



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

GIOVANI DE OLIVEIRA ARIEIRA

**INFLUÊNCIA DE SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO E DE  
CULTURAS SOBRE AS COMUNIDADES DE NEMATOIDES**

---

Londrina  
2016

GIOVANI DE OLIVEIRA ARIEIRA

**INFLUÊNCIA DE SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO E DE  
CULTURAS SOBRE AS COMUNIDADES DE NEMATOIDES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Débora Cristina Santiago  
Co-orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria de Fátima  
Guimarães

Londrina  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Arieira, Giovani de Oliveira.

Influência de sistemas de manejo do solo e de culturas sobre as comunidades de nematoides / Giovani de Oliveira Arieira. - Londrina, 2016.

133 f. : il.

Orientador: Débora Cristina Santiago.

Coorientador: Maria de Fátima Guimarães.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2016.

Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Tese. 2. Nematologia - Tese. 3. Qualidade do solo - Tese. 4. Biologia do solo - Tese. I. Santiago, Débora Cristina . II. Guimarães, Maria de Fátima. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

GIOVANI DE OLIVEIRA ARIEIRA

**INFLUÊNCIA DE SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO E DE  
CULTURAS SOBRE AS COMUNIDADES DE NEMATOIDES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Agronomia da Universidade Estadual de  
Londrina, como requisito à obtenção do título de  
Doutor em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Débora Cristina Santiago  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria de Fátima  
Guimarães  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Dr<sup>a</sup>. Andressa Cristina Zamboni Machado  
Instituto Agrônômico do Paraná – IAPAR

---

Dr. Julio César Franchini dos Santos  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária –  
EMBRAPA

---

Prof. Dr. Juvenil Enrique Cares  
Universidade de Brasília – UnB

---

Prof. Dr. Ayres de Oliveira Menezes Jr  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Débora Cristina Santiago  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof. Dr. Ricardo Ralisch  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof. Dr. Amarildo Pasini  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 23 de fevereiro de 2017.

## **DEDICA**

Aos que insistem em fazer Ciência mesmo quando os desafios são imensos e não há incentivos a todos que acreditam que o conhecimento é o caminho para transformação da sociedade e que, mesmo muitas vezes no anonimato, têm compromisso com o divulgar Ciência acessível e, porque não, divertida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus. Foi nEle que encontrei forças para continuar seguindo meu caminho nos momentos em que a coragem pareceu falhar.

Às instituições tão necessárias para o desenvolvimento deste trabalho. À Universidade Estadual de Londrina (UEL), em especial aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela formação que me tornaram não apenas um profissional, mas uma pessoa melhor. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela oportunidade de realizar esse trabalho. À Embrapa Soja, em especial do Dr. Julio César Franchini, por permitir a utilização da área experimental para as coletas de solo e pela disponibilidade e auxílio em todas as fases deste projeto.

Aos membros da banca examinadora, Dra. Andressa Cristina Zamboni Machado, Dr. Juvenil Enrique Cares, Dr. Ayres de Oliveira Menezes Jr., Dr. Ricardo Ralisch e Dr. Amarildo Pasini, pela pronta disponibilidade e atenção.

Aos meus orientadores. Ao Dr. Ron M. G. De Goede, pela atenção, orientação e imensurável auxílio nas análises estatísticas dos dados. Às professoras Dra. Débora Cristina Santiago e Dra. Maria de Fátima Guimarães, pela orientação, dedicação e apoio demonstrados no decorrer do curso e no desenvolvimento deste trabalho. Mas, acima de tudo, agradeço pela amizade e pela forma como me acolheram desde o início da Iniciação Científica, mais de dez anos atrás.

À família. Aos meus pais, Marta e João Batista Arieira, pelo apoio e conforto nos momentos mais difíceis e pelo incentivo, amor e compreensão em cada pequena decisão, pontos essenciais para que eu chegasse até aqui.. Aos meus irmãos, Jailson, Almir e Marina de Oliveira Arieira, e às minhas cunhadas Cláudia Dias Arieira e Vilma Bastos Arieira, que mesmo com a distância estiveram sempre presentes com um ombro amigo me encorajando a seguir. Aos meus sobrinhos Sophia e Thales Dias Arieira pelos momentos de descontração tão necessários neste percurso.

Aos colegas. Aos do laboratório de Fitopatologia da Universidade Estadual de Londrina, pela ajuda fundamental, apoio e compreensão nesta etapa tão importante de minha vida, em especial Natália Calvo, Elise Schidlowski, Douglas Peitl, Ciro Sumida, Luann Lopes, Camila Nishimura, Adriély Almeida, Adriele Prado e Lana Cruz pelo convívio, amizade e, claro, pelas pausas para um café e jogar conversa fora. Ao técnico José Aparecido Rocha, pelos ensinamentos e ajuda. Aos colegas do Departamento de Qualidade do Solo da Universidade de Wageningen, Itaynara Batista, Deivid Machado, Ana Turetta, Pelin Kocatürk, Walter Andriuzzi e Xinxin Wang, não apenas por todos os momentos em que resolveram meus problemas e sanaram minhas dúvidas, mas principalmente pelos cafés nos corredores do Atlas Building e pelas conversas no almoço ou após o horário de trabalho.

Aos companheiros. Aos velhos e eternos Biana Kuwano, César Sbrussi, Naira Moura, Fernando Rodini, Mayra Ishikawa e Andréia Herculano pelo convívio por tanto tempo, pelo apoio em todos os momentos e pelas conversas necessárias. Aos parceiros de Multiverso Londrina, André Bacchi, Renan Fileto, Mário Nakano, Thiago Santana, Larissa Varnier e Bruna Bacchi, por me trazerem novos desafios e por provarem que amizades podem surgir de todos os lugares. Aos novos, mas não menos especiais, Livia Sidney, Milene Alves-Eigenheer, Ana Paula Corguinha, Joana Bezerra, Luana Macedo, Diego Silva, Athos Oliveira, Jamir Prado e Ezequiel Gasparin por tornarem cada momento inesquecível e pela presença, apesar da distância. E aos melhores *housemates* que eu poderia encontrar, Olivia Shaw, Pierre-Baptiste Rousseau, Lorenzo Rossi, Lucie Plagne, Yvette Piqué, Dani Arias e Thierry Maurice, pelo companheirismo e pelo acolhimento tão caloroso.

Aos que me apoiaram para que eu atingisse minhas metas e a todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a execução deste trabalho.

Once you have eliminated the impossible,  
whatever remains, however improbable, must  
be the truth.

(Spock – Star Trek VI: The Undiscovered  
Country)

ARIEIRA, Giovani de Oliveira. **Influência de sistemas de manejo do solo e de culturas sobre as comunidades de nematoides**. 2016. 133 folhas. Tese de Doutorado em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

## RESUMO

Os nematoides edáficos são organismos sensíveis à intervenção humana e têm sido amplamente utilizados como indicadores da qualidade do solo em sistemas agrícolas. Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do solo e o impacto de diferentes práticas agrícolas na sustentabilidade de agroecossistemas através da análise de nematoides como indicadores biológicos, relacionados a atributos físicos e químicos do solo. Para tanto, foram estabelecidos três experimentos. No primeiro, avaliando os efeitos de sistema de rotação de culturas após um período de sucessão, foram coletadas amostras de solo durante três anos nos cultivos de soja e trigo. No segundo, avaliando as comunidades de nematoides em diferentes classes de agregados, coletou-se amostras de solo em dois sistemas de culturas (rotação e sucessão) e dois sistemas de preparo do solo (plantio direto e preparo convencional) e, posteriormente, definindo-se três classes de agregados. No terceiro experimento, avaliou-se as unidades morfologicamente homogêneas identificadas pela metodologia do Perfil Cultural e avaliou-se a comunidade de nematoides em cada unidade. As comunidades de nematoides foram descritas quanto à diversidade, maturidade ecológica e condição de cadeia trófica. Os dados foram submetidos a análise univariadas (ANOVA e teste de Tukey) e multivariada (PCA, RDA e Classificação Hierárquica). As comunidades foram dominadas por nematoides bacteriófagos e fitoparasitas e a decomposição de matéria orgânica foi, via de regra, bacteriana, havendo favorecimento das populações fúngicas com cultivo de trigo e preparo convencional do solo. O sistema de manejo das culturas tem um efeito mais marcante sobre as comunidades de nematoides e a rotação de culturas manteve seus efeitos mesmo após três anos de manejo, levando a comunidades ecologicamente mais maduras e um ambiente com menor perturbação ambiental.

**Palavras-chave:** Biodiversidade de solos. Cadeia alimentar do solo. Estruturação do solo. Manejo do solo. Nematoides de vida livre. Nematoides fitoparasitas.

ARIEIRA, Giovani de Oliveira. **Influency of soil management and cropping systems on nematode communities**. 2016. 133 pages. PhD thesis in Agronomy – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

### **ABSTRACT**

Edaphic nematodes are organisms sensitive to human intervention and have been widely used as indicators of soil health in agricultural systems. This study aimed to assess the soil quality and the impact of different agricultural practices on the sustainability of agro-ecosystems through analysis of nematodes as biological indicators, related to other soil properties. For this, three experiments were established. In the first, assessing the effects of crop rotation system after a period of succession, soil samples were collected for three years in soybean and wheat crops. In the second, evaluating the nematodes communities in different aggregate classes, gathered up soil samples in two cropping systems (rotation and succession) and two tillage systems (tillage and conventional tillage) and subsequently classified in three aggregate classes. In the third experiment, we evaluated the morphological homogeneous units identified by the methodology of Cultural Profile and the nematode community in each unit. The nematode communities were described by diversity, ecological maturity and food chain condition. The data were submitted to univariate analysis (ANOVA and Tukey test) and multivariate (PCA, RDA and Hierarchical Classification). The communities were dominated by plant-parasitic and bacterivore nematodes and the organic matter decomposition was, as a rule, bacterial, with favoring fungal populations with growing wheat and conventional tillage. The cropping system had a more marked effect on the nematode communities and crop rotation effects remained even after three years of succession management, leading to a more ecologically mature community and an environment with less environmental disturbance.

**Keywords:** Biodiversity. Free-living nematodes. Plant-parasitic nematodes. Soil food web. Soil management. Soil structure.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>1 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	12
1.1 NEMATOIDES EDÁFICOS COMO INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO.....	12
1.2 GRUPOS FUNCIONAIS DE NEMATOIDES E SUAS RELAÇÕES COM ATRIBUTOS DO SOLO.....	17
1.3 MANEJO AGRÍCOLA DE SOLOS.....	20
1.4 ESTRUTURAÇÃO DO SOLO.....	25
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	28
2.1 ÁREAS DE ESTUDO E TRATAMENTOS.....	28
2.2 AGREGAÇÃO DO SOLO.....	29
2.3 CARACTERIZAÇÃO MORFOESTRUTURAL.....	30
2.4 IDENTIFICAÇÃO DOS NEMATOIDES E CARACTERIZAÇÃO DAS COMUNIDADES.....	31
2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	35
<b>3 ARTIGO 1: EFEITO DA ROTAÇÃO DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO SOBRE COMUNIDADES DE NEMATOIDES</b> .....	37
<b>4 ARTIGO 2: EFEITO DE SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO E MANEJO DE CULTURAS NA DISTRIBUIÇÃO DE NEMATOIDES EM CLASSES DE AGREGADOS</b> .....	64
<b>5 ARTIGO 3: EFEITOS DE SISTEMAS DE CULTURAS E PREPARO DO SOLO SOBRE COMUNIDADES DE NEMATOIDES E UNIDADES MORFOLOGICAMENTE HOMOGÊNEAS: UMA ABORDAGEM COMBINADA PARA AVALIAR A QUALIDADE DO SOLO</b> .....	92
<b>6 CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	112
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	113

## INTRODUÇÃO

O solo é um sistema dinâmico e complexo, formado por componentes físicos, químicos e biológicos, em íntima relação entre si. Assim, alterações em um componente, isoladamente, podem resultar em diversas alterações nos demais componentes edáficos do complexo solo.

Em ecossistemas agrícolas, essas alterações ocorrem de forma mais acelerada, devidas à intervenção antrópica, a fim de se estabelecer melhores condições para o desenvolvimento das culturas. Dessa forma, o preparo do solo, a utilização de agrotóxicos e fertilizantes, o manejo dos restos vegetais, entre outras ações tendem a alterar o ecossistema do solo.

Os sistemas de manejo do solo e de culturas atuam de forma intensa sobre os atributos físicos e químicos, de acordo com os implementos que agem no solo. Os sistemas conservacionistas têm recebido atenção nas últimas décadas por permitirem maior sustentabilidade do sistema agrícola a longo prazo. Dessa forma, sistemas que envolvam pouco ou nenhum revolvimento do solo, rotação de culturas e utilização de adubos verdes têm sido apontados como uma forma eficiente de se manter a sustentabilidade e, até mesmo, reduzir os custos de produção.

São bastante conhecidos os reflexos do manejo dos solos sobre seus atributos físicos e químicos, entretanto, os efeitos na biota do solo só começaram a ser estudados profundamente nas últimas décadas. A biota do solo tem importantes funções ecológicas no solo, agindo na ciclagem e mineralização de nutrientes, na estruturação de agregados, na formação de bioporos, entre outros processos. Ainda menos conhecidos são os efeitos das alterações em certos atributos sobre as comunidades biológicas em solos tropicais.

Com base nos recentes estudos, tem crescido a utilização dos organismos chamados bioindicadores, ou seja, um organismo, grupo de organismos ou processo fisiológico que se alteram em função da intervenção humana. Os bioindicadores respondem de forma rápida e diferenciada a tal intervenção.

Entre esses organismos, os nematoides têm sido amplamente utilizados em estudos ecológicos ao redor do mundo e têm apresentado boas respostas aos mais variados manejos empregados. São organismos que apresentam características que favorecem sua utilização em relação a outros

organismos bioindicadores, como facilidade de extração e identificação e índices ecológicos específicos, de acordo com suas funções no solo.

Entretanto, os estudos estão restritos a regiões de clima temperado, enquanto áreas tropicais e subtropicais ainda estão no início da utilização desses organismos como indicadores ecológicos, embora os resultados nos trópicos tenham sido interessantes. No Brasil, a quase totalidade dos estudos tem sido realizada na região dos Cerrados e do Nordeste, com algumas poucas pesquisas pontuais em outras regiões do país.

Este trabalho se baseia nas hipóteses de que os sistemas de produção agrícola alteram os atributos do solo, podendo levar a alterações na biodiversidade natural e, dessa forma, tais parâmetros podem ser utilizados como indicadores para avaliar a qualidade do solo, monitorar o impacto de diferentes práticas agrícolas e prever alterações na sustentabilidade dos agroecossistemas. A hipótese foi testada em experimentos de manejo do solo de longa duração, importantes para a definição de parâmetros estáveis relacionados à sustentabilidade agrícola, bem como para a avaliação criteriosa do efeito de diferentes práticas agrícolas nas propriedades biológicas do solo, pelo uso de nematoides como bioindicadores. Sistemas de preparo de solo mais conservacionistas, com utilização de rotação de culturas devem apresentar melhores resultados de qualidade biológica de solo.

Assim, o objetivo geral deste trabalho é avaliar a qualidade do solo e o impacto de diferentes práticas agrícolas na sustentabilidade de agroecossistemas através da análise de nematoides como bioindicadores, relacionados a outros atributos do solo. Além disso, avaliar quantitativamente populações de nematoides e verificar o efeito de práticas agrícolas sobre as unidades morfologicamente homogêneas do Perfil Cultural relacionadas à comunidade de nematoides. E, finalmente, avaliar os diferentes sistemas de manejo do solo e de culturas quanto aos conteúdos de C e N e seus efeitos sobre as guildas funcionais de nematoides.

## 1 REVISÃO DE LITERATURA

### 1.1 NEMATOIDES EDÁFICOS COMO INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO

Os nematoides são animais invertebrados não-segmentados que habitam os vários biomas do planeta, ocupando nichos no mar, água doce ou ambientes terrestres que forneçam uma fonte disponível de carbono orgânico (BONGERS; FERRIS, 1999). Estima-se que, de cada cinco animais multicelulares no planeta, quatro sejam nematoides (HUGOT et al., 2001), havendo entre 40.000 e 10.000.000 de espécies no filo Nematoda (BLAXTER, 1998), embora apenas cerca de 1% dessas espécies já tenham sido descritas (YEATES; BOAG, 2006).

Os nematoides que ocorrem no solo são microscópicos e apresentam grande abundância (milhões/m<sup>2</sup>) e diversidade (muitas vezes mais que 30 táxons), participando de todos os níveis tróficos da rede alimentar (YEATES; BOAG, 2003) e movendo-se no filme de água entre as partículas do solo (TIHOHOD, 1993). De acordo com Bongers e Ferris (1999), os organismos maiores vivem naturalmente nos canais do solo ou criam túneis e câmaras, enquanto os organismos menores, incluindo os nematoides, são principalmente aquáticos e vivem no filme de água entre as partículas de solo. O seu tamanho permite o movimento pelos poros entre partículas ou entre agregados, sem atividade de construção de túnel.

Yeates et al. (1993) propuseram a ocorrência de oito grupos de nematoides no solo, que seriam: a. fitoparasitas ou fitófagos, aqueles que se alimentam de plantas vasculares; b. fungívoros ou micófagos, os que têm como fonte de alimento hifas de fungos saprofitos, penetrando-as com um pequeno estilete; c. bacteriófagos, que têm como base alimentar qualquer fonte procariótica; d. ingestores de substrato, que utilizam principalmente a ingestão de substrato onde há crescimento de bactérias, geralmente nematoides marinhos; e. carnívoros ou predadores, se alimentam de invertebrados do solo (protistas, rotíferos e outros nematoides); f. os que se alimentam de eucariotos unicelulares, como algas e diatomáceas; g. nematoides que apresentam estágios infectivos ou de dispersão como parasitas de animais (vertebrados e invertebrados) e que podem ter um ciclo reprodutivo alimentar bacteriano ou fúngico no solo; h. onívoros (uma combinação de a-f acima), mas geralmente aplicado a nematoides da ordem Dorylaimida.

A proposta para utilização desses organismos em estudos ecológicos no solo (YEATES et al., 1998; CARES, 2006; GOULART, 2007) é um reagrupamento, permanecendo cinco grupos tróficos básicos, a saber: fitófagos, fungívoros, bacteriófagos, predadores e onívoros, sendo os dois grupos mais abundantes os fitófagos e os bacteriófagos.

As funções ecológicas dos nematoides no solo incluem a decomposição de matéria orgânica, mineralização de nutrientes, degradação de toxinas e regulação da população de microrganismos (BONGERS; FERRIS, 1999), podendo estimular o desenvolvimento de plantas (FU et al., 2005).

Com base no fluxo de energia, os nematoides seriam considerados pouco importantes, entretanto, a contribuição de um grupo de organismos para o funcionamento do sistema como um todo não pode ser julgada somente com base na quantidade de energia processada por esse grupo (GOULART, 2007). Nas cadeias alimentares, consumidores como os nematoides podem ser relativamente pouco importantes para o fluxo de energia, porém podem realizar um papel importante como reguladores de taxas ou velocidades das transformações como a decomposição de matéria orgânica (WHITFORD et al., 1982).

As dinâmicas populacionais de nematoides microbiófagos (fungívoros e bacteriófagos) tendem a se sincronizar com aquelas dos microrganismos dos quais esses nematoides se alimentam (FRECKMAN, 1985; MIKOLA, 1998). Assim, nematoides fungívoros e bacteriófagos afetam a atividade de fungos e bactérias, conseqüentemente afetando também os processos desempenhados por esses microrganismos. Em variadas condições ambientais, os nematoides microbiófagos contribuem direta e indiretamente para o processo de decomposição de matéria orgânica, chegando a elevar taxas de mineralização de carbono (respiração) e de outros nutrientes (ANDERSON et al., 1981; TROFYMOW et al., 1983; BARDGETT; CHAN, 1999; FERRIS et al., 1998; MIKOLA; SETALA, 1998; CHEN; FERRIS, 1999; LAAKSO; SETALA, 1999).

A aceleração do crescimento microbiano, decorrente da alimentação de nematoides em nível ótimo, ocorre por meio da manutenção de microrganismos, especialmente bactérias, na fase logarítmica de crescimento populacional, o que pode aumentar a mineralização de nutrientes (ANDERSON et al., 1981). A alimentação de nematoides microbiófagos, em nível considerado ótimo, promove um maior crescimento microbiano, como resposta compensatória a essa alimentação

(GOULART, 2007).

Outra importante função dos nematoides no solo está relacionada à redistribuição de recursos, de forma mais assimilável para outros consumidores, estimulando populações de certos microrganismos (FU et al., 2005). Até 40% do carbono ingerido por nematoides bacteriófagos é liberado pela cutícula na forma de CO<sub>2</sub>, que retorna à atmosfera e é disponibilizado para a fotossíntese (FERRIS et al., 1995a) e o nitrogênio é excretado na forma de amônio disponível para as plantas e para a população bacteriana no solo (YEATES et al., 2009).

Além dos nematoides microbiófagos, o grupo dos predadores regula a mineralização de nutrientes alimentando-se de pequenos animais no solo, inclusive nematoides microbiófagos, constituindo, portanto, um grupo pelo qual os recursos passam para níveis tróficos superiores na cadeia alimentar (WARDLE; YAETES, 1993).

Os nematoides edáficos são organismos que respondem com rapidez às mudanças no ambiente pois, para se alimentarem e completarem o ciclo de vida, devem ser capazes de se mover livremente através da água (FRECKMAN; ETTEMA, 1993). Assim, a textura e umidade do solo e a disponibilidade de alimento conveniente são críticas na determinação da diversidade das comunidades de nematoides (YEATES et al., 1993).

