrichment and connectance. **Nematology Monographs & Perspectives**, v. 2, p. 503 – 510, 2004.

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

FERRIS, H. Contribution of nematodes to the structure and function of the soil food web. **Journal of Nematology**, Flórida, Estados Unidos, v. 42, n. 1, p. 63-67, 2010a.

FERRIS, H. Form and function: metabolic footprints of nematodes in the soil food web. **European Journal of Soil Biology**, v. 46, p. 97-104, 2010b.

FERRIS, H.; MULLENS, T. A.; FORD, K. E. Stability and Characteristics of Spatial Description Parameters for Nematode Populations. **Journal of Nematology**, Flórida, Estados Unidos, v. 22, n. 4, p. 427 – 439, 1990.

FERRIS, H.; SÁNCHEZ-MORENO, S.; BRENNAN, E. B. Structure, functions and interguild relationships of the soil nematode assemblage in organic vegetable production. **Applied Soil Ecology**, v. 61, p. 16-25, 2012.

FERRIS, H.; WILSON, L. T. Concepts and principles of population dynamics. In: VEECH, J. A.; DICKSON, D. W. (Ed.). **Vistas on nematology**: a commemoration of the twenty-fifth anniversary of the society of nematologists. Hyattsville, MD: Society of Nematologists, 1987. Cap. 49, p. 372-376.

FILOSO, S. et al. Reassessing the environmental impacts of sugarcane ethanol production in Brazil to help meet sustainability goals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 1847-1856, 2015.

FISCUS, D. A.; NEHER, D. A. Distinguishing sensitivity of free-living soil nematode genera to physical and chemical disturbances. **Ecological Applications**, v. 12, n. 2, pp. 565-575, 2002.

FRANCO, H. J. C. et al. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Minas Gerais, v. 32, p. 2763-2770, 2008.

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**, v. 73, n. 3, p. 283-296, 1999.

GIACHINI, C. F.; FERRAZ, M. V. Benefícios da utilização de vinhaça em terras de plantio de cana-de-açúcar. **Revista Eletrônica de Agronomia**, São Paulo, v. 3, n. 15, p. 1-15, 2009.

GOMES, G. S.; HUANG, S. P.; CARES, J. E. Nematode community, trophic structure and population fluctuation in soybean fields. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, p. 258-266, 2003.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; MATA, J. D. V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um argissolo vermelho. **Acta Scientiarum**, Maringá, São Paulo, v. 23, n. 5, p. 1149-1157, 2001.

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, Minas Gerais, v. 25, p. 66-74, 2009.

GRAHAM, R. D.; WEBB, M. J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. In: MORTVEDT, J. J. et al. (Eds.). **Micronutrients in agriculture**. 2. ed. Soil Science Society of America: Madison, WI, 1991. Cap.10, p. 329-370.

GRECO, C. R.; VIEIRA, S. R.; XAVIER, M. A. Spatial variability of some biometric attributes of sugarcane plants (variety IACSP93-3046) and its relation to physical and chemical soil attributes. **Bragantia**, Campinas, São Paulo, v. 69, p. 107-119, 2010.

GRISI, B. M. Método químico de medição da respiração edáfica: alguns aspectos técnicos. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 82-88, 1978.

GRUVER, L. S. et al. Brassicaceous and rye cover crops altered free-living soil nematode community composition. **Applied Soil Ecology**, v.45, n. 1, p. 1-12, 2010.

- GRUZDEVA, L. I.; MATVEEVA, E. M.; KOVALENKO, T. E. Changes in Soil Nematode Communities under the Impact of Fertilizers. **Eurasian Soil Science**, v. 40, n. 6, p. 681-693, 2007.
- HAEGEMAN, A. et al. Functional roles of effectors of plant-parasitic nematodes. **Genes**, Amsterdam, v. 492, p. 19-31, 2012.
- HÁNEL, L. An outline of soil nematode succession on abandoned fields in South Bohemia. **Applied soil ecology**, v. 46, p. 355-371, 2010.
- HEININGER, P. et al. Nematode communities in contaminated river sediments. **Environmental Pollution**, v. 146, p. 64-76, 2007.
- HERRING, S. L. et al. Impact of *Rotylenchulus reniformis* on Cotton Yield as Affected by Soil Texture and Irrigation. **Journal of Nematology**, Flórida, Estados Unidos, v. 42, n. 4, p. 319 – 323, 2010.
- HODSON, A. K. et al. Nematode food webs associated with native perennial plant species and soil nutrient pools in California riparian oak woodlands. **Geoderma**, Amsterdam, v. 228-229, p. 182-191, 2014.
- HOUGENHOUT, S. A. et al. Emerging concepts in effector biology of plant-associated organisms. **Molecular Plant-Microbe Interactions Journal**, v. 22, p. 115-122, 2009.
- HUA, J.; JIANG, Y.; LIANG, W. Effects of vegetation coverage on the spatial distribution of soil nematode trophic groups. **Frontiers of Biology in China**, v. 3, p. 63-67, 2008.
- HURCHANIK, D. et al. Relationship of *Meloidogyne konaensis* population densities to nutritional status of coffee roots and leaves. **Nematropica**, Flórida, Estados Unidos, v. 33, n. 1, p. 55-64, 2003.
- HUSSEY, R. S. Host-parasite relationships and associated physiological changes. In: SASSER, J. N.; CARTER, C. C. (Ed.). *An advanced treatise on Meloidogyne: biology and control*. Raleigh: North Carolina State University, 1985. p. 143-153.
- INNOCENTE, A. F. **Cogeração a partir da biomassa residual de cana-deaçúcar - estudo de caso**. 2011. 111 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Botucatu.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, M. **An introduction to applied geostatistics**. Oxford New York: University Press, 1989. 600 p.
- JASMER, D. P.; GOVERSE, A.; SMANT, G. Parasitic nematode interactions with mammals and plants. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, Califórnia, Estados Unidos, v. 41, 245-270, 2003.
- JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease**, v. 48, p. 692-695, 1964.