Segundo Bongers e Ferris (1999), os nematoides são bons bioindicadores em estudos da qualidade dos solos, principalmente porque: a. estão entre os metazoários mais simples, ocorrendo em qualquer ambiente que forneça uma fonte de carbono orgânico, em qualquer tipo de solo, sob diversas condições climáticas e em habitats que variam de equilibrado a extremo distúrbio; b. no solo, vivem em filmes de água e sua cutícula permeável dirige o contato com o seu microambiente; c. não migram rapidamente de condições estressantes e muitas espécies sobrevivem à desidratação, congelamento ou estresse de oxigênio; d. ocupam posições-chave nas redes alimentares do solo; e. suas características morfológicas internas podem ser vistas sem dissecação, pois são transparentes; f. o hábito alimentar é facilmente identificado de acordo com a estrutura da cavidade bucal e faringe; g. respondem rapidamente à perturbação e enriquecimento nutricional do ambiente.

Estudos em várias partes do mundo tentam relacionar a abundância de espécies distintas de nematoides ao uso e manejo do solo, onde se espera que

sua abundância em determinadas áreas possa ser usada para indicar as condições biológicas restritivas (YEATES; BONGERS, 1999).

Segundo Bongers e Ferris (1999), isto pode ser contrastado ao interesse em um único grupo funcional, geralmente agentes patogênicos de plantas. Contudo, muitos nematoides são identificados como pertencentes a esses grupos com base em evidências inadequadas e, como muitas espécies têm várias fontes alimentares, o ideal seria quantificar a atividade alimentar de cada espécie em um determinado solo, cultura, manejo e a combinação com o clima. O uso de “espécies indicadoras” de qualquer grupo trófico reflete uma aproximação do grupo funcional.

Por enquanto, indicadores simples têm sido encontrados entre nematoides de ecossistemas agrícolas. Possivelmente, a melhor aproximação até agora implica estudos de fitoparasitas (Heteroderidae, Longidoridae, Trichodoridae), já que existem limites dessas populações no solo que determinam se certas culturas ou variedades das culturas devem ser plantadas ou não (YEATES; BONGERS, 1999). Os fitoparasitas têm sido identificados em estudos envolvendo comunidades de nematoides mais sensíveis a distúrbios ambientais, que podem ser utilizados como grupos funcionais para comparação entre áreas nativas e cultivadas, como aqueles pertencentes à família Criconematidae (GOULART, 2007; TOMAZINI et al., 2008a).

Nematoides da família Criconematidae estão entre os grupos mais promissores nesse aspecto, e têm sido relatados como sensíveis à perturbação ambiental em em variados ambientes e sistemas de manejo agrícola. Em áreas no Cerrado, Huang e Cares (1995) e Goulart et al. (2003) detectaram nematoides da família Criconematidae apenas em áreas nativas. Arieira (2012) também verificou a ocorrência desses nematoides apenas em áreas nativas no Paraná, onde *Mesocriconema* spp. e *Discocriconemella* spp. foram os nematoides dominantes.

Nematoides do gênero *Discocriconemella*, inclusive, foram detectados em fragmentos florestais em Pernambuco (CARDOSO et al., 2015) e estavam praticamente restritos à vegetação nativa no estado de São Paulo (TOMAZINI et al., 2008a). Mattos et al. (2008) observaram que *Discocriconemella* spp. foram eficientes em separar áreas nativas de áreas agrícolas, assim como na diferenciação de sistemas de manejo em áreas agrícolas. *Mesocriconema* spp. apresentou o maior potencial como bioindicador em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, sendo observada redução de suas populações após a colheita (MIRANDA et

al., 2002). Também foi verificada maior abundância destes nematoides, após vários anos sem revolvimento do solo, em áreas de cana-de-açúcar (ARIEIRA et al., 2013). No mesmo sentido, Goulart et al. (2003) observaram que *Discocriconemella* spp. foram os nematoides mais sensíveis aos distúrbios em áreas de cultivo de milho e Santiago et al. (2012) verificaram que nematoides da família Criconematidae foram favorecidos pelo cultivo de milho consorciado com feijão-de-porco, em comparação com áreas de monocultivo. Embora a maioria dos trabalhos indique que estes nematoides são indicadores de ecossistemas com menor distúrbio e intervenção, Matos et al. (2011) não verificaram efeito da aplicação de vinhaça sobre as populações de *Mesocriconema* spp.

Outro grupo que tem sido relatado como eficiente em diferenciar ecossistemas são os nematoides predadores da família Mononchidae. Em trabalhos desenvolvidos por Goulart et al. (2003) e Cardoso et al. (2012), nematoides dessa família prevaleceram em Cerrado e fragmentos florestais em Pernambuco, respectivamente. Torres et al. (2006), também, verificaram que populações de predadores, principalmente da família Diplogasteridae, eram superiores em áreas de meloeiro sem sintomas de danos aparente por nematoides.

Nematoides da ordem Dorylaimida também têm sido avaliados como característicos de ambientes com menor perturbação, como verificado por Cardoso et al. (2012), sendo dominantes em áreas de Cerrado (GOULART et al., 2003), reduzidos com a aplicação de vinhaça (MIRANDA et al., 2012) e favorecidos pelo consórcio de milho com feijão-de-porco (SANTIAGO et al., 2012). Embora seja um classificado como fitoparásita, nematoides do gênero *Xiphinema* foram destacados em diversos trabalhos por se associarem a áreas de floresta nativa ou plantada, o que indica que possam ser mais sensíveis à perturbação ambiental. Altas populações foram relatadas por Mattos et al. (2002) em áreas de *Eucalyptus* spp. e *Pinus caribaea* em cultivo mínimo, por Mattos et al. (2006) em áreas de *Eucalyptus* spp. e por Cardoso et al. (2012) em floresta nativa.

Em agroecossistemas com cana-de-açúcar, Miranda et al. (2012) verificaram favorecimento desse grupo de nematoides após a aplicação de vinhaça. Arieira (2012) também relatou que nematoides da família Dorylaimidae (principalmente *Dorylaimellus* spp. e *Mesodorylaimus* spp.) são eficientes em diferenciar sistemas de cultivos, sendo característicos de áreas sob sistema de rotação de culturas, em comparação a áreas de sucessão soja-trigo. Em adição,

Freitas et al. (2008) verificaram relação de predação de nematoides bacteriófagos por *Eudorylaimus* spp. em áreas de citros no Distrito Federal, indicando que este grupo de nematoides pode inclusive influenciar em outros grupos da nematofauna.

## 1.2 GRUPOS FUNCIONAIS DE NEMATOIDES E SUAS RELAÇÕES COM ATRIBUTOS DO SOLO

A identificação de grupos-chave para monitoramento ambiental tem como objetivo fundamental relacionar os diversos grupos da comunidade com atributos ambientais, a fim de compreender as respostas dos nematoides a certos níveis de distúrbio. No solo, acrescentar mensurações de atributos físicos, químicos e biológicos à avaliação de comunidades de nematoides permite, além do objetivo já descrito, uma maior compreensão do ecossistema do solo como um todo.

É sabido que a umidade do solo é um fator que tem grande influência na dinâmica de comunidades de nematoides. Nesse âmbito, dois aspectos são importantes: a precipitação e o conteúdo de água no solo. Freitas et al. (2009) verificaram que *Trichodorus* spp. prevaleceram na estação chuvosa. O mesmo foi observado por Freitas et al. (2008), que relataram que a estação chuvosa também favoreceu *Helicotylenchus* spp. e desfavoreceu *Meloidogyne* spp., *Paratrichodorus* spp. e *Mesocriconema* spp. Gomes et al. (2003) verificaram que a precipitação teve correlação positiva com onívoros e *Acrobeles* spp. e negativa com *Cephalobus* spp. e *Meloidogyne* spp, embora os próprios autores citem que os táxons e os grupos tróficos abundantes se relacionam mais com o conteúdo de água no solo que a precipitação anual.

Em estudos desenvolvidos em Pernambuco, Cardoso et al. (2012) verificaram que o conteúdo de água no solo teve correlação positiva com Mononchidae e correlação negativa com *Hemicycliophora* spp. e Cardoso et al. (2015) identificaram que nematoides das ordens Dorylaimida e Mononchida se correlacionaram com o conteúdo de água. Ainda em áreas de cana-de-açúcar em Pernambuco, Rodrigues et al. (2011) obtiveram correlação negativa entre umidade do solo e *Pratylenchus* spp., *Mesocriconema* spp., Dorylaimidae e Mononchidae.

No Distrito Federal, Freitas et al. (2009) observaram que a umidade do solo se correlacionou negativamente com abundância total de nematoides bacteriófagos e fungívoros. Já Gomes et al. (2003) verificaram que o conteúdo de

água no solo apresentou correlação positiva com os bacteriófagos, *Acrobeles* spp. e *Pratylenchus* spp. e correlação negativa com fitoparasitas e *Cephalobus* spp. Huang e Cares (1995) relataram que a população de nematoides fitoparasitas pode ser influenciada pela drenagem do solo e nível de oxigenação, que estão diretamente relacionados à textura do solo. Assim, a textura do solo tem papel fundamental na dinâmica das comunidades, como verificado por Cardoso et al. (2012), os quais relataram que em fragmentos florestais em Pernambuco a fração areia apresentou correlação negativa com *Acrobeles* spp. e correlação positiva com Rhabditidae e *Hemicycliophora* spp. A fração silte teve correlação negativa com *Aphelenchoides* spp. e *Tylosorus* spp., enquanto a fração argila teve correlação negativa com *Hemicycliophora* spp. Em áreas de cana-de-açúcar, Cardoso et al. (2015) verificaram que *Hoplolaimus* spp. e *Acrobeles* spp. foram associados ao teor de areia, enquanto *Pratylenchus* spp. e *Mesocriconema* spp. se associaram ao conteúdo de argila. No mesmo trabalho, os autores indicaram, ainda, que em fragmentos florestais *Acrobeles* spp. se associaram ao teor de areia, Rhabditidae e Tylenchidae se associaram ao teor de silte e *Helicotylenchus* spp. se associaram ao teor de argila.

Como a textura do solo e o conteúdo e a disponibilidade de água no solo são fatores importantes para os diversos grupos de nematoides de uma comunidade, espera-se que tanto a porosidade quanto a densidade do solo tenham um importante papel nesse aspecto. Dois experimentos desenvolvidos em Pernambuco confirmam essa hipótese. Cardoso et al. (2012) verificaram que a porosidade total se correlacionou negativamente com *Paratrachodorus* spp. e positivamente com nematoides da família Cephalobidae em áreas de cana-de-açúcar. Cardoso et al. (2015) relataram que nematoides da ordem Dorylaimida se associaram com poros maiores, tanto nas áreas de floresta quanto nas áreas de cultivo de cana-de-açúcar, enquanto os das famílias Aphelenchidae e Rhabditidae se associaram com a densidade do solo e os poros menores nas áreas de cultivo.

Associações entre a densidade do solo e os nematoides fitoparasitas *Pratylenchus* spp., *Meloidogyne* spp. e *Hoplolaimus* spp. foram observadas por Cardoso et al. (2015), em fragmentos florestais. Em adição, Cardoso et al. (2012) verificaram que a densidade do solo se correlacionou positivamente com *Hemicycliophora* spp. e *Pratylenchus* spp. e negativamente com *Meloidogyne* spp., *Xiphinema* spp., enquanto a resistência à penetração se correlacionou

negativamente com nematoides de vida livre e positivamente com *Mesocriconema* spp.

Associações entre comunidades de nematoides e atributos químicos do solo foram testadas por Freitas et al. (2008) em áreas de citros no Distrito Federal e por Matos et al. (2011) em áreas de cana-de-açúcar em Pernambuco. Os primeiros autores relataram que onívoros, carnívoros e fungívoros se associaram com pH elevado, teores de Ca, Mg e P e matéria orgânica. Correlações negativas foram observadas entre bacteriófagos e os teores de Ca e Mg, bem como entre fitoparasitas e Ca, Mg, P, K, Na e matéria orgânica.

Matos et al. (2011), também, verificaram que as correlações entre nematoides e atributos químicos do solo podem variar em função do ambiente. Em áreas de tabuleiro, relataram que o total de nematoides e o total de fitoparasitas se correlacionaram negativamente com P e positivamente com Ca e saturação de bases. Já em área de encosta, o total de fitoparasitas se correlacionou negativamente com Mg, enquanto o total de nematoides se correlacionou positivamente com pH. Porém, observaram que, tanto nas áreas de tabuleiro quanto de encosta, a matéria orgânica se correlacionou negativamente com total de nematoides, total de nematoides de vida livre e total de fitoparasitas.

Ramos et al. (2010), avaliando níveis de intervenção humana e degradação do solo em áreas de caatinga na Bahia e Pernambuco, também, verificaram que a comunidade de nematoides se relaciona a diferentes atributos físico-químicos dependendo do ambiente. Assim, não verificaram correlações entre nematoides e os parâmetros avaliados em áreas com processo erosivo intermediário. Nas áreas com processo erosivo inicial, *Helicotylenchus* spp. se correlacionou positivamente com as classes de argila, Ca, Mg, K, soma de bases e saturação por bases, enquanto nas áreas com processo erosivo avançado, a saturação por alumínio se correlacionou positivamente com *Trichodorus* spp., Aphelenchidae e Mononchidae.

Relacionando os nematoides a atributos biológicos do solo, Cardoso et al. (2015) verificaram que *Mesocriconema* spp. e *Discocriconemella* spp. se associaram com respiração do solo em áreas de floresta em Pernambuco. Já em áreas com citros no Distrito Federal, Freitas et al. (2009) verificaram correlação negativa entre a abundância relativa de nematoides fitoparasitas e a biomassa microbiana de carbono, biomassa microbiana de nitrogênio e respiração basal. Em

relação aos nematoides de vida livre, a respiração basal se correlacionou positivamente com fungívoros, predadores (especialmente *Ironus* spp.) e bacteriófagos e a biomassa microbiana e a respiração basal se correlacionaram positivamente com predadores e onívoros.

É importante destacar que a dinâmica de alguns grupos de nematoides pode variar em função da profundidade de amostragem, como demonstrado por Cardoso et al. (2012), que verificaram que a profundidade tem correlações positivas com *Mesocriconema* spp. e negativas com as famílias Rhabditidae, Dorylaimidae e Mononchidae.

### 1.3 MANEJO AGRÍCOLA DE SOLOS

O solo é um recurso natural, vital para o funcionamento de todo o ecossistema terrestre, sendo composto por minerais inorgânicos, partículas de areia, silte e argila, formas estáveis da matéria orgânica derivadas da decomposição pela biota do solo, a própria biota e gases (DORAN et al., 1996). Dessa forma, o solo deve ser considerado como um ecossistema complexo e dinâmico (CASTRO et al., 1993), hábitat de diversos organismos.

A conversão de ecossistemas naturais em ecossistemas agrícolas (agroecossistemas), com substituição da vegetação nativa por cultivos agrícolas, leva a diversas alterações. Tal conversão envolve uma série de atividades que afetam as taxas de adição e decomposição da matéria orgânica do solo (ZINN et al., 2005) com redução dos estoques de carbono orgânico (RANGEL; SILVA, 2007), alterações na densidade e diversidade dos organismos (LIMA et al., 2006; ARAÚJO; MONTEIRO, 2007), nas características físico-hídricas do solo e no crescimento de raízes (STONE; SILVEIRA, 2001).

Assim, a ciclagem de carbono em determinado ecossistema é alterada em função dessa transição. Em ecossistemas naturais, a ciclagem do carbono é determinada pelos fatores de formação do solo, influenciando o aporte de resíduos e as saídas de carbono (STEVENSON, 1994). Já em agroecossistemas, em função da produção diferenciada de resíduos, do número de cultivos, das espécies vegetais, da adubação, dos procedimentos de colheita, dos métodos adotados de preparo do solo e do manejo dos restos culturais, essa dinâmica é alterada (RANGEL; SILVA, 2007; LAL; BRUCE, 1999). Além disso, as

transformações microbianas, bem como suas reações químicas, podem ser alteradas sempre que um ecossistema sofre algum tipo de interferência (CASTRO et al., 1993)

Segundo Tavares Filho et al. (2001), a finalidade dos sistemas de manejo de solos é criar condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas. Entretanto, haverá modificações qualitativas e quantitativas diferenciadas na constituição do solo (CASTRO et al., 1993), sendo as propriedades físicas as mais afetadas (CENTURION et al., 2001). Os sistemas de manejo dos solos, quando mal utilizados, podem agravar as perdas de solo, água, nutrientes e matéria orgânica por erosão hídrica, acarretando em degradação de agroecossistemas (HERNANI et al., 1999).

Independentemente da espécie vegetal, a maximização da produção é alcançada quando há disponibilidade adequada de água, nutrientes e oxigênio, que é, direta ou indiretamente, influenciada pela estrutura do solo (SECCO et al., 2005).

Dentre os manejos aos quais os solos agrícolas são submetidos, o preparo do solo e o sistema de culturas têm grande influência em toda a dinâmica edáfica. O preparo do solo tem como objetivo principal melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, visando aumentar seu potencial produtivo (CARVALHO et al., 2004). Entretanto, as condições de umidade durante o preparo, o teor de argila e de matéria orgânica do solo, a profundidade de mobilização, a intensidade de revolvimento, o tipo de implemento utilizado e o manejo dos resíduos vegetais podem levar a modificações na estrutura do solo, acarretando restrições ao crescimento das raízes (CENTURION; DEMATTE, 1992; DE MARIA et al., 1999).

O tipo de preparo influencia a densidade do solo (CORRECHEL et al., 1999), sendo esta relacionada negativamente com a porosidade de aeração e positivamente com a resistência do solo à penetração das raízes (SILVA et al., 2005).

Os sistemas convencionais de preparo do solo têm sido apontados como causadores de diversas alterações em sua estrutura. Esses sistemas pulverizam a superfície dos solos, tornando-os mais suscetíveis ao processo erosivo e facilitam a formação de impedimentos físicos abaixo das camadas trabalhadas pelo implemento (BAUDER et al., 1981; TAVARES FILHO; TESSIER, 1998; TAVARES FILHO et al., 2001). De Maria et al. (1999) citam que, em áreas sob

preparo convencional, é comum encontrar camadas compactadas, próximas à superfície, formadas pelos rodados e, em maiores profundidades, formadas pelo elemento cortante.

Essas alterações ocorrem em virtude do grau e intensidade de mobilização, o que pode levar à redução no conteúdo de água disponível e/ou má aeração (TORMENA et al., 1998). Da mesma forma, as modificações provocadas pelo revolvimento do solo alteram as forças de retenção de água e sua disponibilidade, além da rugosidade superficial, ocasionando diminuição da infiltração e aumento da evaporação de água (SILVA et al., 2005).

Em sistemas de preparo convencional dos solos, com aração e gradagem antecedendo cada cultivo, há maior suscetibilidade ao escoamento superficial das águas, com arraste de partículas, provocando a degradação das terras, que será tão intensa quanto for a erosão (RHEINHEIMER et al., 1998)

Em virtude desse escoamento superficial de água, o uso de sistemas convencionais de manejo do solo pode elevar as perdas de nutrientes e de matéria orgânica por erosão hídrica, relacionando-se, inclusive, com a eutroficação de mananciais, devido ao acúmulo de nutrientes decorrente da deposição pela enxurrada e da decomposição da biomassa existente no fundo de reservatórios (HERNANI et al., 1999).

Além disso, a movimentação do solo pelas operações de cultivo tem grande influência na emergência e longevidade das sementes de ervas anuais em solos arados, devido à quebra de dormência das sementes (BLANCO; BLANCO, 1991).

Práticas agrícolas que objetivam menor degradação do solo, bem como permitem maior sustentabilidade da agricultura, têm recebido atenção crescente, tanto por parte dos pesquisadores como dos agricultores (BALOTA et al., 1998). Assim, surgiu no Brasil, na década de 1970, a forma de manejo do solo denominada sistema de semeadura direta (SILVA et al., 2000), sem o preparo e revolvimento do solo, alterando sensivelmente os componentes físicos, químicos e biológicos dos solos (BALOTA et al., 1998).

Esse sistema baseia-se na mobilização apenas na linha de semeadura, mantendo a superfície coberta pelos restos da cultura anterior, tendo como efeitos benéficos a redução da erosão, aumento no teor de matéria orgânica no solo e economia de combustíveis nas operações agrícolas (DE MARIA et al.,

1999), além de melhoria da estrutura, porosidade, retenção e infiltração de água, atividade biológica, nitrogênio total do solo, capacidade de troca de cátions e conteúdo de nutrientes, entre outros (BAYER et al., 1998).

Os sistemas de semeadura direta e preparo reduzido podem contribuir para uma melhor condição físico-hídrica do solo, pela não formação de crostas superficiais, aumento da estabilidade de agregados devido ao acúmulo de matéria orgânica, estabelecimento de porosidade contínua (bioporos) pela atividade biológica da fauna edáfica e de raízes e o equilíbrio entre os valores de macro e microporosidade, que por sua vez podem contribuir para um maior volume de água disponível (SILVA et al., 2005).

Um fator fundamental para a adoção do plantio direto é a manutenção dos restos vegetais na superfície do solo, o que lhe proporciona cobertura suficiente para dissipação da energia cinética das gotas de chuva e barreiras para o escoamento superficial das águas, diminuindo a degradação das terras pela erosão (RHEINHEIMER et al., 1998). De acordo com Tormena et al. (2002), o controle da erosão é fundamental para o reduzir o processo de degradação do solo e práticas eficientes exigem a manutenção da cobertura do solo.

Devido à maior quantidade de matéria orgânica e atividade biológica na superfície, a estrutura de solos sob plantio direto pode ser mais favorável ao crescimento e desenvolvimento de plantas (SILVA et al., 2000). Entretanto, de acordo com Bayer et al. (1998), as melhorias nas condições físicas, químicas e biológicas do solo inicialmente não se expressam no rendimento de culturas, pois a redução do revolvimento resulta numa menor taxa de mineralização do nitrogênio orgânico do solo e dos resíduos vegetais das culturas anteriores.

A rotação de culturas contribui para a manutenção do equilíbrio dos nutrientes no solo e para o aumento da sua fertilidade, além de permitir melhor utilização dos insumos agrícolas (CARVALHO et al., 2004). Por outro lado, a sucessão de culturas determina, com o tempo, queda na produtividade por alterações nas características do solo e surgimento de condições do ambiente propícias à multiplicação de pragas e patógenos (SILVEIRA et al., 2001).

A rotação de culturas, pela inclusão de espécies com sistema radicular agressivo e pelos aportes diferenciados de matéria seca, pode alterar as propriedades físicas do solo, levando a alterações de acordo com o período de cultivo, do número de cultivos por ano e das espécies cultivadas (STONE;

SILVEIRA, 2001). Os mesmos autores indicam, assim, a rotação de culturas como uma estratégia para amenizar os efeitos da compactação e o cultivo de espécies com sistema radicular vigoroso, as quais estabelecem canais que favorecem o desenvolvimento de raízes da cultura subsequente.

Mitchell et al. (1991), revisando os resultados dos três experimentos mais antigos dos Estados Unidos, todos com mais de cem anos, concluíram que a rotação de culturas e a recuperação do teor de N do solo pela utilização de leguminosas foram as estratégias mais eficientes para atingir uma produção sustentável (AMADO et al., 2000).

A cultura de cobertura deve produzir resíduos capazes de formar uma proteção mais estável no solo, com decomposição mais lenta e maior persistência, o que depende da relação C/N do resíduo vegetal. Bayer et al. (2004) salientam que o Sistema de semeadura direta com culturas outonais e estivais anualmente proporciona maiores aumentos nos estoques de matéria orgânica do solo nas camadas superficiais, variando de 39% a 53% em comparação à mesma camada de solo em sistema de plantio convencional apenas com culturas estivais.

A inclusão de leguminosas em sistemas de rotação de culturas é uma estratégia que também deve ser avaliada em relação ao seu efeito nos estoques da matéria orgânica do solo (AMADO et al., 2000). Esse tipo de cobertura proporciona incrementos na produtividade das culturas subsequentes e maior aporte de resíduos ao solo, favorecendo o acúmulo de material orgânico e sequestro de carbono. Além disso, a substituição parcial dos fertilizantes minerais pelo N fixado biologicamente por leguminosas pode resultar numa diminuição na liberação de N<sub>2</sub>O (AMADO et al., 2000). Este gás, proporcionalmente ao CO<sub>2</sub>, tem um efeito muito maior na promoção do aquecimento global (LI, 1995).

A rotação de culturas em sistema de semeadura direta é um dos sistemas de produção mais indicados para o manejo de solos ácidos. No entanto, deve-se chamar a atenção para o fato de o aumento das perdas de Ca em alguns sistemas requerer maior reposição do elemento pela aplicação de calcário ou redução do intervalo de tempo entre as aplicações de corretivo; caso contrário, culturas mais sensíveis à acidez poderão ter sua produtividade afetada (FRANCHINI et al., 2007).

## 1.4 ESTRUTURAÇÃO DO SOLO

Embora não seja um fator de crescimento para as plantas, a estrutura do solo exerce influência na disponibilidade de água e ar para as raízes e no suprimento e desenvolvimento do sistema radicular (PALMEIRA et al., 1999). A redução na taxa de infiltração de água, por diminuição da macroporosidade, favorece seu escoamento superficial e o arraste de partículas finas das posições mais elevadas para as mais baixas (CENTURION; DEMATTÊ, 1985). A compactação do solo causada pelo manejo inadequado promove uma alteração estrutural e reorganização das partículas, com aumento da densidade e decréscimo do volume de poros de maior diâmetro (DEXTER, 2004).

A reestruturação do solo depende do sistema de manejo utilizado no seu preparo e a adoção de sistemas de manejo que mantenham a proteção do solo pelo aporte de resíduos orgânicos é fundamental para a manutenção de uma boa estrutura (SILVA, 2008). Além disso, esse aporte de material orgânico serve como fonte de energia para a biomassa microbiana, que atua como agente de estabilização de agregados (FRANCHINI et al., 2007).

Castro Filho et al. (1998), estudando um Latossolo Roxo de Londrina, no Paraná, concluíram que o acúmulo de resíduos vegetais na superfície, como consequência da adoção do sistema de plantio direto, melhorou o estado de agregação graças ao incremento do teor de carbono orgânico, sobretudo na camada de 0-10 cm, independentemente da sucessão de culturas. Também verificaram que o diâmetro médio geométrico dos agregados nesse sistema foi superior aos que ocorreram em áreas sob plantio convencional.

Carpeneo e Mielniczuk (1990), estudando a estabilidade estrutural dos agregados em condições de mata e campo nativo, verificaram que houve redução da agregação quando os solos foram submetidos à aração e à gradagem para o cultivo de trigo e soja. Segundo Da Ros et al. (1997), após cinco anos de cultivo, o diâmetro médio geométrico dos agregados no tratamento com plantio direto foi estatisticamente equivalente ao do campo nativo, diminuindo com o aumento da intensidade de preparo do solo, com valores de 2,96 vezes menores no preparo convencional comparado ao campo nativo.

Diversos trabalhos têm avaliado os efeitos dos diferentes manejos do solo nas propriedades físicas (FREGONEZI et al., 2001; MULLER et al., 2004;

CARDOSO et al., 2006) e mudanças nessas propriedades são, em grande parte, consequência de alterações na estrutura do solo (DREES et al., 1994).

O uso de metodologias que quantifiquem e qualifiquem as condições estruturais do solo nos vários sistemas de manejo é importante na avaliação da qualidade do solo, considerada um indicador da sustentabilidade dos sistemas de uso e manejo (ARSHAD et al., 1996). Ralish et al. (1991) e Neves et al. (2003) demonstraram a necessidade de se conhecer minuciosamente a estrutura do solo no campo, com o propósito de se avaliar o efeito das diferentes práticas agrícolas na morfologia do solo. Isso vem sendo praticado com a utilização da metodologia referida por “perfil cultural”, que identifica o conjunto de horizontes do solo individualizados pela intervenção de implementos agrícolas, pelo comportamento das raízes das plantas e pela influência dos fatores naturais (PEREIRA NETO; GUIMARÃES, 2005), permitindo uma visão diferenciada na análise dos efeitos da exploração agrícola do solo.

Essa metodologia é uma ferramenta importante no estudo da variação estrutural do solo, mas também no estudo das interações de suas características físicas, químicas e biológicas, que são afetadas pela porosidade e movimentação da água, em função de manejos (TAVARES FILHO et al., 1999). Dessa forma, é possível compreender e, conseqüentemente, intervir nos processos de compactação e selamento do solo, auxiliar na escolha da técnica de amostragem e orientar a análise de suas interações bio-físico-químicas (TAVARES FILHO et al., 1999; FREGONEZI et al., 2001).

O método é fundamentado no estudo da morfologia do solo e consiste na delimitação dos volumes antropizados distintos, tanto em profundidade como lateralmente, a partir de critérios como: forma, tamanho e distribuição dos elementos estruturais; presença ou ausência de poros visíveis a olho nu e continuidade destes, forma e dureza de agregados e torrões; dentre outros fatores. A metodologia do Perfil Cultural consiste na observação e caracterização detalhada do perfil mobilizado de solo. É uma metodologia qualitativa que permite fazer estudos do estado estrutural direto a campo, principalmente com relação ao tipo de agregados (mais ou menos compactos) dentro de um mesmo volume de solo, levando-se em conta a heterogeneidade do meio físico trabalhado (TAVARES FILHO et al., 1999). Trabalhos mais recentes (PEREIRA NETO; GUIMARÃES, 2005; PEREIRA NETO et al., 2007; RALISCH et al., 2008), além do enfoque qualitativo da

metodologia, têm procurado explorar os dados quantitativamente, oferecendo maiores possibilidades de utilização dos resultados obtidos.

Segundo Tamia et al. (1999), as diferentes estruturas de um perfil cultural são denominadas de Unidades Morfológicamente Homogêneas (UMHs), e, de acordo com Pereira Neto et al., (2007), podem ser quantificadas pelo uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que são sistemas computacionais utilizados para analisar, mapear e quantificar áreas da superfície terrestre.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 ÁREAS DE ESTUDO E TRATAMENTOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Embrapa-Soja), localizado em Londrina - PR, Brasil, situado a 620 metros de altitude, 23°11' latitude Sul e 51°11' longitude Oeste, em Latossolo Vermelho eutroférico. As coletas foram realizadas nos anos de 2012, 2013 e 2014 em ensaios de longa duração (instalados em 1989) e as análises realizadas nos laboratórios de Fitopatologia e de Solos do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina.

O delineamento experimental do local é em blocos ao acaso em esquema fatorial 2 x 3, com quatro repetições, envolvendo dois sistemas de culturas e três sistemas de manejo do solo. Para cada experimento foram selecionadas algumas áreas, de acordo com os objetivos de cada trabalho.

Os sistemas agrícolas compreendem dois sistemas de culturas, a saber, (1) área de sucessão soja (*Glycine max*)/trigo(*Triticum aestivum*) e (2) rotação de culturas incluindo culturas de grãos [soja, milho (*Zea mays*) e trigo] e de cobertura e adubação verde [tremoço (*Lupinus albus*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e aveia preta (*Avena strigosa*)]. Os sistemas de manejo do solo foram: (A) sistema de semeadura direta, (B) sistema de semeadura direta com utilização de cruzador a cada três anos, (C) preparo convencional do solo com grade pesada. O histórico dos cultivos é apresentado na Tabela 1.

Com a finalidade de relacionar as comunidades de nematoides a diferentes atributos do solo, foram programadas amostragens (aqui identificadas como ensaios 1, 2 e 3) no experimento de longa duração, para estabelecer os níveis de impacto dos sistemas de culturas e de manejo do solo, a saber:

**Ensaio 1.** Foram realizadas coletas de solo nas áreas de Plantio direto em rotação de culturas e sucessão de culturas na profundidade de 0 – 20cm nos anos de 2011, 2012 e 2013. Como nesse período a cultura era soja (verão) e trigo (inverno) em todas as parcelas, o objetivo foi avaliar o efeito do ciclo de rotação de cultura quando a área se mantinha em um período de sucessão. Nesse experimento avaliou-se a comunidade de nematoides.

**Ensaio 2.** Foram realizadas coletas de solo na profundidade de 0 –

20cm no cultivo de trigo em 2012 nas áreas de semeadura direta e cultivo convencional com grade pesada, em ambos os sistemas de culturas. Avaliou-se a estabilidade de agregados e as comunidades de nematoides em cada classe de agregados estabelecida.

**Ensaio 3.** Foi realizada a caracterização morfoestrutural do solo pelo método do Perfil cultural na cultura do trigo em 2013 e coletou-se amostras de cada estrutura identificada. À partir dessas amostras, avaliou-se os conteúdos de Carbono e Nitrogênio, bem como as comunidades de nematoides.

**Tabela 1.** Histórico dos cultivos na área experimental desde a implantação (1989) até as avaliações realizadas (2011 – 2013).

Ano	Rotação de Culturas		Sucessão de Culturas	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno
1989, 1994, 1999, 2004, 2009	<i>Lupinus albus</i>	<i>Avena strigosa</i>	Soja	Trigo
1990, 1995, 2000, 2005, 2010	<i>Rhaphanus sativus</i>	Milho	Soja	Trigo
1991, 1996, 2001, 2006, 2011	Soja	Trigo	Soja	Trigo
1992, 1997, 2002, 2007, 2012	Soja	Trigo	Soja	Trigo
1993, 1998, 2003, 2008, 2013	Soja	Trigo	Soja	Trigo

A seguir, são descritas as metodologias envolvidas em cada etapa, apresentando-se as metodologia para estudo dos nematoides em um tópico único, pois foram idênticas nos três experimentos.

## 2.2 AGREGAÇÃO DO SOLO

Em cada tratamento (semeadura direta e cultivo convencional com grade pesada, em ambos os sistemas de culturas) e em todas as repetições foram coletadas amostras de solo para avaliação da estabilidade de agregados por via úmida.

Em laboratório, as amostras foram reumidecidas por capilaridade temperatura ambiente por 30 min. Em seguida, foram postas em aparelho de

oscilação vertical sobre um conjunto de peneiras de 1,0, 0,25 e 0,025 mm de diâmetro. Transcorridos 15 min, as porções retidas em cada peneira foram transferidas para cápsulas de alumínio com o auxílio de jatos de água, e secas em estufa a 105 °C por um período de 24 h para posterior pesagem.

As médias dos valores obtidos foram usados para o cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA), descontando-se a areia de acordo com Castro Filho et al. (1998), obtidos através das seguintes fórmulas:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (xi.wi)$$

$$DMG = \text{EXP} \frac{\sum_{l=1}^N wp.\log xi}{\sum_{l=1}^N wp}$$

$$IEA = \left( \frac{PAS - wp25 - areia}{PAS - areia} \right) \times 100$$

Onde:

wi = proporção de cada classe em relação ao total;

xi = diâmetro médio das classes (mm);

wp = peso dos agregados de cada classe (g);

wp25 = peso seco dos agregados da classe < 0,25 mm;

PAS = peso da amostra seca.

### 2.3 CARACTERIZAÇÃO MORFOESTRUTURAL

A caracterização morfoestrutural do solo foi realizada de acordo com a metodologia do perfil cultural (MANICHON; GAUTRONNEAU, 1996), adaptada por Tavares Filho et al. (1999). Para tanto, em cada tratamento, foram abertos quatro

perfis de 1,0 m de comprimento x 1,0 m de largura e 1,0 m de profundidade, perpendiculares ao sentido do trabalho do solo, visando detectar modificações morfológicas em função do sistema de manejo adotado.

Na estratificação foram determinadas as regiões alteradas e as não alteradas pelo manejo agrícola. As camadas foram classificadas como Livre (L), Estrutura Laminar Horizontal (Z), Fissurada (F) e Contínua (C), pela avaliação da distribuição espacial no perfil das estruturas causadas pelo tráfego das máquinas e a ação dos implementos agrícolas.

Na descrição das estruturas do solo foi realizada a avaliação do estado interno dos torrões, sendo estes classificados como agregados não compactos ( $\mu$ ), agregados compactos ( $\Delta$ ), agregados que estão em processo de compactação, mas que ainda guardam predominantemente as características do estado não compacto  $\mu$  sobre as características do estado compacto ( $\mu\Delta$ ), e agregados que estão bem compactos, mas que ainda guardam algumas características do estado não compacto  $\mu$  ( $\Delta\mu$ ).

Os desenhos esquemáticos dos perfis culturais do solo delimitando as unidades morfológicamente homogêneas (UMH's) seguiram os procedimentos descritos em Pereira Neto et al. (2007), na escala 1:10. Estes desenhos foram escaneados e importados para o software ArcView v.8.3, procedendo-se ao seu georreferenciamento, feito com pontos de controle situados nos quatro vértices do perfil, com unidade linear em centímetros, onde constarão as áreas das UMH's e uma área de ajuste denominada de S (função de compensar as irregularidades da superfície do perfil).

## 2.4 COLETA DO SOLO E EXTRAÇÃO DOS NEMATÓIDES

As coletas de solo visando a avaliação das comunidades de nematoides, assim como os métodos de extração dos mesmos foram realizadas com algumas modificações, dependendo dos atributos do solo aos quais foram relacionados, como descrito a seguir. Durante as coletas, o solo foi mantido em baldes e, posteriormente, transferido para sacos plásticos identificados e enviado ao laboratório, onde foi mantido em geladeira a 4°C, até seu processamento.

Para verificar o efeito do sistema de cultura ao longo do tempo (Experimento 1) foram coletadas 3 amostras de solo que compuseram uma amostra

composta por parcela, na profundidade de 0-20 cm, logo após a colheita nos cultivos de soja e trigo nos anos de 2011, 2012 e 2013. Posteriormente, 100cm<sup>3</sup> de solo de cada parcela foram suspensos em 2 L de água, com posterior passagem em peneiras consecutivas de aberturas 0,84 mm, 0,075 mm e 0,025 mm, clarificação por meio do método de flotação centrífuga em solução de sacarose (JENKINS, 1964) e conservação em solução de formalina (formaldeído a 4%).

Objetivando-se relacionar os nematoides e os agregados do solo (Experimento 2), o processo para separação dos agregados (descrito no item 2.2) foi repetido tantas vezes quanto necessário para compor um volume de 300 cm<sup>3</sup> por peneira (1,0, 0,25 e 0,025 mm de diâmetro). Nesse volume de solo os nematoides foram extraídos e a suspensão clarificada pela mesma metodologia descrita para as demais avaliações.

Com a finalidade de relacionar os grupos de nematoides às unidades morfológicamente homogêneas (UMH's) do perfil cultural (Experimento 3), foi coletado um volume de aproximadamente 1000 cm<sup>3</sup> de cada unidade, de onde os nematoides foram extraídos e as amostras clarificadas pela mesma metodologia descrita acima.

## 2.5 IDENTIFICAÇÃO DOS NEMATOIDES E CARACTERIZAÇÃO DAS COMUNIDADES

O número de nematoides foi estimado pela contagem em câmara de Peters, sob microscópio ótico, com a identificação de 200 indivíduos, aleatoriamente, até o nível de gênero, de acordo com Goseco *et al.* (1974a, 1974b), Bongers (1987), Fortuner *et al.* (1988) e De Ley e Blaxter (2002).

Os nematoides dos gêneros *Aphelenchoides*, *Ditylenchus*, *Tylencholaimus* e *Tylenchus* foram classificados como fungívoros, por não serem reportados como nas culturas avaliadas nesse experimento. Segundo Neher (2001), nematoides desses gêneros têm causado certa ambiguidade, pois podem, em alguns casos serem classificados como fungívoros ou como parasitas de plantas, ficando a classificação relacionada com o hábito alimentar predominante de cada família.

Após a identificação e contagem dos táxons, as comunidades de nematoides foram caracterizadas através dos seguintes mensurações ecológicas:

a) Diversidade, como preconizado por Yeates e Bongers (1999): número de gêneros distintos, índice de Shannon-Weaver ( $H'$ ), índice de equitatividade de Shannon-Weaver ( $J'$ ), índice de riqueza de Margalef ( $SR$ ) e índice de dominância de Simpson ( $D_s$ ), como preconizado por Yeates e Bongers (1999).

$$\text{Índice de Diversidade de Shannon-Weaver: } H' = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \text{Log}_e p_i$$

$$\text{Índice de Semelhança de Pielou: } J' = \frac{H'}{H'_{Max}}, \text{ onde}$$

$$H'_{Max} = \text{Log}_e S$$

$$\text{Índice de Riqueza de Margalef: } SR = \frac{S-1}{\text{Log}_e N}$$

$$\text{Índice de Dominância de Simpson: } D_s = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n n_i + n_i - 1}{N(N-1)} \right)$$

Onde:

$N$  = número de indivíduos identificados;

$S$  = número de táxons identificados; um dado táxon é considerado como o  $n$  táxon;

$p_i$  = proporção de indivíduos no  $n$  táxon.

b) Maturidade ecológica: índice de maturidade ( $MI$ ), índice de maturidade, com valores c-p 2-5 ( $MI$  2-5) e índice de parasitas de plantas ( $PPI$ ), segundo Bongers (1990).

$$\text{Índice de maturidade: } D = \sum_{i=1}^n c - p_i \cdot p_i$$

Onde:

$c - p_i$  = valor  $c - p$  da família à qual pertence o  $n$  táxon;

$p_i$  = proporção de indivíduos no  $n$  táxon.

c) Estrutura trófica: distribuição relativa (%) dos grupos tróficos, classificados pelos hábitos alimentares com base na morfologia do estoma-esôfago, segundo Yeates et al. (1993);

d) Condição de cadeia trófica: Índice de Estrutura (SI), Índice de Enriquecimento (EI), Índice de Base (BI) e Índice de Canal (CI), de acordo com Ferris et al. (2001) e pelo cruzamento do EI e SI foi avaliado o perfil faunal. Esses dados foram obtidos com base na abundância das “guildas” respectivas de cada índice ( $n$ ) e seus pesos específicos ( $k$ ).

$$\text{Índice de Enriquecimento: } EI = 100 \left[ \frac{e}{(e+b)} \right]$$

$$\text{Índice de Estrutura: } SI = 100 \left[ \frac{s}{(s+b)} \right]$$

$$\text{Índice Canal: } CI = 100 \cdot \left[ \frac{0,8Fu_2}{(3,2Ba_1 + 0,8Fu_2)} \right]$$

Onde:

$$e = \sum k_e \cdot n_e, \quad s = \sum k_s \cdot n_s \quad e \quad b = \sum k_b \cdot n_b$$

Os índices de diversidade foram calculados utilizando-se o software DivEs 3.0 e os índices para mensuração de distúrbio e condição de cadeia trófica foram obtidos com base na plataforma Nematode Indicator Joint Analysis – NINJA (SIERIEBRIENNIKOV et al., 2014).

## 2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os resultados quantitativos, incluindo os índices para mensuração da comunidade de nematoides, foram submetidos ao teste de homocedasticidade e normalidade e, atendidas as exigências estatísticas, à análise de variância (ANOVA) e, verificando-se a significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

As guildas de nematoides foram relacionadas aos manejos adotados através da Análise de Componentes Principais. No experimento 3 realizou-se, ainda a relação entre as guildas de nematoides e os conteúdos de Carbono e Nitrogênio, bem como ao volume das unidades morfológicamente semelhantes do perfil cultural através de Análise de Redundância e os dados foram submetidos à Análise de Variância Multivariada afim de verificar o efeito dos manejos. Também realizou-se a classificação hierárquica com base nas abundâncias absolutas dos táxons de nematoides, utilizando-se os coeficientes de dissimilaridade de Bray-Curtis e de similaridade de Jaccard para os cálculos das distâncias, conforme as fórmulas:

$$\text{Coeficiente de Jaccard: } S_j = \frac{c}{a + b + c}$$

Onde:

a = número de táxons da comunidade a

b = número de táxons da comunidade b

c = número de táxons comuns a ambas as comunidades

$$\text{Coeficiente de Bray-Curtis: } BC_{ij} = \frac{2C_{ij}}{S_i + S_j}$$

Onde:

$C_{ij}$  = soma dos menores valores dos taxa comuns a ambas as comunidade.