JOURNAL, A. C.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic London, 1978. 600 p.

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

KAMIMURA, K. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo, sob lavoura cafeeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Minas Gerais, v. 37, p. 877-888, 2013.

KANGA, F. N. et al. Distribution of entomopathogenic nematodes in Southern Cameroon. **Jurnal of Invertebrate Pathology**, v. 109, p. 41 – 51, 2012.

KILLHAM; K. **Soil ecology**. Reino Unido: Cambridge University Press, 1994. 243p.

KIRUBAKARAN, R.; VENKATARAMANA, S.; JAABIR, M. S. M. Effect of ethrel and glyphosate on the ripening of sugar cane. **International Journal of Chemical Technology Research**, v. 5, p. 1927-1938, 2013.

KOENNING, S. R.; WALTERS, S. A.; BARKER, K. R. Impact of Soil Texture on the Reproductive and Damage Potentials of *Rotylenchulus reniformis* and *Meloidogyne incognita* on Cotton. **Journal of Nematology**, Flórida, Estados Unidos, v. 28, n. 4, p. 527-536, 1996.

KUDRIN, A. A.; TSURIKOV, S. M.; TIUNOV, A. V. Trophic position of microbivorous and predatory soil nematodes in a boreal forest as indicated by stable isotope analysis. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 86, p. 193-200, 2015.

LANDIM, P. M. B. Sobre geoestatística e mapas. **Terrae Didactica**, Campinas, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.

LECOMTE-PRADINES, C. et al. Soil nematode assemblages as bioindicators of radiation impact in the Chernobyl Exclusion Zone. **Science of the Total Environment**, v. 490, p. 161-170, 2014.

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

LEVI, T. et al. Changes in soil free-living nematode communities and their trophic composition along a climatic gradient. **Open Journal of Ecology**, v. 2, p. 79-89, 2012.

LIANG, W. et al. Spatial distribution of bacterivorous nematodes in a Chinese Ecosystem Research Network (CERN) site. **Ecological Research**, v. 20, p. 481 – 486, 2005.

LIU, F. et al. Response of soil nematode ecological and maturity indexes and faunal analysis to the conservation tillage. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, Helsinki, v. 11, n. 2, p. 1111-1117, 2013.

LI, Y. et al. Response of nematodes to agricultural input levels in various reclaimed and unreclaimed habitats. **European Journal of Soil Biology**, v. 60, p. 120-129, 2015.

LU, Z. B. et al. Effects of crop species richness on the community of soil nematodes in an experimental agro-ecosystem. **European Journal of Soil Biology**, v. 73, p. 26-33, 2016.

MACEDO, I. C.; SEABRA, J. E.; SILVA, J. E. Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, n. 32, p. 582-595, 2008.

MACEDO, M. C. M.; HAAG, H. P.; LORDELLO, L. G. E. Influência do nematóide *Meloidogyne exiguana* absorção de nutrientes em plantas jovens de cafeeiro. **Anais da Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 31, p. 91-104, 1974.

MALAVOLTA, E. (Ed.). **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 2006. v. 1.

MALHERBE, S.; MARAIS, D. Nematode community profiling as a soil biology monitoring tool in support of sustainable tomate production: a case study from South Africa. **Applied Soil Ecology**, v. 93, p. 19-27, 2015.

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

MARTÍN, J. A. R. et al. Effect of mine tailing on the spatial variability of soil nematodes from lead pollution in La Union (Spain). **Science of the Total Environment**, v. 473 – 474, p. 518 – 529, 2014.

MATEILLE, T. et al. Importance of soil characteristics for plant-parasitic nematode communities in European coastal foredunes. **European Journal of Soil Biology**, v. 64, p. 53 – 60, 2014.

MATOS, D. S. S. et al. Relações entre a nematofauna e atributos químicos de solo com vinhaça. **Nematropica**, Flórida, Estados Unidos, v.41, p.1-9, 2011.

MAUNG, M. O.; JENKINS, W. R. Effects of a root-knot nematode *Meloidogyne incognita acrita* Chitwood 1949, and a stubbyroot nematode *Trichodorus christiei* Allen 1955, on the nutrient status of tomato *Lycopersicon esculentum* Hort. var. Chesapeake. **Plant disease**, v. 43, n. 8, p. 791-796, 1959.

MAY, W. F. et al. (Ed.). **Plant-parasitic nematodes: a pictorial key to genera**. Ithaca: Cornell University Press, 1996. 277 p.

MBEGA, E. R.; NZOGELA, Y. B. Strategies used by plant parasitic nematodes to conquer the host. **Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 14, p. 1848-1854, 2012.

MCBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semivariograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, v. 37, n. 2, p. 617-639, 1986.

MEDINA, N. H. et al. Dynamic distribution of potassium in sugarcane. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 126, p. 172-175, 2013.

MELAKEBERHAN, H. Physiological interactions between nematodes and host plants. In: CHEN, Z. X.; CHEN, S. Y.; DICKSON, D. W. *Nematology: advances and perspectives: nematode management and utilization*. Beijing: Tsinghua University press, 2004. v. 2, p. 771-794.

MIGUEL, F. R. M. **Variabilidade espacial de atributos do solo e produtividade em área cultivada com cana-de-açúcar**. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico da Campinas, Campinas.

MILLS, A. A. S.; ADL, M. S. Changes in nematode abundances and body length in response to management intensive grazing in a low-input temperate pasture. **Soil Biology & Biochemistry**, v.43, p.150-158, 2011.

MIRANDA, T. L. et al. Alterações físicas e biológicas em solo cultivado com cana-de-açúcar após colheita e aplicação de vinhaça. **Agrária- Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, Pernambuco, v. 7, n. 1, p. 150-158, 2012.

MONDINO, E. A. et al. Comunidade de nematoides em diferentes formações vegetais em um ecossistema costeiro re *Restinga* no Brasil. **Nematropica**, Flórida, Estados Unidos, v. 41, n. 2, p.229-239, 2011.

MONFORT, W. S. et al. Potential for Site-specific Management of *Meloidogyne incognita* in Cotton Using Soil Textural Zones. **Journal of Nematology**, Flórida, Estados Unidos, v. 39, n. 1, p. 1 – 8, 2007.

MOORE, S. R.; LAWRENCE, K. S. The Effect of Soil Texture and Irrigation on *Rotylenchulus reniformis* and Cotton. **Journal of Nematology**, Flórida, Estados Unidos, v. 45, n. 2, p. 99 – 105, 2013.

MOURA, R. M. et al. Nematóides associados à cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco, Brasil. **Nematologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 1, p. 92-99, 1999.

MULDER, C. et al. The use of nematodes in ecological soil classification and assessment concepts. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 62, p. 278-289, 2005.

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

NEHER, D. A. Role of nematodes in Soil Health and Their Use as Indicators. **Journal of Nematology**, Flórida, Estados Unidos, v. 33, n. 4, p. 161-168, 2001.

NOVARETTI, W. R. T. Pathogenicity and control of sugarcane nematodes in Brazil. **Nematropica**, Flórida, Estados Unidos, v. 25, p. 92-99, 1995.

OLABIYI, T. I.; OLAYIWOLA, A. O.; OYEDIRAN, G. O. Influence of Soil Textures on Distribution of Phytonematodes in the South Western Nigeria. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 5, n. 5, p. 557 - 560, 2009.

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

OLIVEIRA, E. C. A. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção - PE**. 2008. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

OLIVEIRA, E. C. A. et al. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 579-588, 2011.

OLIVEIRA, R. A.; RAMOS, M.; AQUINO, L. A. A. Manejo de irrigação. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Eds.). **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool-tecnologias e perspectivas**. Viçosa, Minas Gerais: Universidade Federal de Viçosa, 2010. cap. 8, p. 217-244.

OPPERMAN, C. H. et al. Sequence and genetic map of *Meloidogyne hapla*: A compact nematode genome for plant parasitism. **PNAS**, v. 105, p. 14802-14807, 2008.

ORTIZ, B. V. et al. Geostatistical modeling of the spatial variability and risk areas of southern root-knot nematodes in relation to soil properties. **Geoderma**, Amsterdam, v. 165, n. 3-4, p. 243-252, 2010.

PAPATHEODOROU, E. M. et al. Differential responses of structural and functional aspects of soil microbes and nematodes to abiotic and biotic modifications of the soil environment. **Applied Soil Ecology**, v. 61, p. 26-33, 2012.

PARK, J. J. et al. Spatial association between entomopathogenic and other free-living nematodes and the influence of habitat. **Applied Soil Ecology**, v. 76, p. 1-6, 2014.

PEDROSA, E. M. et al. Supressividade de nematóides em cana-de-açúcar por adição de vinhaça ao solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, Paraíba, v. 9, p. 197-201, 2005. Suplemento.

PEDROTTI, A. et al. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, Rio Grande do Sul, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PEN-MOURATOV, S.; HU, C.; HINDIN, E.; STEINBERGER, Y. Soil microbial activity and a free-living nematode community in the playa and in the sandy biological crust of the Negev Desert. **Biology and Fertility of Soils**, v. 47, p. 363-375, 2011.

PINHEIRO, J. B. et al. Estudo da Influência do Potássio e do Cálcio na Reprodução do Nematóide do Cisto da Soja. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 31, p. 17-27, 2009.

POPOVICI, I. Nematodes as indicators of ecosystem disturbance due to pollution. *Studia Universitatis Babes-Bolyai*. **Biologia**, v. 37, p. 15-27, 1992.

RAMZAN, M.; HANDOO, Z. A.; FAYYAZ, S. Description of *Tylenchorhynchus qasimii* sp. n. with a New Report of *T. kegasawai* Minagawa, 1995 from Pakistan. **Journal of Nematology**, Flórida, Estados Unidos, v. 40, n. 1, p. 20–25, 2008.

RITZINGER, C. H. S.; FANCELLI, M.; RITZINGER, R. Nematoides: bioindicadores de sustentabilidade e mudanças edafoclimáticas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 1289-1296, 2010.

ROBINSON, N. et al. Nitrate paradigm does not hold up for sugarcane. **Plos One**, San Francisco, Estados Unidos, v. 6, p. 1-9, 2011.

RODRIGUES, C. V. M. A. et al. Distribuição vertical da nematofauna associada à cana-de-açúcar. **Nematropica**, Flórida, Estados Unidos, v. 41, p. 10-16, 2011.

RODRIGUEZ-KÁBANA, R. Organic and inorganic nitrogen amendments to soil as nematode suppressants. **Journal of Nematology**, Flórida, Estados Unidos, v. 18, p. 129-135, 1986.

RODRÍGUEZ MARTÍN, J. A. et al. Effect of mine tailing on the spatial variability of soil nematodes from lead pollution in La Union (Spain). **Science of the Total Environment**, v. 473 – 474, p. 518-529, 2014.

ROUSK et al. Soil Bacterial and Fungal Communities across a pH Gradient in an Arable Soil. **International society for Microbial Ecology Journal**, v.4, n.10, p.1-12, 2010.

SÁNCHEZ-MORENO, S. et al. Abundance, diversity and connectance of soil food web channels along environmental gradients in an agricultural landscape. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 43, p. 2374-2383, 2011.

SÁNCHEZ-MORENO, S. et al. Nematode diversity, foode web condition, and chemical and physical properties in diferente soil habitats of na organic farm. **Biology and Fertility of soils**, v. 44, p. 727-744, 2008.

SÁNCHEZ-MORENO, S. et al. Nematodes as indicators of fumigant effects on soil food webs in strawberry crops in Southern Spain. **Ecological indicators**, v. 10, p. 148-156, 2010.

SANTOS, J. M.; FERRAZ, S.; OLIVEIRA, L. M. Efeito de cloreto de potássio sobre a formação de galhas e a reprodução de *Meloidogyne exigua* em mudas de cafeeiro. **Turrialba**, v.28, p.580-587, 1981.

SANTOS, V. R. et al. Crescimento e produtividade agrícola de cana-de-açúcar em diferentes fontes de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Campina Grande, Paraíba, v.13, p.389-396, 2009.

SCHIMIDT, J. P.; TAYLOR, R. K.; MILLIKEN, G. A. Evaluating the potential for site-specific phosphorus applications without high-density soil sampling. **Soil Science Society of American Journal**, v. 66, p. 276-283, 2002.

SCHRATZBERGER, M. et al. 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.

SHI, C. et al. Geostatistical Analysis of Soil Nematode Communities under Degraded and Meliorated Grasslands in the Horqin Sand Land. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science**, v. 4, n. 1, p. 55 - 61, 2008.

SIERIEBRIENNIKOVA, B.; FERRIS, H.; DE GOEDE, R.G.M. NINJA: na automated calculation system for nematode-based biological monitoring. **European Journal of Soil Biology**, v. 61, p. 90-93, 2014.

SILVA, S. A. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, Minas Gerais, v. 34, p. 15 – 22, 2010.

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

SILVA, A. R.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Efeito de tendência no ajuste de semivariogramas esféricos. **FAMAT em Revista**, Uberlândia, Minas Gerais, n. 10, p. 107-116, 2008.

SMANT, G. et al. Endogenous cellulases in animals: isolation of beta-1, 4-endoglucanase genes from two species of plant-parasitic cyst nematodes. **PNAS**, v. 95, p. 4906-4911, 1998.

SOHLENIUS, B. Influence of climatic conditions on nematode coexistence a laboratory experiment with a coniferous forest soil. **Oikos**, v. 44, p. 430 - 438, 1985.

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de propriedades físicas e químicas do solo em um pomar cítrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Minas Gerais, v. 21, p. 367-372, 1997.

SOUZA, Z. M. et al. Número de amostras na análise geoestatística e na krigagem de mapas de atributos do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, Rio Grande do Sul, v. 44, n. 2, p. 261-268, 2014.

SOUZA, Z. M. et al. Spatial variability of soil attributes and sugarcane yield in relation to topographic location. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, Paraíba, v. 14, n. 12, p. 1250-1256, 2010.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, Rio Grande do Sul, v. 34, n. 6, p. 1763 – 1771, 2004.

STHANU, L. K. et al. Soil Quality Mapping Studies Using Nematodes as Bioindicators. **Open Journal of Soil Science**, v. 3, p. 323 – 335, 2013.