$S_i$  = Número total de taxa na comunidade i

$S_j$  = Número total de taxa na comunidade j

As Análises de Variância e teste de Tukey para comparação de

médias foram realizados utilizando-se o software Sisvar 5.6. As Análises de Componentes Principais, Análise de Variância Multivariada e Análise de Redundância foram realizadas utilizando-se a plataforma R e o pacote estatístico Vegan. A análise hierárquica ascendente foi realizada utilizando o software FDiversity (CASANOVES et al., 2010).

### **3 ARTIGO 1: EFEITO DA ROTAÇÃO DE CULTURAS EM PLANTIO DIRETO SOBRE COMUNIDADES DE NEMATOIDES.**

#### **RESUMO**

A rotação de culturas apresenta diversos efeitos sobre vários grupos de nematoides do solo, afetando diretamente e indiretamente os recursos alimentares disponíveis na rizosfera, bem como outras características químicas e físicas no solo. Com o objetivo de verificar se o efeito da adoção de rotação de culturas se mantém após um período de sucessão, foram coletadas amostras de solo em um experimento de longa duração. Para tanto coletou-se em duas safras (soja no verão e trigo no inverno) durante três anos. A área descrita como sucessão de culturas (CS) foi cultivada com uma sucessão soja/trigo desde 1989 e a área descrita como rotação de culturas (CR) foi cultivada em um esquema que envolvia seis culturas (soja, trigo, milho, tremoço, aveia e nabo forrageiro). Após extração e identificação, as comunidades de nematoides foram descritas quanto a diversos parâmetros ecológicos e as guildas funcionais de nematoides foram relacionadas aos sistemas de manejo com uso de Análise de Componentes Principais (PCA). Houve efeito dos sistemas de manejo das culturas, mas não houve alteração das comunidades de nematoides sob um mesmo sistema ao longo do tempo avaliado, indicando que os efeitos da rotação de culturas se mantêm, mesmo após um período de três anos em sucessão soja/trigo. Nematoides fitoparasitas e bacteriófagos corresponderam a mais de 80% das comunidades, independente do manejo, mas áreas sob rotação de culturas apresentaram maior proporção de nematoides carnívoros e onívoros que áreas sob sucessão soja/trigo. A adoção de rotação de culturas levou a comunidades mais maduras, principalmente por maiores valores do Índice de Estrutura (SI), sem haver efeitos muito nítidos no Índice de Enriquecimento (EI). A cultura implantada foi o fator determinante na estrutura das comunidades, mas aspectos da sazonalidade podem ter efeitos igualmente importantes.

**Palavras-chave:** Biodiversidade. Bioindicadores. Guildas funcionais. Manejo do solo. Nematoides de vida livre. Similaridade.

#### **ABSTRACT**

Crop rotation has several effects on different groups of soil nematodes and affects, directly and indirectly, available food resources in the rhizosphere as well as other chemical and physical soil characteristics. In order to verify the remain effect of adopting crop rotation after a period of succession, soil samples were collected in a long-term experiment. For that, we collected in two crops (soybean in summer and wheat in winter) for three years. The area described as crop succession (CS) was cropped with a succession soybean/wheat since 1989 and the area described as crop rotation (CR) was cropped in a scheme involving six crops (soybean, wheat, corn, lupine, oat and radish). After nematode extraction and identification, the communities were described by the different ecological parameters and functional nematodes guilds were related to management systems with the application of Principal Component Analysis (PCA). There was effect of crop management systems, but there was no change of nematode communities under one system over the evaluated time, indicating that effects of crop rotation are still present after a period of three years under soybean/wheat succession. Plant-parasitic and bacterivore nematodes accounted over 80% of the community, regardless of any management, but areas under crop rotation had a higher proportion of carnivores and omnivores, compared to areas under soybean/wheat succession. Adoption of crop rotation led to more mature communities, particularly with greater values of Structure Index (SI), with no clear effects on Enrichment Index (EI). The crop itself was the main factor determining the community structure, but seasonality aspects and may have equally important effects.

**Key-words:** Biodiversity. Bioindicators. Free-living nematodes. Functional guilds. Similarity. Soil management.

## INTRODUÇÃO

O manejo dos solos altera suas propriedades físicas, químicas e biológicas (BERTOL et al., 2004) e o sistema de rotação de culturas (rotação ou sucessão) pode alterar essa dinâmica, pela inclusão de espécies com diferenciados sistemas radiculares e aportes de matéria seca (STONE; SILVEIRA, 2000).

A rotação de culturas contribui para a manutenção do equilíbrio dos nutrientes no solo e para o aumento da sua fertilidade, além de permitir melhor

utilização dos insumos agrícolas (CARVALHO et al., 2004), podendo as culturas utilizadas alterarem atributos do solo como a atividade microbiana, estabilidade dos agregados (CAMPOS et al., 1995), porosidade e densidade do solo (ALBUQUERQUE, et al., 1995). Assim, a rotação de culturas é uma estratégia para amenizar os efeitos da compactação e o cultivo de espécies com sistema radicular vigoroso, as quais estabelecem canais que favorecem o desenvolvimento de raízes da cultura subsequente (STONE; SILVEIRA, 2001). Mitchell et al. (1991), revisando os resultados dos três experimentos mais antigos dos Estados Unidos, todos com mais de cem anos, concluíram que a rotação de culturas e a recuperação do teor de N do solo pela utilização de leguminosas foram as estratégias mais eficientes para atingir uma produção sustentável (AMADO et al., 2000).

Por outro lado, a sucessão de culturas determina, com o tempo, queda na produtividade por alterações nas características do solo e surgimento de condições do ambiente propícias à multiplicação de pragas e patógenos (SILVEIRA et al., 2001).

Evolutivamente, os nematoides do solo se estabeleceram em determinados nichos ecológicos e se adaptaram aos diversos recursos alimentares (WYSS, 2002), sendo amplamente afetados pelos recursos disponíveis. Para se alimentarem e concluírem os ciclos de vida, os nematoides devem ser capazes de se mover livremente através da água. Assim, a textura e umidade do solo, bem como a disponibilidade de alimento conveniente, são condições críticas na determinação da diversidade das comunidades de nematoides (YEATES et al., 1993).

Como os nematoides edáficos são altamente responsivos a alterações ambientais (FRECKMAN; ETTEMA, 1993; YEATES et. al., 1993; CURRY, 1994), nossa hipótese é de que diferentes sistemas de rotação de culturas possam influenciar fortemente as dinâmicas desses organismos, levando a comunidades diversificadas. Assim, este trabalho tem como objetivo verificar o efeito de dois sistemas de manejos de culturas (rotação e sucessão) em comunidades de nematoides, bem como avaliar se os efeitos de um sistema mais diversificado se mantêm após um período de sucessão soja/trigo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área e delineamento experimental**

O presente estudo foi desenvolvido na área experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Embrapa Soja), em Londrina, Brasil (latitude 23°11' S, longitude 51°11' W e 620 m de altitude), em um solo classificado como Rhodic Eutradox (classificação americana) ou Latossolo Vermelho eutroférico (classificação brasileira) com textura argilosa. A área experimental trata-se de um experimento de longa duração (instalado no verão de 1988/1989).

As unidades experimentais eram compostas de 7,5 m de largura e 30 m de comprimento (225 m<sup>2</sup>), distribuídas em blocos ao acaso, com quatro repetições por tratamento. Foram avaliados dois sistemas de manejo das culturas. Considerou-se rotação de culturas as parcelas que tinham como histórico o cultivo de seis diferentes espécies a cada três anos: tremoço (*Lupinus albus*), milho (*Zea mays*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), aveia preta (*Avena strigosa*), soja (*Glycine max*), trigo (*Triticum aestivum*) a cada 3 anos. Sucessão de culturas consistiu do cultivo anual utilizando soja no verão e trigo no inverno. Todas as parcelas foram cultivadas em sistema de plantio direto desde a implantação do experimento.

Mais informações sobre o histórico da área de estudo antes da avaliação deste experimento, bem como os tratos culturais, manejo de fertilizantes e controle de insetos praga e doenças nos anos anteriores podem ser obtidas no trabalho de Silva et al. (2014), realizado no mesmo local. Os ciclos de rotação e sucessão de culturas são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Histórico dos cultivos na área experimental desde a implantação (1989) até as avaliações realizadas (2011 – 2013).

Ano	Rotação de Culturas		Sucessão de Culturas	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno
1989, 1994, 1999, 2004, 2009	Tremoço	Aveia	Soja	Trigo
1990, 1995, 2000, 2005, 2010	Nabo	Milho	Soja	Trigo
1991, 1996, 2001, 2006, 2011*	Soja	Trigo	Soja	Trigo
1992, 1997, 2002, 2007, 2012*	Soja	Trigo	Soja	Trigo
1993, 1998, 2003, 2008, 2013*	Soja	Trigo	Soja	Trigo

\*Anos de amostragem para o presente trabalho.

### **Coleta de amostras de solo**

Nos anos de 2011, 2012 e 2013 foram realizadas coletas de solo, logo após a colheita da soja e trigo, na profundidade de 0 – 20cm. Para tanto, utilizou-se trado e foram amostrados três pontos aleatórios por parcela, compondo três subamostras que foram homogeneizadas, formando uma amostra composta, de cerca de 1000 cm<sup>3</sup>, por parcela. As amostras foram cuidadosamente acondicionadas em sacos plásticos individuais, identificadas e refrigeradas a 4°C até as avaliações, evitando a compressão durante o armazenamento.

### **Extração, identificação e mensuração das comunidades de nematoides**

Para extração dos nematoides, 300 cm<sup>3</sup> de solo foram colocados em suspensão em 2L de água, homogeneizados e em seguida a suspensão foi vertida em peneiras consecutivas de abertura 0,84, 0,075 e 0,025 mm, clarificada utilizando a técnica de flotação centrífuga em solução de sacarose (JENKINS, 1964) e mantida em formalina (4% formaldeído). Para determinar a abundância de nematoides, o total em 1 mL da suspensão foi estimado com contagem em câmara de Peters sob microscópio ótico, em três repetições.

Após a contagem, 200 indivíduos foram identificados até gênero/família, de acordo com Goseco et al. (1974a, b), Bongers (1987), Fortuner et al. (1988) e De Ley e Blaxter (2002). Nematoides dos gêneros *Aphelenchoides*, *Ditylenchus*, *Tylencholaimus* e *Tylenchus* foram classificados como fungívoros, por não serem reportados como parasitas chave nas culturas avaliadas neste experimento. Segundo Neher (2001), nematoides desses gêneros têm causado certa ambiguidade, pois podem, em alguns casos serem classificados como fungívoros ou como parasitas de plantas, ficando a classificação relacionada com o hábito alimentar predominante de cada família.

Posteriormente, utilizou-se a plataforma NINJA (Nematode Indicator Joint Analysis) (SIERIEBRIENNIKOV et al., 2014) para caracterizar as comunidades de nematoides com base nos seguintes parâmetros ecológicos: a. Diversidade: Número de gêneros (NG), Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (H'), Índice de Equitatividade (J'), Índice de Riqueza de Margalef (SR) e Índice de Dominância de Simpson (DS); b. Maturidade ecológica: índice de maturidade (MI), índice de

maturidade considerando apenas as famílias com valores c-p 2-5 (MI 2-5), soma de maturidade (SMI) e índice de parasitas de plantas (PPI), segundo Bongers (1990); c. Estrutura trófica: distribuição relativa (%) dos grupos tróficos, classificados pelos hábitos alimentares com base na morfologia do estoma-esôfago, segundo Yeates et al. (1993); d. Condição de cadeia trófica: índice de Estrutura (SI), índice de Enriquecimento (EI), e índice de Canal (CI), de acordo com Ferris et al. (2001) e pelo cruzamento do EI e SI avaliou-se por fim as pegadas metabólicas, de acordo com Ferris et al. (2010).

Os nematoides foram agrupados em guildas funcionais pelo hábito alimentar e pela resposta à perturbação ambiental, seguindo a classificação de Ferris et al. (2001). Assim, cada guilda pode ser definida de forma geral como  $X_n$ , onde X representa o hábito alimentar (BA: bacteriófagos, CA: carnívoros, FU: fungívoros, OM: onívoros, PP: parasitas de plantas) e n representa o valor, de 1-5, segundo Bongers (1990).

### ***Análise estatística dos dados***

Para cada cultura separadamente, os dados de diversidade, maturidade ecológica e condição de cadeia trófica foram submetidos à análise de normalidade e homocedasticidade e, atendidas as exigências, foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Pelo cruzamento dos dados do índice de estrutura (SI) e índice de enriquecimento (EI), obteve-se as pegadas metabólicas, sendo a variação obtida com a representação gráfica dos erros padrão.

As guildas funcionais de nematoides foram submetidas à Análise de Componentes Principais (PCA), utilizando-se a plataforma R, com auxílio do software R-Studio 0.98.507 e do pacote estatístico Vegan 2.0-10, com a finalidade de relacionar as guildas aos sistemas de cultivo e aos anos, bem como agrupar os manejos semelhantes.

Também realizou-se a classificação hierárquica com base nas abundâncias absolutas dos táxons de nematoides, relacionando-os aos sistemas de manejo das culturas e ao ano de avaliação, utilizando-se o software FDiversity (CASANOVA et al., 2010), utilizando-se a dissimilaridade de Bray-Curtis e a similaridade de Jaccard para os cálculos das distâncias.

## RESULTADOS

### ***Estrutura trófica e diversidade das comunidades de nematoides***

Foram identificados 37 táxons nas áreas com cultivo de soja (Tabela 2) e 44 táxons nas áreas sob cultivo de trigo, nem todos ocorrendo em todas as áreas e em todos os anos avaliados. Em ambas as áreas os táxons mais abundantes foram as famílias Rhabditidae e Tylenchidae, correspondendo a mais da metade dos nematoides identificados tanto nas áreas de soja quanto nas áreas de trigo. Considerando-se os gêneros individualmente, as áreas de soja apresentaram populações mais elevadas (> 5,00%) de *Helicotylenchus* spp., *Acrobeloides* spp., *Aphelenchoides* spp., *Eucephalobus* spp., *Plectus* spp. e *Tylenchus* spp. Entre esses gêneros apenas as populações de *Tylenchus* spp. não foram altas nas áreas de trigo.

Analisando a estrutura trófica das comunidades (Figura 1), o padrão foi o mesmo, já que as comunidades foram dominadas por nematoides fitoparasitas e bacteriófagos, que corresponderam a mais de 80% de todas as comunidades. Não foi possível observar nenhuma tendência de alteração da estrutura das comunidades em função do tempo de cultivo, mas apenas alterações sazonais de outros fatores.

**Tabela 2.** Diversidade taxonômica (abundância relativa) de nematoides em áreas cultivadas com soja e submetidas a rotação e sucessão de culturas, durante três anos.

<b>Gênero/Família</b>	<b>CR1</b>	<b>CR2</b>	<b>CR3</b>	<b>CS1</b>	<b>CS2</b>	<b>CS3</b>
<i>Achromadora</i>	-	0,22	-	-	-	-
<i>Acrobeles</i>	-	-	-	0,39	-	-
<i>Acrobeloides</i>	4,98	3,70	3,06	1,53	2,77	3,40
<i>Aglenchus</i>	-	-	0,61	0,65	0,69	0,19
<i>Alaimus</i>	1,32	0,22	1,02	1,33	0,42	0,45
<i>Anaplectus</i>	0,93	-	1,03	0,74	1,91	2,04
<i>Aphelenchoides</i>	4,56	1,24	2,26	4,73	4,76	12,40
<i>Aphelenchus</i>	0,85	0,81	1,43	1,08	1,18	2,04

<i>Aporcelaimellus</i>	1,06	0,43	1,23	0,16	0,40	0,63
<i>Cephalobus</i>	-	0,89	0,61	-	-	-
<i>Clarkus</i>	-	0,21	-	-	-	-
<i>Diploscapter</i>	-	-	-	-	0,28	-
<i>Dorylaimoides</i>	1,37	1,25	4,30	2,84	1,07	0,82
<i>Ecumenicus</i>	1,29	0,22	0,61	0,13	0,21	-
<i>Eucephalobus</i>	5,42	8,87	2,05	6,94	2,53	2,69
<i>Eudorylaimus</i>	-	0,30	-	-	-	-
<i>Eumonhystera</i>	0,57	0,30	0,21	0,77	0,69	0,77
<i>Filenchus</i>	0,44	1,11	2,25	2,52	1,83	0,79
<i>Helicotylenchus</i>	14,91	10,26	9,61	12,50	8,14	7,60
<i>Hemicycliophora</i>	-	-	-	-	-	0,25
<i>Monhystera</i>	-	-	0,21	-	-	-
Mononchidae	-	-	0,41	-	-	-
<i>Mononchus</i>	0,23	-	0,20	-	-	-
<i>Mylonchulus</i>	1,32	2,09	0,61	0,16	-	0,49
<i>Panagrolaimus</i>	2,47	2,51	-	4,11	1,85	0,54
<i>Paramphidelus</i>	0,23	-	-	-	-	-
<i>Paratylenchus</i>	-	-	0,21	-	-	-
<i>Plectus</i>	5,42	6,52	3,27	5,09	10,61	5,35
<i>Pratylenchus</i>	1,10	0,77	3,27	1,44	0,88	0,75
<i>Prismatolaimus</i>	0,82	0,43	1,84	1,42	-	0,13
<i>Psilenchus</i>	0,21	0,89	1,22	0,71	0,13	-
<i>Pungentus</i>	0,18	1,42	-	0,18	-	-
Rhabditidae	23,35	38,73	23,07	29,62	41,17	34,58
<i>Rotylenchus</i>	-	-	0,21	-	-	-
Tylenchidae	20,12	14,62	34,99	8,18	11,19	15,44
<i>Tylenchorhynchus</i>	1,13	0,51	-	0,48	0,85	4,36
<i>Tylenchus</i>	5,73	1,47	0,20	12,30	6,44	4,28

CR: Rotação de culturas; CS: Sucessão de culturas; 1: Primeiro ano; 2: Segundo ano; 3: Terceiro ano.

**Tabela 3.** Diversidade taxonômica (abundância relativa) de nematoides em áreas cultivadas com trigo e submetidas a rotação e sucessão de culturas, durante três

anos.

<b>Gênero/Família</b>	<b>CR1</b>	<b>CR2</b>	<b>CR3</b>	<b>CS1</b>	<b>CS2</b>	<b>CS3</b>
<i>Achromadora</i>	0,21	-	-	0,21	-	-
<i>Acrobeles</i>	-	0,19	-	-	-	-
<i>Acrobeloides</i>	3,37	3,12	8,22	3,04	5,06	8,92
<i>Aglenchus</i>	0,58	0,78	0,60	1,25	0,36	-
<i>Alaimus</i>	0,43	0,19	0,20	1,00	0,72	0,53
<i>Anaplectus</i>	2,90	-	0,40	0,20	-	-
<i>Aphelenchoides</i>	11,37	1,36	2,78	3,79	1,99	1,41
<i>Aphelenchus</i>	0,85	1,95	2,40	1,44	1,63	1,93
<i>Aporcelaimellus</i>	1,63	0,39	1,80	1,00	0,18	0,17
<i>Cephalobus</i>	0,21	1,56	1,20	0,41	0,36	0,35
<i>Chiloplacus</i>	-	0,19	-	-	-	-
<i>Clarkus</i>	-	0,19	-	0,21	-	-
<i>Diphtherophora</i>	-	-	-	-	0,18	-
<i>Diploscapter</i>	-	0,20	-	0,23	-	-
<i>Ditylenchus</i>	-	-	-	-	-	0,17
<i>Dorylaimoides</i>	3,19	2,14	4,19	2,66	2,53	3,51
<i>Ecumenicus</i>	0,21	-	0,20	-	-	-
<i>Eucephalobus</i>	5,43	4,68	4,60	7,54	5,78	7,70
<i>Eumonhystera</i>	0,88	0,78	2,19	0,20	1,08	0,35
<i>Filenchus</i>	0,63	1,56	3,19	0,62	1,09	4,54
<i>Helicotylenchus</i>	6,65	26,47	6,19	10,21	24,39	8,74
<i>Hoplolaimus</i>	-	0,20	-	-	-	-
<i>Ironus</i>	0,21	-	-	-	-	-
<i>Monhystera</i>	-	0,19	-	-	-	-
<i>Monhystrella</i>	-	0,20	-	-	-	-
Mononchidae	-	0,58	0,40	0,21	-	0,18
<i>Mononchus</i>	0,29	0,58	0,20	-	0,18	-
<i>Mylonchulus</i>	0,43	1,17	0,40	0,62	0,18	0,70
<i>Panagrolaimus</i>	0,84	0,19	0,60	1,18	1,27	0,71
<i>Paramphidelus</i>	0,29	-	-	-	0,18	0,35
<i>Paratylenchus</i>	0,21	0,20	-	-	-	-

<i>Plectus</i>	6,35	1,95	3,19	6,45	2,35	3,33
<i>Pratylenchus</i>	2,40	1,95	0,20	3,77	-	-
<i>Prismatolaimus</i>	0,21	1,76	1,00	1,24	0,18	0,70
<i>Prodesmodora</i>	-	-	-	0,21	-	-
<i>Prodorylaimus</i>	-	-	0,20	-	-	-
<i>Psilenchus</i>	0,65	0,78	-	0,85	-	0,17
Rhabditidae	18,25	10,15	16,55	15,38	15,59	10,01
<i>Rotylenchus</i>	-	0,20	-	-	-	-
<i>Tripyla</i>	-	-	-	0,21	-	-
Tylenchidae	29,54	33,92	39,09	33,67	34,71	45,52
<i>Tylencholaimellus</i>	-	-	-	0,20	-	-
<i>Tylenchorhynchus</i>	0,44	-	-	1,13	-	-
<i>Tylenchus</i>	1,37	0,20	-	0,88	-	-

CR: Rotação de culturas; CS: Sucessão de culturas; 1: Primeiro ano; 2: Segundo ano; 3: Terceiro ano.

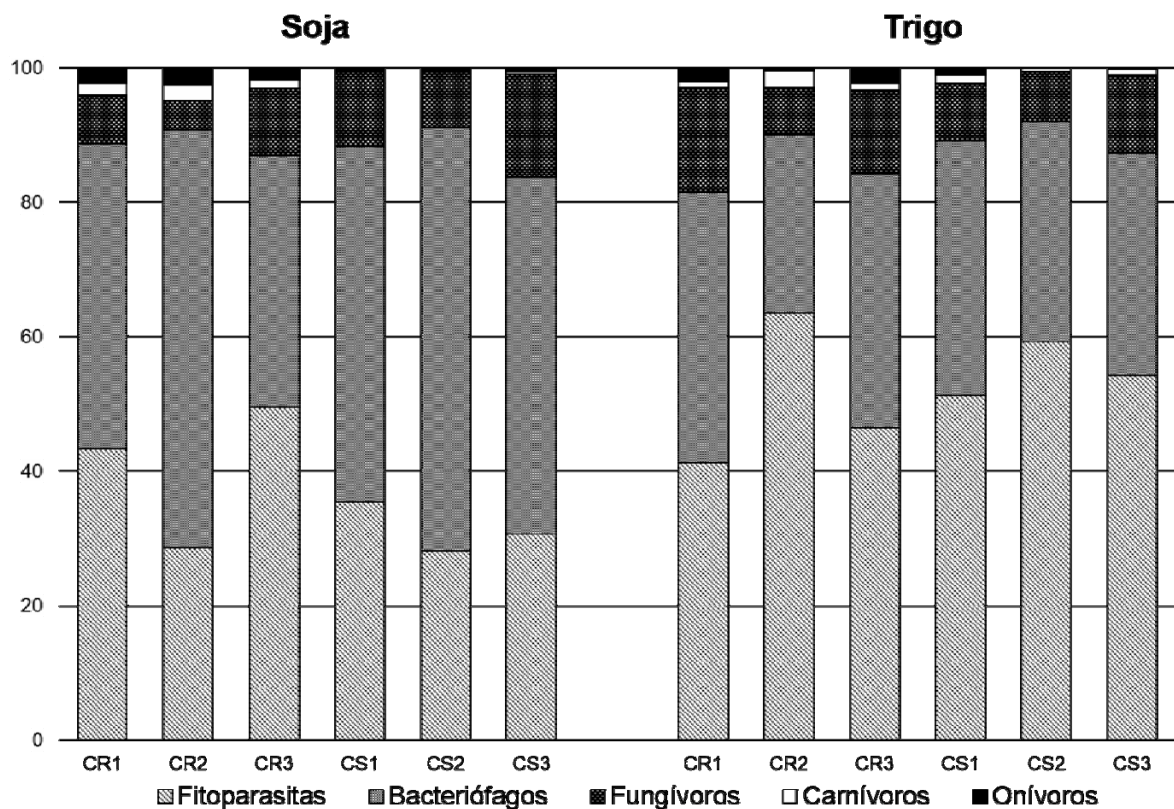


Figura 1. Estrutura trófica (percentagem de cada grupo trófico) de comunidades de

nematoides submetidas a rotação e sucessão de culturas, durante três anos.

CR: Rotação de culturas; CS: Sucessão de culturas; 1: Primeiro ano; 2: Segundo ano; 3: Terceiro ano.

As áreas com cultivo de soja (verão) apresentaram uma menor dominância de nematoides fitoparasitas em relação às áreas com trigo (inverno). Quanto aos efeitos do sistema de cultivo, áreas sob rotação de culturas, independente do ano, apresentaram uma maior proporção de nematoides carnívoros e onívoros que áreas sob sucessão soja/trigo.

Em relação à diversidade das comunidades de nematoides (Tabela 2), as dinâmicas variaram em função da cultura implantada. Três índices (H', J' e DS) apresentaram diferenças estatísticas significativas quando a área foi cultivada com trigo e apenas um (J') quando a cultura implantada era soja. Mesmo assim, independente de qualquer outro efeito, não se observou alteração da diversidade em áreas sob um mesmo sistema de cultivos ao longo do tempo.

Com cultivo de soja (verão), as áreas sob rotação de culturas apresentara uma maior equitabilidade, havendo diferenças significativas entre os primeiros anos de cada manejo. No cultivo de trigo (inverno), a rotação de culturas levou a uma comunidade de nematoides com maior diversidade e equitabilidade e menor dominância que as áreas sob sucessão de culturas.

**Tabela 2.** Diversidade de comunidades de nematoides do solo em áreas de soja e trigo, avaliadas sob dois sistemas de manejo de culturas e durante três anos.

Sistema	H'		SR		J'		DS	
<b>Soja</b>								
CR1	2,187	a*	2,055	ns	0,807	a**	0,155	c
CR2	2,177	ab	2,12	ns	0,78	ab	0,162	c
CR3	2,195	a	1,95	ns	0,782	ab	0,15	c
CS1	1,495	b	1,842	ns	0,562	b	0,407	a
CS2	1,657	b	1,91	ns	0,61	ab	0,342	ab
CS3	1,99	ab	2,15	ns	0,69	ab	0,245	ab
CV (%)	16,36		16,06		14,79		50,38	
<b>Trigo</b>								

<b>CR1</b>	2,25	a	2,13	ns	0,8	a	0,14	c
<b>CR2</b>	2,221	a	2,377	ns	0,75	ab	0,18	c
<b>CR3</b>	2,04	ab	2,132	ns	0,74	ab	0,207	bc
<b>CS1</b>	1,817	bc	2,12	ns	0,66	bc	0,285	ab
<b>CS2</b>	1,737	c	2,02	ns	0,577	c	0,312	a
<b>CS3</b>	1,562	c	1,807	ns	0,66	bc	0,285	ab
<b>CV (%)</b>	16,77		15,92		17,69		17,59	

H': Índice de Diversidade de Shannon-Weaver; SR: Índice de Riqueza de Margalef; J": Índice de Equitabilidade; DS: Índice de Dominância de Simpson; CR: Rotação de culturas; CS: Sucessão soja/trigo; 1: Primeiro ano; 2: Segundo ano; 3: Terceiro ano; CV: Coeficiente de variação. \*ns: Diferença não significativa. \*\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

### ***Maturidade ecológica das comunidades e condição da cadeia trófica***

Ao contrário dos índices de diversidade, quanto à maturidade ecológica das comunidades (Tabela 3), foi possível observar diferenças apenas sob o cultivo de soja, com maiores valores de MI 2-5 sob cultivo em rotação de culturas, não havendo alteração para nenhum parâmetro ao longo do tempo dentro de um mesmo sistema.

**Tabela 3.** Efeito de sistemas de manejo de culturas na maturidade ecológica e condição de cadeia trófica de comunidades de nematoides do solo, avaliadas durante três anos com soja ou trigo.

<b>Sistema</b>	<b>MI</b>	<b>MI 2-5</b>	<b>PPI</b>	<b>EI</b>	<b>SI</b>	<b>CI</b>
<b>Soja</b>						
<b>CR1</b>	1,807 ns*	2,477 ab**	2,43 ns	81,077 ns	54,292 ab	5,485 ns
<b>CR2</b>	1,672 ns	2,427 ab	2,392 ns	86,482 ns	50,43 ab	2,157 ns
<b>CR3</b>	1,585 ns	2,73 a	2,345 ns	79,512 ns	69,92 a	11,587 ns
<b>CS1</b>	1,72 ns	2,35 b	2,38 ns	79,187 ns	47,24 ab	7,487 ns
<b>CS2</b>	1,477 ns	2,185 b	2,267 ns	86,482 ns	24,717 b	6,81 ns
<b>CS3</b>	1,585 ns	2,14 b	2,34 ns	81,077 ns	21,115 b	13,247 ns
<b>CV (%)</b>	20,43	16,88	10,53	13,91	33,69	103,59

Trigo						
<b>CR1</b>	1,947 ns	2,452 ns	2,25 ns	71,592 ns	49,012 ns	17,82 ns
<b>CR2</b>	2,095 ns	2,565 ns	2,441 ns	69,592 ns	60,91 ns	15,285 ns
<b>CR3</b>	2,017 ns	2,58 ns	2,157 ns	73,337 ns	58,465 ns	11,76 ns
<b>CS1</b>	1,991 ns	2,435 ns	2,29 ns	66,402 ns	52,912 ns	18,28 ns
<b>CS2</b>	1,851 ns	2,432 ns	2,367 ns	72,675 ns	50,44 ns	12,017 ns
<b>CS3</b>	2,03 ns	2,34 ns	2,15 ns	60,465 ns	41,95 ns	23,107 ns
<b>CV (%)</b>	15,29	9,89	8,12	26,87	31,82	98,44

MI: Índice de Maturidade; MI 2-5: Índice de Maturidade, excluindo-se famílias de nematoides com valor c-p igual a 1; PPI: Índice de Parasitas de Plantas; EI: Índice de Enriquecimento; SI: Índice de Estrutura; CI: Índice Canal; CR: Rotação de culturas; CS: Sucessão soja/trigo; 1: Primeiro ano; 2: Segundo ano; 3: Terceiro ano; CV: Coeficiente de variação. \*ns: Diferença não significativa. \*\*Médias seguidas da mesma letra na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O índice canal (CI) denota uma decomposição tipicamente bacteriana em todas as comunidades. Embora não tenha havido diferenças estatísticas significativas, nota-se maiores valores na área de cultivo de trigo, o denota uma maior importância de nematoides fungívoros na decomposição de matéria orgânica nesses agroecossistemas, mesmo que as populações de fungívoros não tenham sido superiores (Figura 1).

Apenas o índice de estrutura (SI) apresentou diferenças significativas quando o cultivo era soja, sendo superior na área de rotação de culturas no terceiro ano em comparação às áreas sob sucessão nos anos 2 e 3 (Tabela 3). Dentro de cada sistema, não houve efeito do tempo de avaliação.

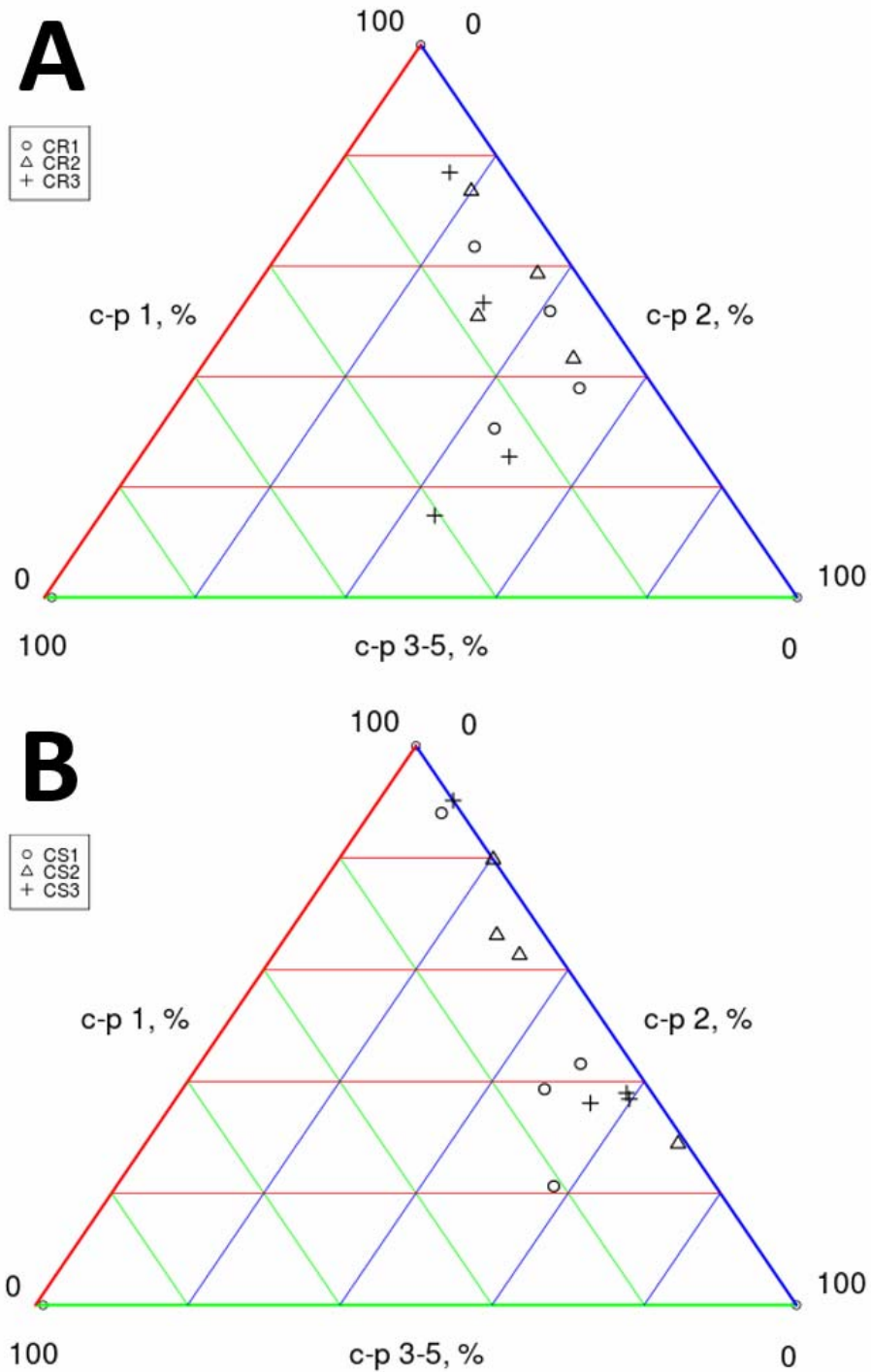
Os triângulos c-p (Figura 2) mostraram um mesmo padrão para as áreas com cultivo de soja (Figura 2) e trigo (Figura 3). Não houve alteração na estrutura das comunidades ao longo do tempo, havendo diferenças apenas em função do sistema de manejo das culturas adotado. Apesar de todas áreas serem dominadas por nematoides com valor c-p 2, as áreas de rotação de culturas apresentam uma maior parcela de nematoides com valor c-p 1 e as comunidades em sucessão, uma maior parcela de nematoides com valor c-p 3-5.

As pegadas metabólicas reforçam que o principal efeito sobre a condição das comunidades ocorre em função do sistema de manejo da cultura

utilizado. Tanto no cultivo com soja (Figura 4) quanto no cultivo com trigo (Figura 5) as áreas sob rotação de culturas tendem a se caracterizar como ambientes mais maduros, principalmente por uma maior estrutura, em comparação com as áreas de sucessão. Quanto à variação ao longo do tempo, não houve alteração significativa na área de soja e na área de trigo, não houve variação quando a cultura foi manejada sob rotação.

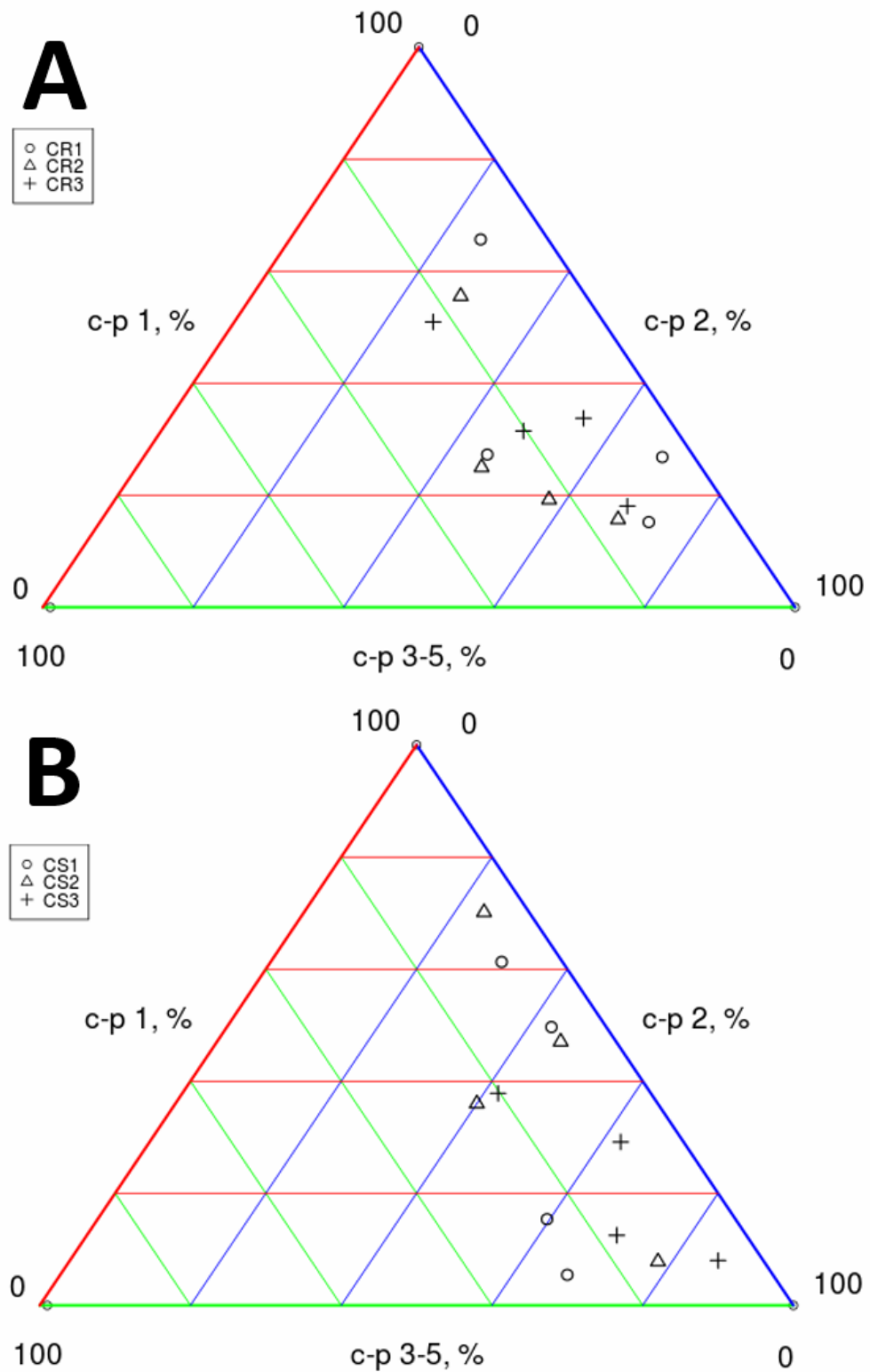
Foi possível observar também que a variação é maior nas áreas sob trigo, denotando que o cultivo de soja é um ambiente mais estável ecologicamente, bem como as maiores alterações ocorrem mais em função do enriquecimento que da estrutura. Entretanto, não houve alteração da condição ecológica ao longo do tempo sob um mesmo sistema de manejo da cultura.

Relacionando-se as guildas funcionais de nematoides com os manejos (Figura 6), os dois primeiros componentes explicam 86,96% da variação dos dados, sendo 58,29% explicada pelo primeiro componente e 28,67% explicada pelo segundo componente. As áreas sob rotação de culturas, amostradas com cultivo de soja formam um agrupamento, independente do ano. Quanto aos demais tratamentos, não foi possível observar nenhuma tendência.



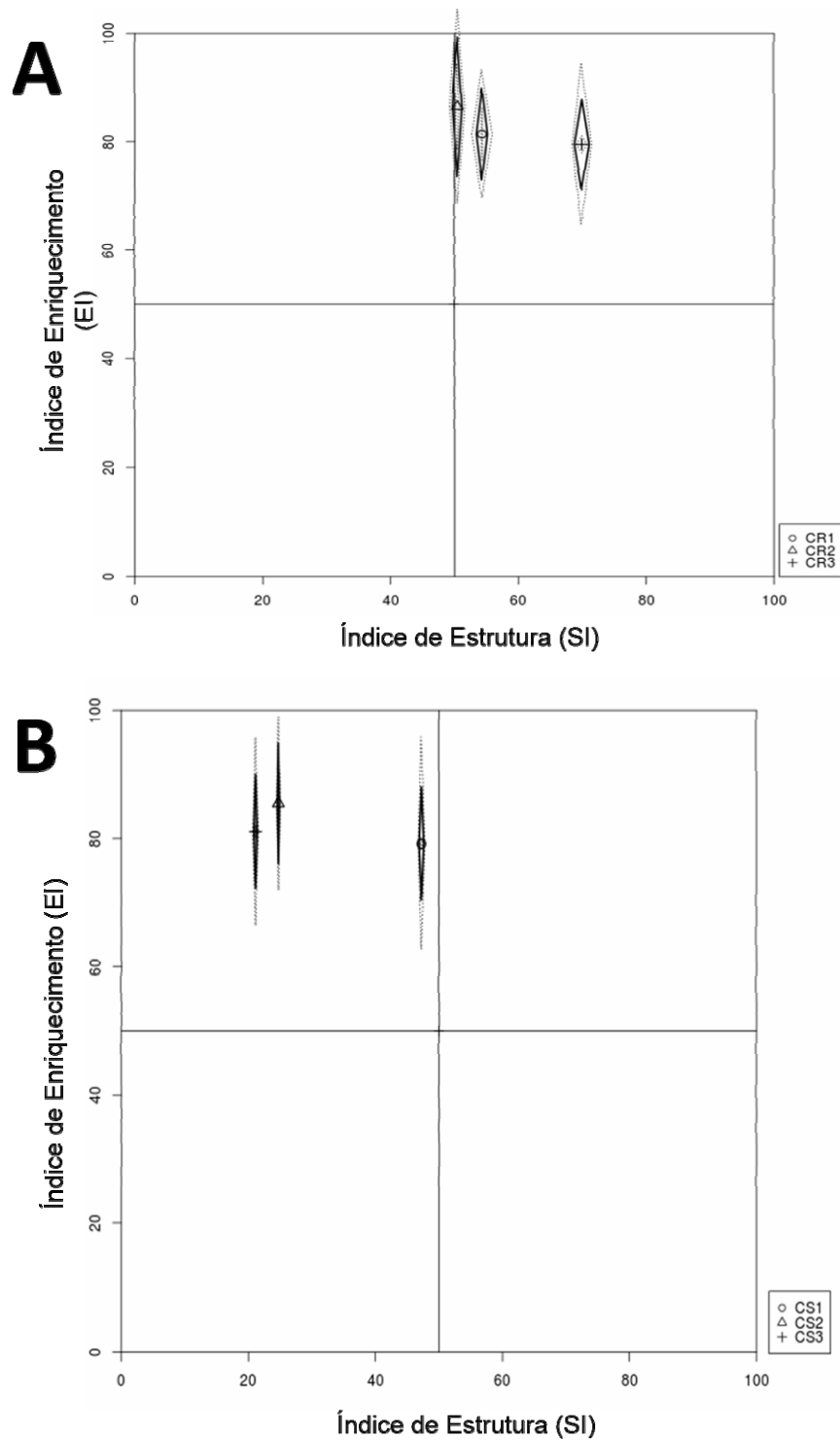
**Figura 2.** Triângulo c-p de comunidades de nematoides em áreas de cultivo de soja sob dois sistemas de manejo de culturas durante três anos de avaliação.