- STEVEN, A.; SUNDAY, S.; FISAYO, D. Biodiversity of plant-parasitic nematodes of sugarcane in Bacita, Nigeria. **Journal of Entomology and Nematology**, v. 6, n. 6, p. 71-79, 2014.
- STEVNBAK, K. et al. Suppression of soil decomposers and promotion of long-lived, root herbivorous nematodes by climate change. **European Journal of Soil Biology**, v. 52, p. 1-7, 2012.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 720 p.
- TARJAN, A. C.; ESSER, R. P.; CHANG, S. L. An illustrated key to nematodes found in freshwater. **Journal of Water Pollution Control Federation**, v. 49, p. 2318-2337, 1977.
- TASSO JUNIOR, L. C. et al. Extração e exportação de macronutrientes em cinco variedades de cana-de-açúcar cultivadas na região centro-norte do Estado de São Paulo. **Revista STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, São Paulo, v. 25, p. 38-42, 2007.
- TAVARES, U. E. et al. Spatial Dependence of Physical Attributes and Mechanical Properties of Ultisol in a Sugarcane Field. **The Scientific World Journal**, v. 2015, p. 1-10, 2015.
- TAVARES, U. E. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos e mecânicos de um Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, Paraíba, v. 16, n. 11, p. 1206 – 1214, 2012
- TORRES, G. R. C. et al. Aspectos ecológicos de comunidade de nematoides associada a cultivo de *Cucumis melo* no Rio Grande do Norte. **Nematologia Brasileira**, Campinas, São Paulo, v. 30, p. 1-9, 2006.
- UGARTE, C. M.; ZABORSKI, E. R.; WANDER, M. M. Nematode indicators as integrative measures of soil condition in organic cropping systems. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 64, p. 103-113, 2013.
- van EEKEREN, N. et al. Ecosystem services in grassland associated with biotic and abiotic soil parameters. **Soil Biology & Biochemistry**, Brisbane, Austrália, v. 42, n. 9, p. 1491 - 1504, 2010.
- VAUCLIN, M. et al. The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, p. 175-184, 1983.
- VIANA, K. R. O.; PEREZ, R. Survey of sugarcane industry in Minas Gerais, Brazil: Focus on sustainability. **Biomass & Bioenergy**, v. 58, p. 149-157, 2013.
- VICENTE, T. F. S. et al. Community structure and spatial variability of soil nematodes in an alluvial soil in a semiarid region of Pernambuco State, Brazil. **Nematoda**. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4322/nematoda.08015>>, 2015>. Acesso em: 25 jan. 2016.
- VICENTE, T. F. S. **Estabilidade de agregados e relações de atributos do solo com a nematofauna em áreas de cultivo de cana-de-açúcar**. 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado engenharia agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

VIEIRA, S. R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Oakland, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

VIEIRA, S. R. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois Latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, São Paulo, v. 70, n. 1, p. 185-195, 2011.

VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, São Paulo, v. 56, n. 1, p. 181-190, 1997.

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

VONK, J. A.; BREURE, A. M.; MULDER, C. Environmentally-driven dissimilarity of trait – based indices of nematodes under different agricultural management and soil types. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 179, p. 133-138, 2013.

WALE, D. W. et al. Omissão de macronutrientes na nutrição e no crescimento da cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, p. 189-196, 2011.

WANG, E. L. H.; BERGESON, G. B. Biochemical changes in root exsudate and xylem sap of tomato plants infected with *Meloidogyne incognita*. **Journal of Nematology**, Flórida, Estados Unidos, v. 4, p. 194-202, 1974.

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

WASILEWSKA, L. Differences in development of soil nematode communities in single- and multi- species grass experimental treatments. **Applied Soil Ecology**, v. 2, p. 53-64, 1995.

WHITE, P. J. Ion uptake mechanisms of individual cells and roots: short-distance transport. In: MARSCHNER, P. (Ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Oxford: Elsevier Ltd, 2012. cap. 2, p. 7- 47.

WUYTS, N. et al. Potential physical and chemical barriers to infection by the burrowing nematode *Radopholus similis* in roots of susceptible and resistant banana (*Musa* spp.). **Plant Pathology**, v. 56, p. 878-890, 2007.

WUYTS, N.; SWENNEN, R.; DE WAELE, D. Effects of plant phenylpropanoid pathway products and selected terpenoids and alkaloids on the behaviour of the plant parasitic nematodes *Radopholus similis*, *Pratylenchus penetrans* and *Meloidogyne incognita*. **Nematology**, Amsterdam, v. 8, p. 89-101, 2006.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013, 216 p.

YANG, W. et al. Crop yield, nitrogen acquisition and sugarcane quality as affected by interspecific competition and nitrogen application. **Field Crops Research**, v. 146, p. 44-50, 2013.

YEATES, G. W. et al. Feeding habits in nematode families - an outline for soil ecologists. **Journal of Nematology**, Flórida, Estados Unidos, v. 25, p. 315-331, 1993.

YEATES, G. W. Modification and qualification of the nematode maturity index. **Pedobiologia**, v. 38, p. 97-101, 1994.

YEATES, G. W. Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. **Biology and Fertility of Soils**, v. 37, p. 199-210, 2003.

YEOMANS, J. O.; BREMMER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Londres, Inglaterra, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

YU-PENG, W. et al. Biodiversity in Saline and Non-Saline Soils along the Bohai Sea Coast, China. **Pedosphere**, Nanjing, China, v. 25, n. 2, p. 307-315, 2015.