A: Rotação de culturas; B: Sucessão de culturas; CR: Rotação de culturas; CS: Sucessão soja/trigo; 1: Primeiro ano; 2: Segundo ano; 3: Terceiro ano.



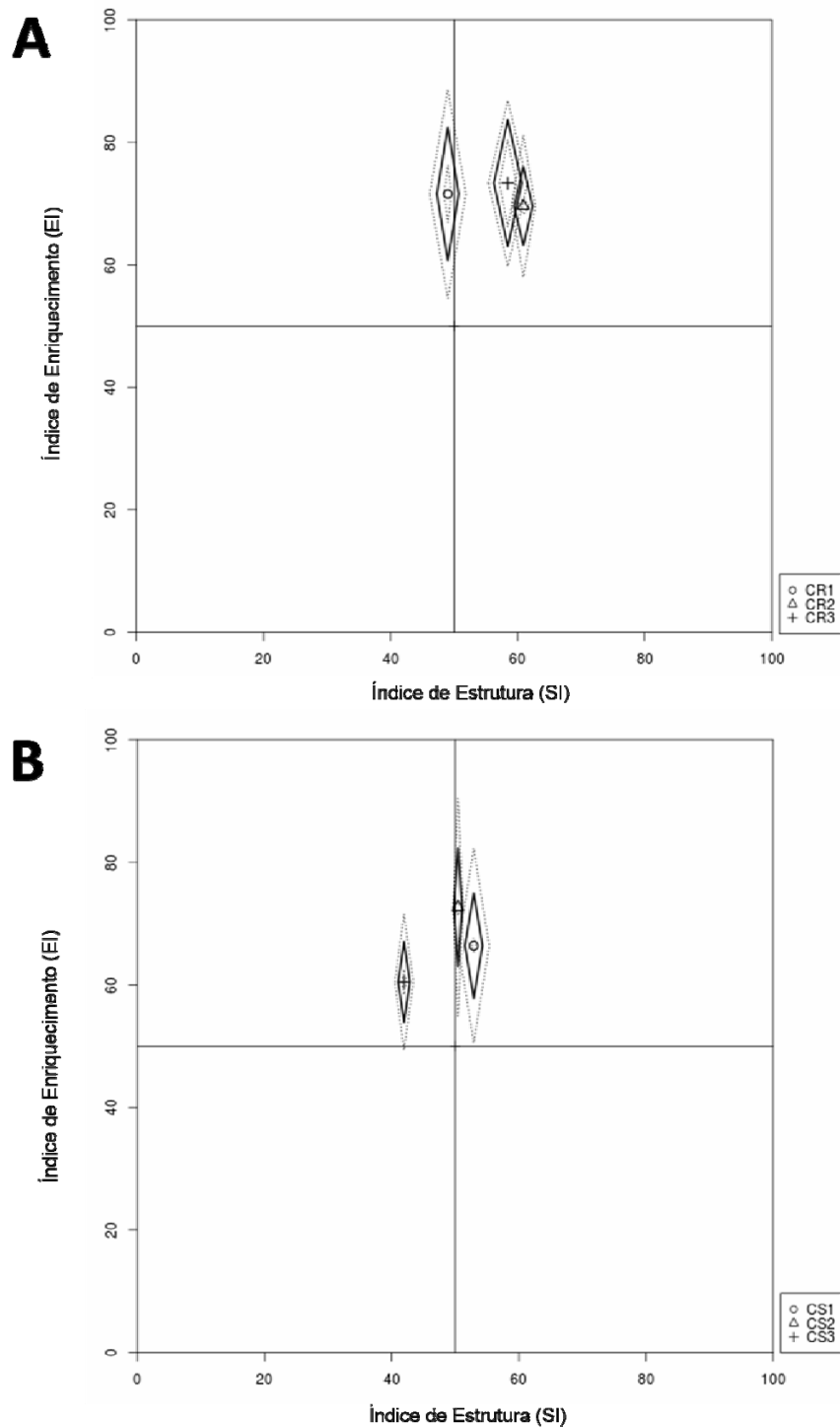
**Figura 3.** Triângulo c-p de comunidades de nematoides em áreas de cultivo de trigo sob dois sistemas de manejo de culturas durante três anos de avaliação.

A: Rotação de culturas; B: Sucessão de culturas; CR: Rotação de culturas; CS: Sucessão soja/trigo; 1: Primeiro ano; 2: Segundo ano; 3: Terceiro ano.



**Figura 4.** Pegadas metabólicas de comunidades de nematoides em áreas de soja em dois sistemas de manejo de culturas durante três anos de avaliação.

A: Rotação de culturas; B: Sucessão de culturas; CR: Rotação de culturas; CS: Sucessão soja/trigo; 1: Primeiro ano; 2: Segundo ano; 3: Terceiro ano. A linha cheia representa a média de quatro repetições e a linha tracejada representa a variação (erro padrão).



**Figura 5.** Pegadas metabólicas de comunidades de nematoides em áreas de trigo em dois sistemas de manejo de culturas durante três anos de avaliação.

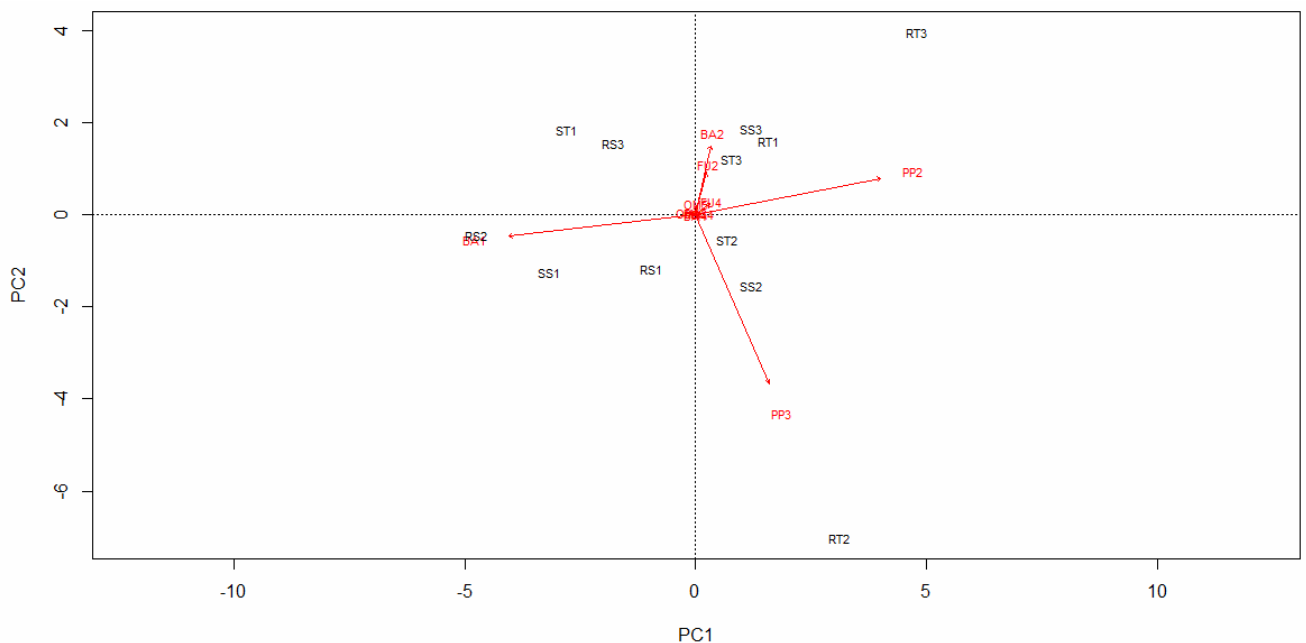
A: Rotação de culturas; B: Sucessão de culturas; CR: Rotação de culturas; CS: Sucessão soja/trigo; 1: Primeiro ano; 2: Segundo ano; 3: Terceiro ano. A linha cheia representa a média de quatro repetições e a linha tracejada representa a variação (erro padrão).

Quanto às relações entre os manejos e as guildas de nematoides, o

cultivo de soja em rotação de culturas favoreceu nematoides bacteriófagos com valor c-p 1 e desfavoreceu nematoides fitoparasitas com valor c-p 2. Quando a rotação de culturas ocorria com cultivo de trigo, houve um favorecimento de nematoides fungívoros e bacteriófagos com valor c-p 2. Nota-se uma tendência de favorecimento de nematoides fitoparasitas com valor c-p 2 com cultivo de trigo, independente do sistema de culturas utilizado.

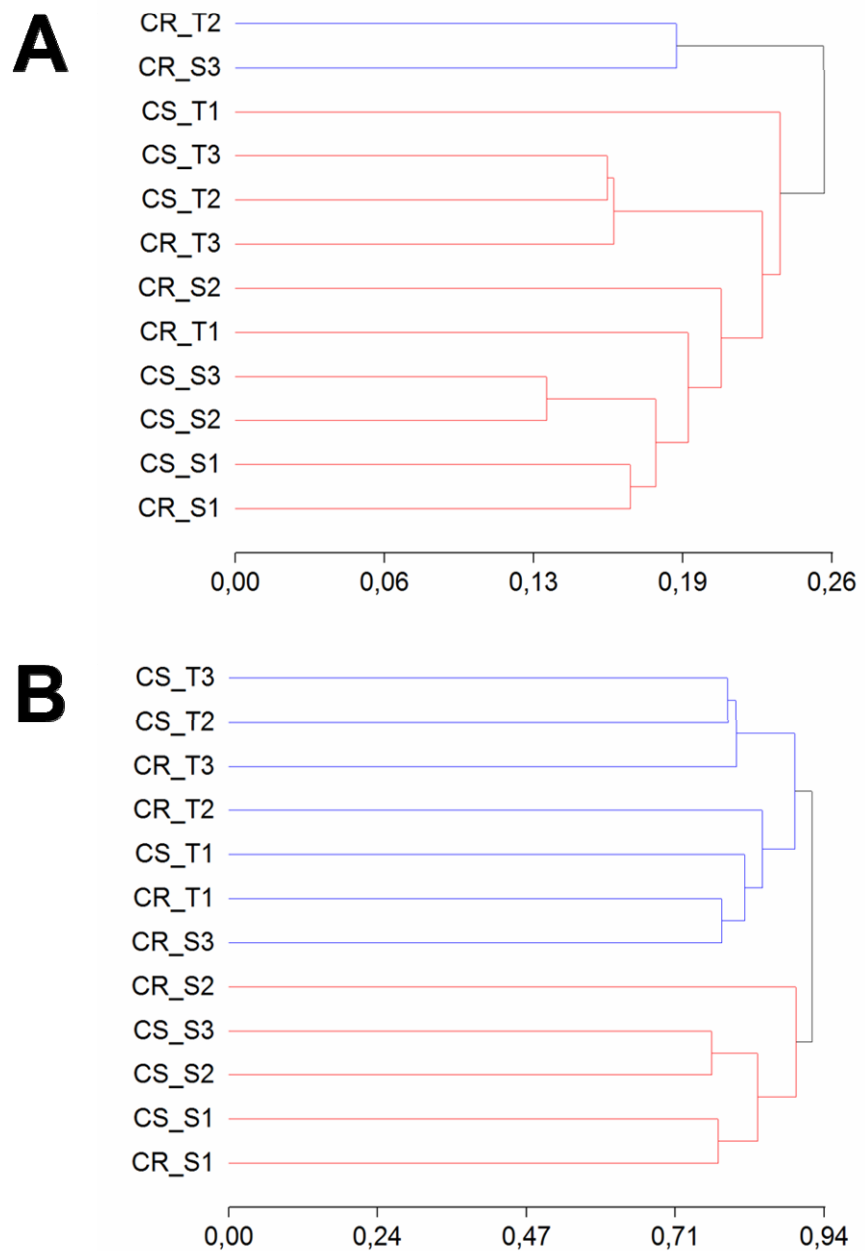
As guildas de nematoides bacteriófagos com valor c-p 1 e fitoparasitas com valor c-p 2 se relacionaram inversamente, enquanto as guildas de bacteriófagos e fungívoros com valor c-p 2 se correlacionaram positivamente. Guildas de nematoides que expressam mais sensibilidades à perturbação ambiental (valores c-p 4 e 5) foram pouco sensíveis aos manejos, ficando muito próximas da origem.

A classificação hierárquica (Figura 7), baseada nas abundâncias dos gêneros de nematoides, denota que não houve alteração ambiental significativa ao longo do tempo. Quando a distância foi calculada utilizando-se a similaridade de Bray-Curtis ( $C=0,840$ ,  $n=48$ ), não se observou nenhum padrão nos agrupamentos formados. Já o cálculo utilizando a similaridade de Jaccard ( $C=0,797$ ,  $n=48$ ) permitiu a formação de dois agrupamentos em função da cultura instalada na área, mas não em função do ano de avaliação.



**Figura 6.** Análise de Componentes Principais (PCA) da associação de guildas funcionais de nematoides e sistemas de manejo de culturas durante três anos de avaliação.

Xn: guildas funcionais de nematoides, onde X representa o hábito alimentar (BA: bacteriófagos, CA: carnívoros, FU: fungívoros, OM: onívoros, PP: parasitas de plantas) e n representa o valor, de 1-5; RS: Soja em rotação; RT: Trigo em rotação; SS: Soja em sucessão; ST: Trigo em sucessão; 1: Primeiro ano; 2: Segundo ano; 3: Terceiro ano.



**Figura 7.** Classificação hierárquica baseada na abundância de gêneros de nematoides em áreas sob dois sistemas de manejo de culturas durante três anos de

avaliação.

A: Distância de Bray-Curtis; B: Distância de Jaccard; CR: Rotação de culturas; CS: Sucessão de culturas; S: Soja; T: Trigo; 1: Primeiro ano; 2: Segundo ano; 3: Terceiro ano. As cores representam agrupamentos estatisticamente diferentes.

## DISCUSSÃO

Altas populações de fitonematoides do gênero *Helicotylenchus* já foram verificados em outros trabalhos desenvolvidos no Brasil (TOMAZINI et al., 2008a; RODRIGUES et al., 2011), mesmo em comunidades de áreas de vegetação nativa (SANTIAGO et al., 2012). No nosso trabalho especificamente isso pode ser devido aos altos teores de argila do solo, já que altos teores de argila podem levar a incrementos populacionais de *Helicotylenchus* spp (RAMOS et al., 2010). Entretanto, vale ressaltar que nosso trabalho nenhum gênero teve sua ocorrência determinada em função do manejo ou das culturas presentes na área.

Quanto ao hábito alimentar, nematoides bacteriófagos e/ou parasitas de plantas geralmente dominam comunidades edáficas em áreas agrícolas (OU et al., 2005). O cultivo agrícola tende a favorecer os nematoides fitoparasitas, que se tornam mais abundantes diante da transformação de ecossistemas naturais em agroecossistemas (WASILEWSKA, 1997; YEATES, 1999; GOULART; FERRAZ, 2003), porém, Korenko e Schmidt (2007) observaram predominância de nematoides bacteriófagos em parcelas agrícolas em monocultivo de arroz ou rotação arroz/leguminosas. O grupo de bacteriófagos geralmente apresenta-se em altas populações, podendo dominar algumas comunidades, principalmente em algumas camadas do solo (TOMAZINI et al., 2008b), como observado no presente trabalho.

Baixas populações de nematoides carnívoros e onívoros já foram relatadas em diversos trabalhos, principalmente em áreas submetidas ao cultivo agrícola (NEHER; CAMPBELL, 1994; GOULART; FERRAZ, 2003; TOMAZINI et al., 2008 a,b; RODRIGUES et al., 2011), por estarem relacionados à intervenção antrópica e pelas práticas agrícolas contínuas (GOMES et al., 2003). Dessa forma, os dados do presente trabalho reforçam a hipótese que uma rotação de culturas mais rica levem a um ecossistema mais maduro e com menor perturbação ambiental.

Alguns trabalhos relatam que os índices mensuradores da diversidade de comunidades podem ser pouco eficientes em diferenciar sistemas

agrícolas (MATTOS, 1999; TOMAZINI et al., 2008a). No presente trabalho, embora menos eficientes que outros índices ecológicos, os índices de diversidade possibilitaram verificar diferenças entre os sistemas avaliados. Vale notar que os índices que abrangem avaliação da proporção entre os grupos taxonômicos foram mais eficientes que os índices que consideram a riqueza. Adl et al. (2006) também verificaram que índices, como de Shannon-Weaver foram mais eficientes em distinguir sistemas de manejo em comparação à utilização do número de gêneros ou outros índices. Dessa forma, embora número total de gêneros tenha sido superior nas amostragens realizadas no trigo, isso não refletiu uma maior diversidade da comunidade.

A decomposição de matéria orgânica por bactérias, observada em todas as áreas, já foi relatada em diversos trabalhos. Overstreet et al. (2010) relataram uma baixa ocorrência de nematoides fungívoros em diversos sistemas de manejo do solo. Isso ocorre porque este grupo de nematoides é favorecido em áreas que possuem resíduos ricos em celulose e com uma relação C/N mais elevada (FERRIS et al., 2001; GEORGIEVA et al., 2005), o que explica uma maior importância desses organismos nas áreas cultivadas com trigo. Como os resíduos de leguminosas são mais ricos em nitrogênio que os resíduos de gramíneas, o cultivo de soja tende a aumentar a importância de nematoides bacteriófagos, já que nematoides fungívoros e bacteriófagos podem se correlacionar negativamente (WARDLE et al., 1999).

Os resíduos vegetais causam distúrbios nas comunidades de nematoides, favorecendo grupos com ciclo de vida curto e baixos valores c-p, principalmente bacteriófagos (ETTEMA; BONGERS, 1993; LENZ; EISENBEIS, et al., 2000), refletindo a condição de pouca estabilidade do ecossistema das comunidades em sucessão (MANACHINI et al., 2009). Isso explica a diferença nos valores de MI 2-5 nas áreas de rotação de culturas e sucessão de culturas, denotando um menor peso de bacteriófagos com valor c-p 1 nessas comunidades. Entretanto, essa relação se mostrou dependente da cultura, já que quando a rotação era em áreas cultivadas com soja a relação com nematoides bacteriófagos com valor c-p foi positiva.

Embora vários trabalhos tenham apresentado respostas dos índices de maturidade a diversos manejos agrícolas, no presente trabalho os índices se apresentaram como pouco sensíveis. Okada e Harada (2007) já haviam relatado

que os índices de maturidade ecológica, principalmente PPI não foram eficientes em exibir alterações ambientais em virtude de práticas agrícolas. Alterações nos índices de maturidade ecológica nem sempre mostram alterações claras em regiões tropicais (SANTIAGO et al., 2012), o que foi observado por Bloemers et al. (1997), em que aumento nos níveis de perturbação ambiental não levaram a alteração na maturidade das comunidades avaliadas.

A relação inversa entre nematoides bacteriófagos com valor c-p 1 e fitoparasitas com valor c-p 2 nas áreas com cultivo de solo era inesperada, já que vários autores já relataram que o parasitismo pode levar a incrementos na população de nematoides oportunistas, indicadores de enriquecimento (TORRES et al., 2006; SANTIAGO et al., 2012), pela liberação de exsudatos radiculares na rizosfera. Yeates (1999) observou que a infecção de raízes por fitonematoides aumenta o C14 fixado na biomassa do solo e os açúcares dos exsudatos. Nossos dados denotam que essa relação sofre influência de outros fatores e que pode ser dependente ou influenciada pela cultura implantada na área, já que não houve relação quando a cultura era trigo. Isso é evidenciado pela Análise de Componentes Principais, em que ambos os componentes sofrem influência da cultura implantada na área e o componente 1 sofre também uma pequena influência do ano de amostragem, mas provavelmente causada por outros fatores, como o clima, já que a relação independe de manejo.

É importante observar que nenhum índice mostrou alteração significativa na comunidade de nematoides em um determinado sistema de manejo com o passar do tempo, o que denota que os efeitos de sistemas mais diversificados de culturas têm efeitos duradouros no ecossistema do solo. Isso pode ser notado pelos triângulos e nas pegadas metabólicas que mantêm as mesmas características nas três avaliações. Essa hipótese é reforçada com as relações das guildas de nematoides com os tratamentos, formando um agrupamento das áreas sob rotação de culturas, amostradas com cultivo de soja, independente do ano. As pegadas metabólicas mostram que as áreas de rotação de culturas são ambientes com distúrbio baixo, caracterizando um ambiente enriquecido e estruturado, com uma decomposição de matéria orgânica mais balanceada e uma cadeia alimentar em condição de maturação e as áreas de sucessão de culturas com alta perturbação ambiental, caracterizando um ambiente enriquecido e não estruturado, com decomposição de matéria orgânica dominada por bactérias e uma cadeia alimentar

estressada (FERRIS et al., 2001; MONDINO et al., 2009).

A cultura implantada na área se mostrou como o principal fator influenciando as comunidades de nematoides do solo. As plantas influenciam de forma diferenciada toda a rizosfera e tornam-se um dos principais fatores na distribuição dos nematoides em uma comunidade (ETTEMA; WARDLE, 2002; GOULART et al., 2003; GOULART; FERRAZ, 2003; MATTOS et al., 2006; MATTOS et al., 2008; MONDINO et al., 2009). A própria vegetação original continua influenciando a comunidade de nematoides após implantação de culturas, diminuindo seu efeito com o tempo (LI et al., 2007). Neves e Huang (2005) verificaram que até mesmo diferenças quanto à cultivar podem afetar a comunidade de nematoides estabelecida em uma área. Govaerts et al. (2006a) verificaram que a cultura implantada era o fator determinante nas populações de nematoides, sendo um fator mais impactante que os sistemas de manejo das culturas ou de preparo do solo. Saetre e Bååth (2000) verificaram que as espécies vegetais em uma área determinam, inclusive, a distribuição espacial da comunidade microbiana.

Além das plantas em si, um aspecto importante a ser considerado é que as culturas também representam diferentes estações do ano, o que leva a condições ambientais completamente diferentes, principalmente em relação a temperatura e umidade e as comunidades de nematoides podem ser afetadas por essas variações (RITZINGER et al., 2010). Gomes et al. (2003) verificaram haver efeito da época do ano nas abundâncias de vários grupos tróficos e gêneros de nematoides, sendo a flutuação populacional relacionada ao crescimento das plantas. Outros autores também relataram impacto da época de amostragem sobre a comunidade de nematoides, quando comparadas amostragens na época chuvosa e seca (ANDRADE et al., 2004; HUANG et al., 2004; FREITAS et al., 2008; TOMAZINI et al., 2008 a,b).

Assim, em áreas tropicais, como a temperatura tem uma flutuação sazonal relativamente menor, a distribuição de chuvas é um fator marcante nas comunidades de nematoides, afetando principalmente nematoides carnívoros e onívoros (SÁNCHEZ-MORENO; FERRIS, 2007; MIRANDA et al., 2012).

A utilização da similaridade de Jaccard como medida de distância na caracterização das comunidades se mostrou mais sensível que o uso do índice da dissimilaridade de Bray-Curtis. Isso pode ser devido ao fato de que, como o índice de Bray-Curtis se baseia nas abundâncias relativas, é influenciado pelos taxa

dominantes, como no presente trabalho, que os táxons dominantes foram os mesmos em todas as áreas. Autores já apontaram que a riqueza gerlmente é uma medida mais eficiente para diferenciar sistemas de manejo que parâmetros mais complexos, como a diversidade (MATTOS et al., 1999; TOMAZINI et al., 2008a). Assim, como o cálculo do índice de Jaccard considera presença/ausência de táxons, sofre influência dos táxons raros.

A similaridade entre comunidades pode ser afetada por alterações ambientais, pela configuração espacial da paisagem e taxa de dispersão dos organismos e pela especiação aleatória (SOININEN et al., 2007). Como a dispersão tem pouca influência no caso de nematoides e a especiação não foi mensurada neste trabalho, a variação na similaridade pode ser devida a uma diminuição da semelhança das características ambientais.

Os dados deste experimento sugerem que a cultura implantada influi de forma drástica, possivelmente levando a grande redução de certos táxons, que chegam a não ser detectados nas amostras. Além disso, como já citado, a cultura coincidia com diferenças em estações do ano e, dessa forma, a comunidade de nematoides que ocorre em determinada época reflete a capacidade adaptativa dos organismos para aquela condição. Esses dois fatores (cultura e sazonalidade) compreendem os possíveis efeitos principais sobre os nematoides, já que diferenças entre comunidades causadas por características ambientais são definidas pelos processos básicos de nicho na comunidade (NEKOLA; WHITE, 1999) e pela capacidade diferenciada das espécies em se desenvolver sob diferentes condições ambientais (TUOMISTO et al., 2003, GILBERT; LECHOWICZ, 2004).

Vale ressaltar que não apenas as abundâncias dos táxons tiveram essa resposta, mas utilizando as guildas funcionais de nematoides nas Análises de Componentes Principais, tanto o componente 1 quanto o componente 2 também sugerem um agrupamento em função das culturas implantadas. Entretanto, mais estudos são necessários para elucidar essas questões, principalmente abrangendo diferentes culturas em várias épocas do ano, a fim de compreender qual o fator determinante.

## **Conclusões**

O sistema de rotação de culturas tem efeito duradouro sobre as comunidades de nematoides, mesmo após três anos sob sucessão de culturas,

levando a um ambiente com maior diversidade e ecologicamente mais maduro, com menor perturbação ambiental.

As comunidades de nematoides foram dominadas por nematoides fitoparasitas e bacteriófagos, que compreenderam mais de 80% dos nematoides identificados nas amostras.

A decomposição da matéria orgânica foi bacteriana em todos os tratamentos, embora haja um aumento da importância da decomposição fúngica nas áreas com cultivo de trigo.

O principal fator que diferenciou as comunidades de nematoides foi a cultura implantada na área, com possíveis efeitos combinados com a estação do ano.

## **4 ARTIGO 2: EFEITO DE SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO E MANEJO DE CULTURAS NA DISTRIBUIÇÃO DE NEMATOIDES EM CLASSES DE AGREGADOS**

### **RESUMO**

A agregação do solo influi em diversos atributos, como o desenvolvimento radicular, a penetração de água, o fluxo de ar, bem como altera o ambiente para o desenvolvimento de diversos organismos, incluindo nematoides. Como trabalhos que avaliem as comunidades de nematoides em diferentes classes de agregados são raros, este trabalho tem como objetivo caracterizar as comunidades de nematoides em três classes de agregados, verificando os efeitos de sistemas de manejo de culturas e preparo do solo sobre os atributos biológicos, bem como o efeito dos manejos na agregação do solo. Para tanto agregados foram coletados em monólitos indeformados de 25x25cm na profundidade até 10cm em áreas submetidas a dois sistemas de manejo de culturas (rotação e sucessão) e dois sistemas de preparo do solo (plantio direto e preparo convencional com grade pesada), sendo posteriormente dividido em três classes de agregados em laboratório: macroagregados grandes (>1,0mm, LA), macroagregados pequenos (0,25mm - 1,0 mm, SA) e material fino (IS, < 0,25mm). Em cada classe de agregados, as comunidades de nematoides foram descritas quanto a diversos parâmetros ecológicos e as guildas funcionais de nematoides foram relacionadas aos sistemas de manejo com uso de Análise de Componentes Principais (PCA). Além disso, os táxons de nematoides foram submetidos à análise de classificação hierárquica e a agregação do solo foi avaliada através de ANOVA e teste de comparação de médias. O plantio direto favoreceu a agregação do solo, com aumento do DMP, DMG e IEA. As comunidades de nematoides não se diferenciaram em relação às classes de agregados do solo, sendo mais afetadas pelo sistema de manejo das culturas que pelo sistema de preparo do solo. Nematoides fitoparasitas e bacteriófagos dominaram as comunidades e a decomposição de matéria orgânica foi bacteriana em todos os tratamentos, embora haja um aumento da importância da decomposição fúngica nas áreas sob preparo convencional do solo.

**Palavras-chave:** Agregação do solo. Biodiversidade. Bioindicadores. Guildas

funcionais. Manejo do solo. Nematoides de vida livre. Sustentabilidade agrícola.

## **EFFECT OF TILLAGE AND CROPPING SYSTEMS ON NEMATODE DISTRIBUTION THROUGH CLASSES OF AGGREGATES**

### **ABSTRACT**

Soil aggregation influences many attributes, such as root development, water percolation, air flow and changes the setting for the development of various organisms, including nematodes. As studies assessing nematodes communities in different aggregate classes are rare, this study aims to characterize the nematode communities in three aggregate classes, checking the effects of crop management and tillage systems on biological attributes, and the effect of the managements on soil aggregation. For this purpose soil aggregates were collected in undeformed monoliths of 25x25cm up to 10cm deep in areas subjected to two crop management systems (rotation and succession) and two tillage systems (no-tillage and conventional tillage with heavy disk), subsequently divided in three aggregate classes in the laboratory: large macroaggregates (> 1.0 mm, LA), small macroaggregates (0.25 mm - 1.0 mm, SA) and fine material (IS, <0.25 mm). In each aggregate class, the nematode communities were described as by the different ecological parameters and functional nematodes guilds were related to management systems with the use of Principal Component Analysis (PCA). Furthermore, nematode *taxa* were subjected to hierarchical classification analysis and soil aggregation was assessed by ANOVA and mean comparison test. No-tillage improves soil aggregation, increasing the DMP, DMG and IEA. The nematode communities did not differ in relation to soil aggregate classes, being most affected by the cropping management system than the tillage system. Plant-parasitic and bacterivore nematodes dominated the communities and the organic matter decomposition was bacterial in all treatments, although there was an increase of the importance of fungal decay in areas under conventional tillage.

**Key-words:** Biodiversity. Bioindicators. Classes of aggregates. Free-living nematodes. Functional guilds. Soil Aggregation. Soil management.

## **INTRODUÇÃO**

O solo é um recurso natural, complexo e dinâmico (CASTRO et al., 1993), hábitat de diversos organismos. É composto por minerais inorgânicos, partículas de areia, silte e argila, formas estáveis da matéria orgânica derivadas da decomposição pela biota do solo, a própria biota e gases (DORAN et al., 1996). A estruturação do solo depende da associação entre as partículas minerais e a matéria orgânica, formando agregados de diferentes tamanhos e estabilidade (JIANG et al., 2013), que podem ser afetadas devido ao manejo do solo.

Os nematoides do solo habitam o filme de água entre os poros (QUÉNÉHERVÉ; CHOTTE, 1996) e devem ser capazes de se mover livremente através da água para completarem seu ciclo de vida (FRECKMAN; ETTEMA, 1993). Considerando que a porosidade do solo está relacionada ao arranjo dos agregados (LEBRON et al., 2002) e que a comunidade de nematoides compreende organismos com vários hábitos alimentares e tamanho de corpo (YEATES et al., 1993), as diferentes estruturas do solo interferem na disponibilidade de recursos associados e, por consequência, na distribuição dos vários grupos de nematoides (BRIAR et al., 2011).

Embora a distribuição de nematoides do solo em classes de agregados já tenha sido avaliada em função do hábito alimentar (QUÉNÉHERVÉ; CHOTTE, 1996; BRIAR et al., 2011) e de gêneros (JIANG et al., 2013), ainda carece de estudos que caracterizem toda a comunidade de nematoides, bem como as funções por estes organismos desempenhadas.

Assim, este trabalho teve como objetivo caracterizar as comunidades de nematoides em três classes de agregados, verificando os efeitos de sistemas de manejo de culturas e preparo do solo sobre os atributos biológicos. Além disso, com a avaliação de atributos físicos de agregação do solo, verificar o efeito de sistemas de preparo do solo e manejo de culturas na agregação do solo e determinar a condição de sustentabilidade dos sistemas agrícolas avaliados.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### ***Área e delineamento experimental***

Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se um experimento

de longa duração, instalado no verão de 1988/1989, no Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Embrapa Soja), em Londrina, Paraná, Brasil (latitude 23°11' S, longitude 51°11' W e 620 m de altitude). O clima do local é classificado como Cfa (subtropical úmido) de acordo com o sistema de Köppen-Geiger e a vegetação nativa pertence ao domínio de Mata Atlântica, sendo classificada como floresta estacional semi-decidual (IBGE, 1992). O solo é classificado como Rhodic Eutradox (classificação americana) ou Latossolo Vermelho eutroférico (classificação brasileira) com textura argilosa.

Foram avaliados quatro tratamentos, envolvendo dois sistemas de plantio e dois sistemas de culturas, a saber: Plantio direto em rotação de culturas (CR\_NT), Plantio direto em sucessão de culturas (CS\_NT), Preparo convencional com grade pesada em rotação de culturas (CR\_CT) e Preparo convencional em sucessão de culturas (CS\_CT). Considerou-se rotação de culturas as parcelas que tinha como histórico o cultivo de seis diferentes espécies a cada três anos: tremoço (*Lupinus albus*), milho (*Zea mays*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), aveia preta (*Avena strigosa*), soja (*Glycine max*), trigo (*Triticum aestivum*) a cada 3 anos. Sucessão de culturas consistiu do cultivo anual utilizando soja no verão e trigo no inverno. Todas as parcelas haviam sido cultivadas com soja no verão anterior e trigo no inverno em que ocorreu a coleta de solo para avaliação do presente estudo. As unidades experimentais eram compostas de 7,5 m de largura e 30 m de comprimento (225 m<sup>2</sup>), distribuídas em blocos ao acaso, com quatro repetições por tratamento.

Mais informações sobre o histórico da área de estudo antes da avaliação deste experimento, bem como os tratamentos culturais, manejo de fertilizantes e controle de insetos praga e doenças nos anos anteriores podem ser obtidas no trabalho de Silva et al. (2014), realizado no mesmo local.

### **Coletas de solo**

Em setembro de 2012, logo após a colheita do trigo, foram realizadas as coletas, removendo-se três monólitos de 25 cm x 25 cm de solo indeformado por parcela, na profundidade de 0-10 cm. As amostras foram cuidadosamente acondicionadas em sacos plásticos individuais e refrigeradas a 4°C até as avaliações, evitando a compressão durante o armazenamento.

### ***Fracionamento dos agregados***

Em laboratório, o solo foi gentilmente quebrado a mão de acordo com as fissuras naturais e passado por peneira de malha 8,0 mm. O solo então foi dividido em dois grupos de amostras que foram utilizados para avaliar a comunidade de nematoides e a estabilidade de agregados. Estabeleceu-se três classes de agregados de acordo com o tamanho: macroagregados grandes (>1,0mm, LA), macroagregados pequenos (0,25mm - 1,0 mm, SA) e material fino (IS, < 0,25mm). Frações de agregados menores que 0,25mm são consideradas muito pequenas para que os nematoides penetrem, sendo classificadas como espaço entre agregados, de acordo com Briar et al. (2011).

O peneiramento do solo foi realizado pelo método seco a fim de evitar comprometimento das análises nematológicas, já que existem perdas substanciais de nematoides utilizando o método de peneiramento úmido, acarretando em interpretações errôneas da comunidade de nematoides. Assim, o solo foi colocado sobre um conjunto de peneiras de aberturas 1,0, 0,25 e 0,025 mm e submetido a uma oscilação de 50 ciclos por minutos por 10 minutos (de acordo com Briar et al. (2011)). O processo de peneiramento foi repetido múltiplas vezes, até atingir material suficiente para extração dos nematoides (mínimo de 300cm<sup>3</sup> de solo) em cada fração das peneiras.

Para avaliação da estabilidade de agregados, as amostras foram reumidecidas por capilaridade em temperatura ambiente por 30 min. Em seguida, foram postas em aparelho de oscilação vertical sobre um conjunto de peneiras de 1,0, 0,25 e 0,025 mm de diâmetro. Transcorridos 15 min, as porções retidas em cada peneira foram transferidas para cápsulas de alumínio com o auxílio de jatos de água, e secas em estufa a 105 °C por um período de 24 h para posterior pesagem.

As médias dos valores obtidos foram usados para o cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA), de acordo com Castro Filho et al., 1998.

### ***Extração, identificação e mensuração das comunidades de nematoides***

Para extração dos nematoides, 300 cm<sup>3</sup> de solo obtido de cada fração foram colocados em suspensão em 2 L de água, homogeneizados e em seguida a suspensão foi vertida em peneiras consecutivas de abertura 0,84, 0,075 e 0,025 mm, clarificada utilizando a técnica de flotação centrífuga em solução de

sacarose (JENKINS, 1964) e mantida em solução de formalina (4% formaldeído). Para determinar a abundância de nematoides, o total em 1 mL da suspensão foi estimado com contagem em câmara de Peters sob microscópio ótico, em três repetições.

Após a contagem, 200 indivíduos foram identificados até gênero, de acordo com Goseco et al. (1974a, b), Bongers (1987), Fortuner et al. (1988) e De Ley e Blaxter (2002). Nematoides dos gêneros *Aphelenchoides*, *Ditylenchus*, *Tylencholaimus* e *Tylenchus* foram classificados como fungívoros, por não serem reportados como parasitas chave nas culturas avaliadas neste experimento. Segundo Neher (2001) esses gêneros têm causado certa ambiguidade, pois podem, em alguns casos serem classificados como fungívoros ou como parasitas de plantas, ficando a classificação relacionada com o hábito alimentar predominante de cada família.

Após contagem e identificação, utilizou-se a plataforma NINJA (Nematode Indicator Joint Analysis) (SIERIEBRIENNIKOV et al., 2014) para caracterizar as comunidades de nematoides com base nos seguintes parâmetros ecológicos: a. Maturidade ecológica: índice de maturidade (MI), índice de maturidade com as famílias com valor c-p 2-5 (MI 2-5), soma do índice de maturidade (SMI) e índice de parasitas de plantas (PPI), segundo Bongers (1990); b. Estrutura trófica: distribuição relativa (%) dos grupos tróficos, classificados pelos hábitos alimentares com base na morfologia do estoma-esôfago, segundo Yeates et al. (1993); c. Condição de cadeia trófica: índice de Estrutura (SI), índice de Enriquecimento (EI), e índice de Canal (CI), de acordo com Ferris et al. (2001) e pelo cruzamento do EI e SI avaliou-se por fim as pegadas metabólicas, de acordo com Ferris et al. (2010).

Os nematoides foram agrupados em guildas funcionais pelo hábito alimentar e pela resposta à perturbação ambiental, seguindo a classificação de Ferris et al. (2001). Assim, cada guilda pode ser definida de forma geral como  $X_n$ , onde X representa o hábito alimentar (BA: bacteriófagos, CA: carnívoros, FU: fungívoros, OM: onívoros, PP: parasitas de plantas) e n representa o valor c-p das famílias, de 1-5, segundo Bongers (1990).

### **Análise estatística dos dados**

Para cada classe de agregados separadamente, o efeito dos sistemas de preparo do solo, de manejo das culturas sobre a diversidade,

maturidade ecológica e condição de cadeia trófica foi testado através de ANOVA e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância utilizando o software Sisvar, atendidas as exigências de normalidade e homocedasticidade de variância dos dados. Os mesmos procedimentos foram adotados para ao DMP, DMG, IEA e massa de cada classe de agregado.

Além disso, realizou-se Análise de Componentes Principais relacionando as guildas funcionais de nematoides e os manejos em cada classe de agregados, utilizando-se a plataforma R, com auxílio do software R-Studio 0.98.507 e do pacote estatístico Vegan 2.0-10. Também realizou-se a classificação hierárquica com base nas abundâncias absolutas dos táxons de nematoides (gêneros e famílias), relacionando-os aos sistemas de manejo das culturas, preparo do solo e classe de agregados de forma conjunta utilizando-se o software FDiversity (CASANOVES et al., 2010), utilizando para cálculos das distâncias, a dissimilaridade de Bray-Curtis e a similaridade de Jaccard

## RESULTADOS

### *Influência dos sistemas de manejo nos agregados do solo*

O sistema de preparo do solo foi o fator determinante nos agregados do solo. A utilização de plantio direto levou a maiores valores de DMP, DMG e IEA, independente do sistema de culturas (Tabela 1). Em relação à distribuição dos agregados, plantio direto leva a aumento da massa de agregados grandes, enquanto o preparo convencional aumenta os espaços entre agregados, não havendo efeitos sobre os agregados pequenos.

**Tabela 1.** Efeito de sistemas de manejo de culturas e preparo do solo nos índices de agregação e na distribuição de classes de agregados do solo.

Manejo	DMP (mm)		DMG (mm)		IEA (%)	
CR_CT	0,918	b*	0,518	b	71,03	b
CR_NT	1,513	a	0,881	a	84,23	a
CS_CT	0,909	b	0,504	b	71,94	b
CS_NT	1,484	a	0,874	a	81,30	a

**Distribuição das classes de agregados (%)**

Manejo	LA (> 1,00 mm)		SA (0,25 - 1,00 mm)		IS (< 0,25 mm)				
	Massa (g)	Percentagem do solo	Massa (g)	Percentagem do solo	Massa (g)	Percentagem do solo			
CR_CT	21,89	b	24,72	40,66	a	45,91	26,01	a	29,37
CR_NT	36,18	a	42,58	33,84	a	39,83	14,94	b	17,58
CS_CT	19,02	b	21,80	40,12	a	45,98	28,12	a	32,23
CS_NT	35,12	a	41,04	36,13	a	42,22	14,33	b	16,74

CR: rotação e culturas; CS: sucessão de culturas; CT: preparo convencional; NT: plantio direto; DMP: diâmetro médio ponderado; DMG: diâmetro médio geométrico; IEA: índice de estabilidade de agregados; LA: agregados grandes (> 1,0 mm); SA: agregados pequenos (0,25 – 1,0 mm); IS: espaço entre agregados (< 0,25 mm). \*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Quanto à percentagem representada por cada classe de agregados, o sistema de preparo do solo foi o fator determinante. Tanto sob rotação quanto sucessão, mais de 80% dos agregados têm mais de 0,25mm, enquanto em áreas de preparo convencional do solo, o espaço entre agregados apresenta uma porção maior que de pequenos agregados.

***Diversidade e estrutura trófica das comunidades de nematoides***

No total, foram identificados 57 táxons, nem todos ocorrendo em todos os ambientes avaliados (Tabela 2). A classe de agregados grandes (LA) foi a que teve a maior riqueza, com 52 táxons, sendo exclusivos desse ambiente os gêneros *Cephalenchus*, *Cervidellus*, *Ditylenchus*, *Malenchus*, *Mesodorylaimus*, *Mesorhabditis*, *Scutellonema*, *Theristus* e *Trophurus*. A classe de agregados pequenos (SA) foi a menos rica, com 37 táxons identificados, sendo exclusivos desse ambiente os gêneros *Diphtherophora* e *Seinura*. Nos espaços entre agregados (IS), foram identificados 46 táxons, sendo exclusivos os gêneros *Prodorylaimus* e *Pungentus*.