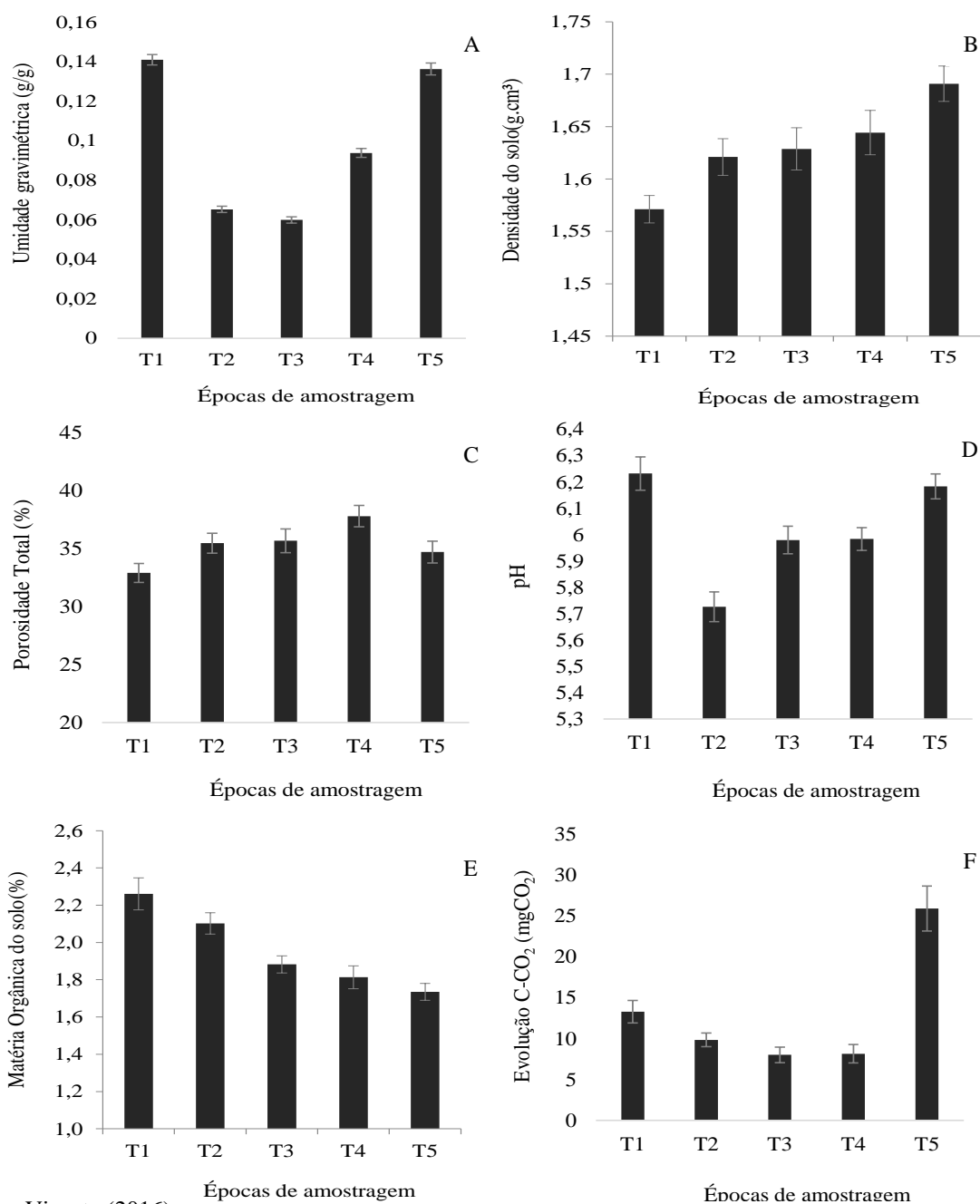
ZAMBOLIM, L.; RODRIGUES, F. A.; CAPUCHO, A. S. Resistência a doenças de plantas induzida pela nutrição mineral. In: VENZON, M.; JÚNIOR, T. J. P.; PALLINI, A. (Ed.). **Controle alternativo de pragas e doenças**. Viçosa, Minas Gerais: EPAMIG/CTZM, 2005. p. 185.

ZAMBOLIM, L.; COSTA, H.; VALE, F. X. R. Efeito da nutrição mineral sobre doenças de plantas causadas por patógenos do solo. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Manejo integrado fitossanidade: cultivo protegido, pivô central e plantio direto**. Viçosa, Minas Gerais: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2001. p. 347-408.

ZHANG, X. et al. Effects of tillage and residue management on soil nematode communities in North China. **Ecological Indicators**, v. 13, p. 75-81, 2012.

ZHONG, S.; ZENG, H.; JIN, Z. Responses of soil nematode abundance and diversity to long-term crop rotations in tropical China. **Pedosphere**, Nanjing, China, v. 25, n. 6, p. 844-852, 2015.

APÊNDICE A - Propriedades do solo em área de cultivo de cana-de-açúcar, durante as épocas de amostragem.



Fonte: Vicente (2016)

T1 - Antes do plantio da cana; T2 - Três meses após o cultivo da cana; T3 - Seis meses após o cultivo da cana; T4 - Nove meses após o cultivo da cana; T5 - Colheita.

APÊNDICE B - Coeficiente de correlação significativa entre índices ecológicos dos nematoides e propriedades do solo e da planta em áreas cultivadas com cana-de-açúcar na Paraíba.

| Atributos | IM | IM (2-5) | SigmaIM | IPP | IC | IB | IE | IS | AME | AMS | AMB | AMM | AMPr | AMO | AMP |
|---|--------|----------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Antes do plantio da cana – T1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| MOS | | | | | | 0,23* | | | | | | | | | |
| C-CO ₂ | | | | | | | | 0,27* | | 0,57** | | | -0,25* | 0,56** | |
| Três meses após o plantio da cana – T2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| PT | | | | | | | 0,24* | | | | | | | | |
| pH | | | | | | | | | | | | | 0,28* | -0,24* | |
| MOS | | | | | | | | -0,31** | | | | | | | |
| Ca _f | | | | | | 0,26* | | | | | | | | | |
| C-CO ₂ | | | | | | | | | 0,32** | | 0,32** | | | | |
| Seis meses após o plantio da cana – T3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Umi | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ds | | | | | | | | | -0,42** | | -0,39** | | | | -0,23* |
| PT | | | | | -0,33** | | | | | | | -0,27* | | | |
| pH | 0,26* | 0,31** | | | | | | | -0,26* | 0,23* | -0,25* | | | | |
| MOS | | | | | 0,24* | | | | | | | | | | 0,22* |
| Ca _s | -0,25* | | | | 0,23* | | | | | | | | | | |
| Mg _s | | | | | 0,25* | | | | | | | | | | |
| Mg _f | 0,30** | 0,32** | | | | | | | | | | | | | |
| Perf. | | | | 0,23* | | | 0,26* | | | | | | | | |
| MFPA | | -0,25* | | | | | | | | | | | | | |
| MSPA | | -0,28* | | | | | | | | | | | | | |
| Novo meses após o plantio da cana – T4 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Umi | | -0,26* | | | | | | | | | | | | | |
| Ds | | | | | | | -0,29** | | | | | | | | |
| Ca _s | | | | | -0,27* | | | | | | | | | | |
| Mg _f | | | | | | | | | 0,30** | | 0,28* | 0,27* | | | |
| Alt | | | | | | | | | | | | | | | |
| NColmos | 0,26* | | | | | | | | -0,31** | | -0,32** | | | | |
| Perf. | | | | | | | | | | | | | | | 0,27* |
| MFPA | | | | | | | | | -0,25* | | -0,23* | | | | |
| MSPA | | | | | | | | | | | | | | | |
| C-CO ₂ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ar | | | | | | | | | | 0,23* | | 0,24* | 0,23* | | 0,27* |
| Arg | | | | | | | | | | | | -0,24* | | | |
| AG | | | | | | | | | | | | 0,24* | | | |
| AF | | | | | | | | | | | 0,29* | | 0,33** | | 0,35** |
| Colheita – T5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| PT | | | | | | | | | | | | | 0,28* | | -0,24* |
| pH | 0,22* | | | | | | | | | | | | | | |
| Ca _s | | | | | | | -0,23* | | | | | | | | |
| Mg _s | | | | -0,22* | | | | | | | | | -0,23* | 0,22* | |
| Ca _f | | | 0,26* | | | | -0,25* | | | | | | | | |
| Mg _f | | | | | 0,22* | | | | | | | | | | |
| Alt | | | | -0,43** | | -0,27* | | | | | | | | | -0,23* |
| Perf. | | | | | | | | | 0,31** | | 0,30** | | | | |
| C-CO ₂ | | | | | | | | | 0,29** | | 0,29* | | | | |
| Ar | | | | | | | 0,24* | | | | | | -0,26* | | |
| Arg | | | | | | | | | | | 0,22* | | | | |
| Silte | | | | | | 0,32** | -0,32** | | -0,27* | | -0,26* | | | | |
| AG | | | | | | | | | | | | | | 0,24* | |

Fonte: Vicente (2016)

IM – Índice de Maturidade; IM(2-5) – Índice de Maturidade cp2-5; SigmaIM – Índice de Maturidade de nematoides de vida – livre e Parasitos de planta; IC – Índice de canal; IB – Índice Basal; IE – Índice de Enriquecimento; IS – Índice de Estrutura; AME – Atividade metabólica de Enriquecimento; MAS - Atividade metabólica de Estrutura; AMB - Atividade metabólica de Bacteriófagos; AMM - Atividade metabólica de Micófagos; AMPr - Atividade metabólica de Predadores; AMO - Atividade metabólica de Onívoros; AMP - Atividade metabólica de Parasitos de Planta. * Significante ao nível de 5%; ** Significante ao nível de 1%.

APÊNDICE C - Coeficiente de correlação significativa entre as propriedades do solo e da planta em área cultivada com cana-de-açúcar na Paraíba.

| | Umi | DS | PT | pH | MOS | K _s | Ca _s | Mg _s | C-CO ₂ | Areia | Argila |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|----------------|-----------------|-----------------|-------------------|---------|---------|
| Antes do plantio – T1 | | | | | | | | | | | |
| DS | -0,27* | | | | | | | | | | |
| PT | 0,28* | -0,65** | | | | | | | | | |
| pH | -0,29** | 0,34** | | | | | | | | | |
| MOS | | -0,28** | 0,26* | | | | | | | | |
| K _s | | | | | | | | | | | |
| Mg _s | | | | 0,25* | | | 0,33** | | | | |
| C-CO ₂ | | | | 0,27* | | | | | | | |
| Areia | | | 0,33** | | | | | | | | |
| Argila | | | -0,32** | | | | | | | | |
| AG | | -0,28* | 0,33** | -0,22* | | 0,33** | | | | -0,63** | -0,58** |
| AF | | | | | | | | 0,24* | | 0,71** | -0,26* |
| Silte | | | | | | | -0,27* | -0,23* | | -0,54** | -0,31** |
| Três meses após o plantio da cana – T2 | | | | | | | | | | | |
| DS | -0,34** | | | | | | | | | | |
| PT | | -0,70** | | | | | | | | | |
| MOS | 0,32** | | | | | | | | | | |
| K _s | 0,43** | -0,38** | 0,25* | 0,43** | | | | | | | |
| Ca _s | 0,50** | | | 0,23* | | 0,32** | | | | | |
| Perf. | | | | | 0,22* | | | | | | |
| MFPA | -0,41** | | | | | -0,26* | | 0,23* | | | |
| Areia | -0,64** | 0,25* | | | -0,23* | -0,27* | | | | | |
| Argila | 0,54** | | | | 0,34** | 0,25* | | | | -0,63** | |
| AG | -0,46** | | | | | | | | | 0,57** | -0,57** |
| AF | -0,37** | 0,32** | | | -0,27* | | | 0,23* | | 0,70** | -0,25* |
| Seis meses após o plantio da cana – T3 | | | | | | | | | | | |
| PT | | -0,73** | | | | | | | | | |
| MOS | 0,39** | | | | | | | | | | |
| K _s | | | | | | | | | | | |
| Ca _s | 0,32** | | | | 0,29* | | | | | | |
| Mg _s | 0,46** | | | 0,24* | 0,29* | | 0,30* | | | | |
| Ca _f | | | | | | | 0,31** | | | | |
| DC | | | | | | -0,25* | | | | | |
| Perf. | -0,26* | | | | | | | | | | |
| MFPA | | | | | | 0,50** | | -0,25* | | | |
| MSPA | | | | -0,29* | | | | | | | |
| Areia | -0,46** | | | | -0,33** | | -0,33** | -0,27* | | | |
| Argila | 0,41** | | | | | | 0,28* | 0,30* | | -0,60** | |
| AG | -0,29* | | | | | | | -0,27* | | 0,56** | -0,57** |
| AF | -0,30* | | | | -0,35** | | | | | 0,70** | |
| Nove meses após o plantio da cana – T4 | | | | | | | | | | | |
| PT | | -0,77** | | | | | | | | | |
| MOS | | -0,29* | | | | | | | | | |
| K _s | | | | | | | | | | | |
| Ca _s | | | | 0,29* | | | | | | | |
| Mg _f | | 0,24* | | | | | | | | | |
| DC | | | 0,25* | | | | | | | | |
| Perf. | | 0,41** | -0,38** | | | | | | | | |
| MFPA | | -0,24* | | | | | | | | | |
| MSPA | | | | | | | | -0,24* | | | |
| C-CO ₂ | 0,37** | -0,30** | | | | | | | | | |
| Areia | -0,42** | 0,42** | | | -0,30** | | | | -0,36** | | |
| Argila | | -0,36** | | | 0,34** | | | | | -0,63** | |
| AG | -0,26* | 0,27* | | | | | | | | 0,56** | -0,58** |
| AF | -0,28* | 0,27* | | | -0,34** | | | | -0,33** | 0,72** | -0,26* |
| Silte | 0,33** | | | | | | | 0,24* | | -0,54** | -0,31** |
| Colheita – T5 | | | | | | | | | | | |
| PT | | -0,78** | | | | | | | | | |
| MOS | 0,32** | | -0,26* | -0,32** | | | | | | | |
| Mg _s | | | | 0,24* | | | | | | | |
| K _f | | 0,22* | | | | | | | | | |
| MFPA | 0,26* | | | | | | | | | | |
| MSPA | 0,25* | -0,24* | | | | | | | | | |
| Areia | -0,34** | | 0,30** | | -0,44** | | | | -0,25* | | |
| Argila | | 0,27* | -0,36** | | 0,31** | | | | | -0,62** | |
| AG | -0,24* | | | | | | | -0,27* | | 0,56** | -0,56** |
| AF | | | | | -0,41** | | | | | 0,70** | -0,26* |
| Silte | 0,29** | | | | | | | | | -0,53** | -0,34** |

Fonte: Vicente (2016)

Umi – Umidade gravimétrica (g/g), DS - Densidade do solo (g.cm³), PT - Porosidade Total (%), MOS – Matéria Orgânica do Solo (%), K_s - K⁺ na solução do solo (cmol_e/l), Ca_s - Ca²⁺ na solução do solo (cmol_e/l), Mg_s – Mg²⁺ na solução do solo (cmol_e/l), K_f: K na folha (g.kg), Ca_f: Ca na folha (g.kg), Mg_f: Mg na folha (g.kg), DC: Diâmetro do colmo (cm), Perf.: Número de perfilhos, MFPA: Matéria Fresca da Parte Aérea, MSPA: Matéria Seca da Parte Aérea, C-CO₂: Respiração do solo medida por meio da evolução C-CO₂ (mg.CO₂), AG: Areia Grossa (g.Kg), AF: Areia fina(g.Kg). * Significante a 5%, ** Significante a 1%