A maioria dos nematoides, em todos os ambientes pertence às famílias Rhabditidae e Tylenchidae e, além disso, foram observadas altas

populações (>5,0%) de nematoides dos gêneros *Acrobeloides*, *Aphelenchoides*, *Eucephalobus*, *Helicotylenchus* e *Plectus*. Exclusivamente no ambiente entre agregados foram observadas altas populações também de nematoides dos gêneros *Aphelenchus*, *Filenchus*, *Panagrolaimus* e *Psilenchus*. Além disso, apenas no ambiente entre agregados não foram observadas altas populações do gênero *Dorylaimoides* em nenhuma amostra, bem como do gênero *Tylenchus* no ambiente de agregados grandes.

As comunidades foram dominadas por nematoides fitoparasitas e bacteriófagos, que corresponderam a mais de 75% dos organismos identificados (Figura 1). Não houve alterações na estrutura das comunidades que possam ser relacionadas às classes de agregados, a não ser que na classe de agregados grandes (LA), houve maior população de nematoides fitoparasitas em rotação e de nematoides carnívoros em plantio direto. Na classe de agregados pequenos, os fitoparasitas parecem ser favorecidos por plantio direto, atingindo mais de 50% da comunidade em CS\_NT.

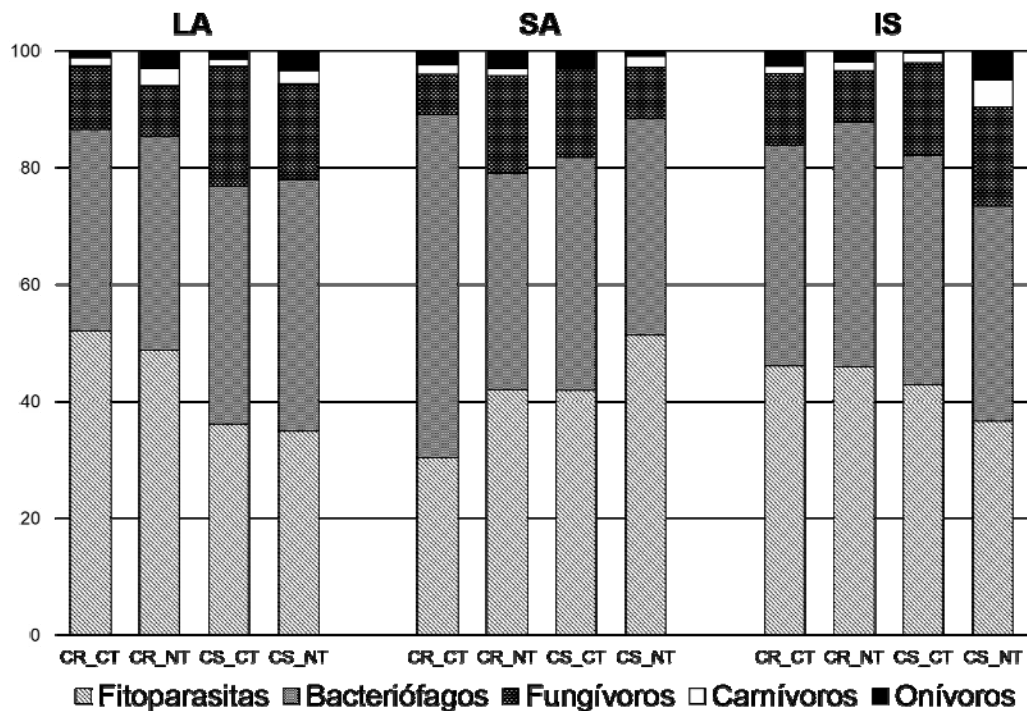
**Tabela 2.** Diversidade taxonômica e abundância relativa de nematoides em áreas cultivadas sob dois sistemas de manejo de culturas e preparo do solo, em três classes de agregados.

Gênero/ Família	LA				SA				IS			
	CR_CT	CR_NT	CS_CT	CS_NT	CR_CT	CR_NT	CS_CT	CS_NT	CR_CT	CR_NT	CS_CT	CS_NT
<i>Achromadora</i>	-	0,42	-	1,06	0,73	-	0,35	-	-	-	-	0,41
<i>Acrobeles</i>	-	0,49	0,29	0,25	0,13	0,07	0,52	0,81	-	1,14	0,84	0,37
<i>Acrobeloides</i>	4,98	6,72	1,85	8,10	6,10	3,17	5,84	4,75	5,94	7,45	2,75	2,16
<i>Aglenchus</i>	-	1,22	0,76	1,29	-	0,20	1,22	1,20	-	1,71	0,19	2,19
<i>Alaimus</i>	0,70	1,26	1,72	0,51	-	0,60	0,72	1,06	2,07	2,30	-	0,85
<i>Anaplectus</i>	0,12	0,63	1,06	0,49	-	1,17	0,72	0,18	0,51	-	0,46	0,25
<i>Aphelenchoides</i>	6,77	1,84	11,84	7,61	2,60	5,32	5,48	2,18	5,51	3,02	2,61	4,02
<i>Aphelenchus</i>	0,93	4,14	2,21	1,32	1,81	3,37	3,40	2,04	1,77	2,94	5,85	3,43
<i>Aporcelaimellus</i>	0,75	1,89	0,70	1,91	1,03	2,23	1,51	0,44	1,70	0,45	0,12	3,32
<i>Cephalenchus</i>	-	1,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cephalobus</i>	-	0,74	1,34	2,34	1,09	1,34	0,37	0,37	-	1,05	2,20	0,29
<i>Cervidellus</i>	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chiloplacus</i>	-	1,38	1,28	-	0,32	-	0,17	0,32	-	0,45	0,30	0,14
<i>Clarkus</i>	0,34	-	0,32	0,80	-	0,27	-	-	-	0,18	0,40	0,41
<i>Coslenchus</i>	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Diphtherophora</i>	-	-	-	-	-	-	-	0,18	-	-	-	-
<i>Discolaimus</i>	-	-	1,00	-	-	0,09	-	-	-	-	-	-

<i>Diploscapter</i>	-	-	0,14	-	-	0,13	-	-	-	0,09	0,23	-
<i>Ditylenchus</i>	-	-	0,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dorylaimoides</i>	0,81	1,98	3,18	5,49	2,13	5,33	2,59	3,13	3,52	1,60	2,87	2,06
<i>Ecumenicus</i>	0,27	0,17	0,16	0,24	0,70	0,85	0,70	0,18	0,55	0,42	0,19	1,30
<i>Eucephalobus</i>	4,06	6,45	6,77	8,43	7,57	8,72	4,99	1,38	7,42	7,70	7,99	5,26
<i>Eudorylaimus</i>	-	0,18	0,43	-	-	-	-	0,28	-	0,45	-	-
<i>Eumonhystera</i>	0,12	0,14	-	0,18	0,23	0,83	0,28	1,06	0,45	0,71	1,48	-
<i>Filenchus</i>	2,18	0,80	2,16	1,89	0,62	2,33	3,87	1,29	1,09	1,17	4,72	7,34
<i>Helicotylenchus</i>	21,58	18,16	10,05	16,06	6,99	15,35	19,09	20,23	9,56	13,66	22,35	11,33
<i>Heterocephalobus</i>	-	0,91	1,85	-	0,06	-	-	1,13	-	1,17	-	0,84
<i>Hoplolaimus</i>	-	-	0,29	-	-	-	-	-	-	0,09	-	-
<i>Ironus</i>	-	0,18	0,29	-	-	-	-	-	0,18	0,09	0,10	0,29
<i>Laimydorus</i>	-	-	0,14	0,25	-	-	-	-	-	0,27	-	-
<i>Longidorus</i>	-	-	0,29	-	-	-	-	-	-	0,09	-	-
<i>Malenchus</i>	-	0,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mesodorylaimus</i>	0,21	0,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Mesorhabditis</i>	-	0,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Monhystera</i>	-	-	-	-	0,77	-	-	0,65	-	0,47	-	0,85
Mononchidae	0,38	0,18	0,59	-	-	0,18	-	0,55	-	-	-	0,37
<i>Mononchus</i>	0,38	1,50	-	1,24	-	0,51	-	0,65	0,46	0,59	0,57	1,31
<i>Mylonchulus</i>	0,19	1,08	0,16	-	1,58	-	0,28	0,69	0,61	0,18	0,78	2,32

<i>Panagrolaimus</i>	3,11	1,10	2,22	2,25	5,44	1,03	0,70	4,25	5,02	2,48	3,55	1,83
<i>Paramphidelus</i>	0,21	-	0,20	-	-	-	-	-	0,18	-	-	-
<i>Paratylenchus</i>	0,20	-	0,14	0,31	-	0,16	-	-	0,35	0,51	-	-
<i>Plectus</i>	6,69	3,35	4,26	6,83	10,58	3,44	3,94	5,07	5,06	2,32	4,82	4,89
<i>Pratylenchus</i>	1,60	4,33	1,28	3,71	1,25	1,04	2,68	2,11	0,91	2,42	2,20	3,23
<i>Prismatolaimus</i>	0,72	1,98	0,40	1,76	0,37	0,76	1,16	0,37	1,08	2,05	1,27	0,85
<i>Prodorylaimus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36	-	-
<i>Psilenchus</i>	0,20	1,67	3,48	1,10	0,87	0,07	2,12	2,12	0,20	5,48	3,10	2,79
<i>Pungentus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36	-	-	-
Rhabditidae	14,32	10,48	18,61	12,18	26,13	15,30	20,18	16,01	10,55	12,57	13,49	18,03
<i>Rotylenchulus</i>	-	-	0,14	-	-	-	-	-	-	-	-	0,39
<i>Scutellonema</i>	-	0,73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Seinura</i>	-	-	-	-	-	0,25	-	-	-	-	-	-
<i>Theristus</i>	-	0,18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tripyla</i>	-	-	-	0,16	-	-	-	-	-	0,45	-	-
<i>Trophurus</i>	-	-	0,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tylenchidae	22,60	15,41	13,78	10,11	16,03	20,80	13,10	23,23	25,03	21,38	9,80	14,96
<i>Tylencholaimellus</i>	-	-	0,29	-	-	-	-	-	0,27	-	-	-
<i>Tylenchorhynchus</i>	3,02	2,37	0,62	1,29	0,39	0,33	3,19	0,68	2,58	-	0,43	-
<i>Tylenchus</i>	2,58	3,02	4,31	0,85	4,49	4,78	0,79	1,39	7,05	0,57	4,32	1,92

CR: Rotação de culturas; CS: Sucessão de culturas; CT: Preparo convencional; NT: Plantio direto; LA: agregados grandes (>1,0 mm); SA: agregados pequenos (0,25 – 1,0 mm); IS: espaço entre agregados (<0,25 mm).



**Figura 1.** Estrutura trófica (percentagem de cada grupo trófico) de comunidades de nematoides submetidas a diferentes sistemas de manejo da cultura e preparo do solo, em três classes de agregados.

CR: rotação e culturas; CS: sucessão de culturas; CT: preparo convencional; NT: plantio direto; LA: agregados grandes (> 1,0 mm); SA: agregados pequenos (0,25 – 1,0 mm); IS: espeço entre agregados (< 0,25 mm).

Quanto à diversidade das comunidades de nematoides, não houve efeito significativo dos sistemas de manejo ou das classes de agregados para nenhum índice avaliado (Tabela 3), ressaltando-se os altos valores de diversidade e equitabilidade e a baixa dominância em todas as áreas.

**Tabela 3.** Efeito de sistemas de manejo de culturas e preparo do solo sobre a diversidade de comunidades de nematoides em diferentes classes de agregados do solo.

<b>Agregados grandes (LA, &lt; 1,00 mm)</b>										
<b>Manejo</b>	<b>H'</b>		<b>J'</b>		<b>NG</b>		<b>SR</b>		<b>DS</b>	
<b>CR_CT</b>	2,11	a*	0,75	a	17,00	a	2,33	a	0,18	a
<b>CR_NT</b>	2,39	a	0,77	a	22,25	a	2,54	a	0,15	a
<b>CS_CT</b>	2,36	a	0,79	a	20,50	a	2,44	a	0,13	a
<b>CS_NT</b>	2,44	a	0,84	a	18,75	a	2,18	a	0,12	a
<b>CV (%)</b>	14,59		9,06		24,10		23,65		37,84	
<b>Agregados pequenos (SA, 0,25 - 1,00 mm)</b>										
<b>Manejo</b>	<b>H'</b>		<b>J'</b>		<b>NG</b>		<b>SR</b>		<b>DS</b>	
<b>CR_CT</b>	2,13	a	0,79	a	16,25	a	2,01	a	0,15	a
<b>CR_NT</b>	2,15	a	0,74	a	18,25	a	2,19	a	0,18	a
<b>CS_CT</b>	2,18	a	0,77	a	17,00	a	1,97	a	0,18	a
<b>CS_NT</b>	2,09	a	0,73	a	17,50	a	2,08	a	0,21	a
<b>CV (%)</b>	14,76		12,43		15,74		17,65		37,67	
<b>Espaço entre agregados (IS, &lt;0,25 mm)</b>										
<b>Manejo</b>	<b>H'</b>		<b>J'</b>		<b>NG</b>		<b>SR</b>		<b>DS</b>	
<b>CR_CT</b>	2,27	a	0,78	a	18,50	a	2,47	a	0,17	a
<b>CR_NT</b>	2,26	a	0,77	a	19,50	a	2,29	a	0,17	a
<b>CS_CT</b>	2,30	a	0,80	a	18,00	a	2,15	a	0,15	a
<b>CS_NT</b>	2,48	a	0,82	a	20,75	a	2,38	a	0,13	a
<b>CV (%)</b>	17,66		11,93		23,54		26,71		55,38	

H': índice de diversidade de Shannon-Wiever; J': índice de equitabilidade de Pielou; NG: número de táxons; SR: índice de riqueza de Margalef; DS: índice de dominância de Simpson; CR: rotação e culturas; CS: sucessão de culturas; CT: preparo convencional; NT: plantio direto; CV: coeficiente de variação; \*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

### ***Maturidade ecológica e condição de cadeia trófica***

Não foi observado efeito significativo de nenhum sistema de manejo

sobre os índices de maturidade ecológica das comunidades (Tabela 4). Já em relação à condição de cadeia trófica, houve efeito significativo sobre o índice de estrutura na classe de espaço entre agregados, sendo os efeitos em função do sistema de manejo das culturas. Assim, CS\_CT apresentou valores mais baixos, sendo a única área com valores abaixo de 50.

**Tabela 4.** Efeito de sistemas de manejo de culturas e preparo do solo sobre a maturidade ecológica de comunidades de nematoides e condição de cadeia trófica, em diferentes classes de agregados do solo.

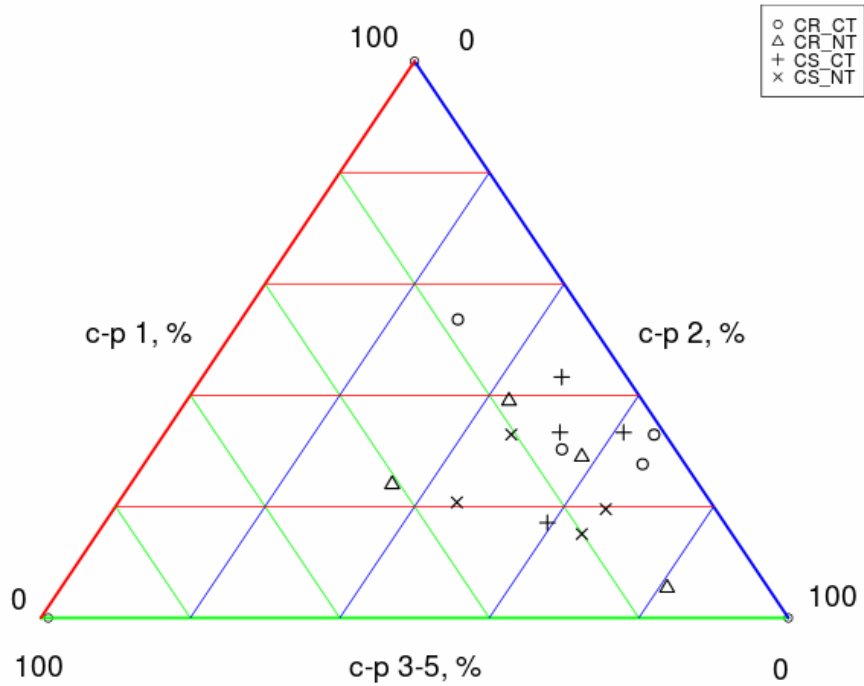
Manejo	Agregados grandes (LA, < 1,00 mm)													
	MI		MI 2-5		SMI		PPI		CI		EI		SI	
CR_CT	1,84	a*	2,34	a	2,19	a	2,48	a	13,81	a	39,82	a	74,65	a
CR_NT	2,17	a	2,56	a	2,36	a	2,51	a	10,43	a	57,59	a	62,01	a
CS_CT	1,94	a	2,57	a	2,10	a	2,39	a	18,07	a	46,54	a	72,19	a
CS_NT	2,22	a	2,38	a	2,33	a	2,66	a	16,11	a	59,92	a	64,61	a
CV (%)	11,23		11,41		7,70		10,60		54,91		38,23		22,76	
Manejo	Agregados pequenos (SA, 0,25 - 1,00 mm)													
	MI		MI 2-5		SMI		PPI		CI		EI		SI	
CR_CT	1,70	a	2,33	a	1,89	a	2,30	a	14,06	a	79,72	a	44,6	a
CR_NT	2,14	a	2,59	a	2,23	a	2,29	a	13,70	a	71,48	a	60,34	a
CS_CT	1,89	a	2,38	a	2,18	a	2,52	a	18,31	a	71,28	a	48,15	a
CS_NT	2,04	a	2,53	a	2,18	a	2,50	a	29,21	a	64,74	a	56,20	a
CV (%)	20,63		8,14		11,93		12,60		94,40		28,81		23,26	
Manejo	Espaço entre agregados (IS, <0,25 mm)													
	MI		MI 2-5		SMI		PPI		CI		EI		SI	
CR_CT	2,15	a	2,61	a	2,19	a	2,25	a	14,41	a	71,13	a	62,82	a
CR_NT	2,05	a	2,45	a	2,18	a	2,41	a	11,06	a	68,76	a	53,15	ab
CS_CT	1,86	a	2,26	a	2,19	a	2,59	a	17,82	a	70,28	a	36,58	b
CS_NT	2,18	a	2,68	a	2,24	a	2,49	a	20,52	a	73,07	a	66,05	a
CV (%)	13,58		5,98		8,63		12,34		65,58		13,56		19,49	

MI: índice de maturidade; MI 2-5: índice de Maturidade com famílias com valores c-p 2-5; SMI: índice de maturidade com todas as famílias de nematoides; PPI: índice de parasitas de plantas; CI: índice canal; EI: índice de enriquecimento; SI: índice de estrutura; CR: rotação e

culturas; CS: sucessão de culturas; CT: preparo convencional; NT: plantio direto; CV: coeficiente de variação; \*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

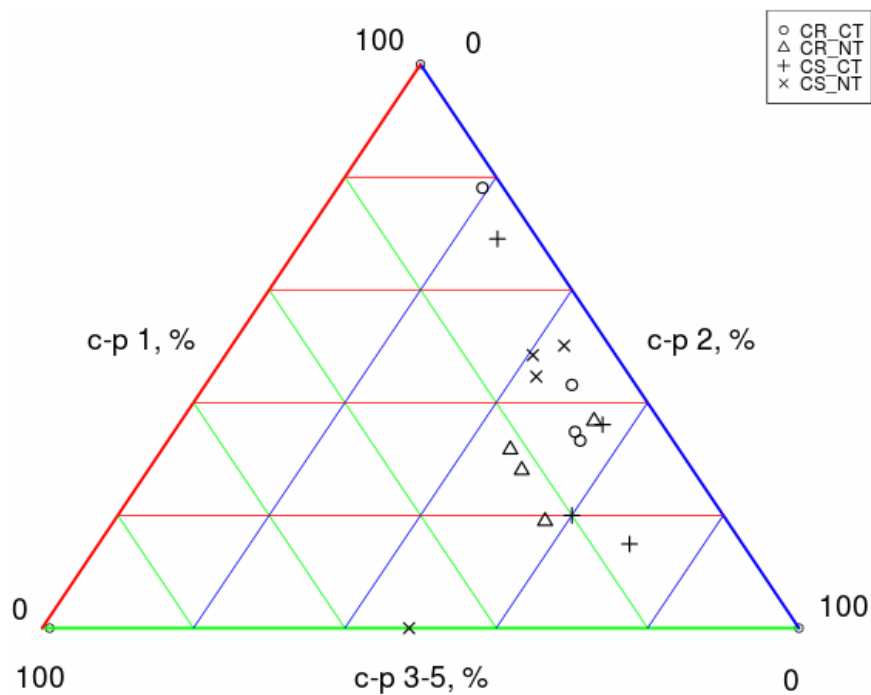
Com base no índice de decomposição de matéria orgânica, a via é basicamente bacteriana, com aumento da importância fúngica quando o ambiente é manejado em sucessão de culturas, em todas as classes de agregados. Não foi possível verificar, ainda, nenhuma alteração no padrão de decomposição de matéria orgânica em relação às classes de agregados.

Em relação aos triângulos c-p, em nenhum caso houve variação em função dos sistemas de manejo das culturas ou de preparo do solo, sendo todas as áreas caracterizadas como ambientes estressados, com prevalência de nematoides com valor c-p 2, com algumas diferenças relacionadas a aumentos da proporção de nematoides com valores c-p 3-5. A comunidade na classe de pequenos agregados pode ser caracterizada como totalmente estressada (Figura 3), na classe de agregados grandes há um aumento leve na importância de nematoides com valor c-p 3-5 (Figura 2) e as comunidades entre agregados mostrou-se como a mais madura (Figura 4), havendo, inclusive, uma certa concentração das amostras.



**Figura 2.** Triângulo c-p de comunidades de nematoides sob diferentes sistemas de manejo de culturas e preparo do solo, na classe de agregado LA (agregados grandes: > 1,0 mm).

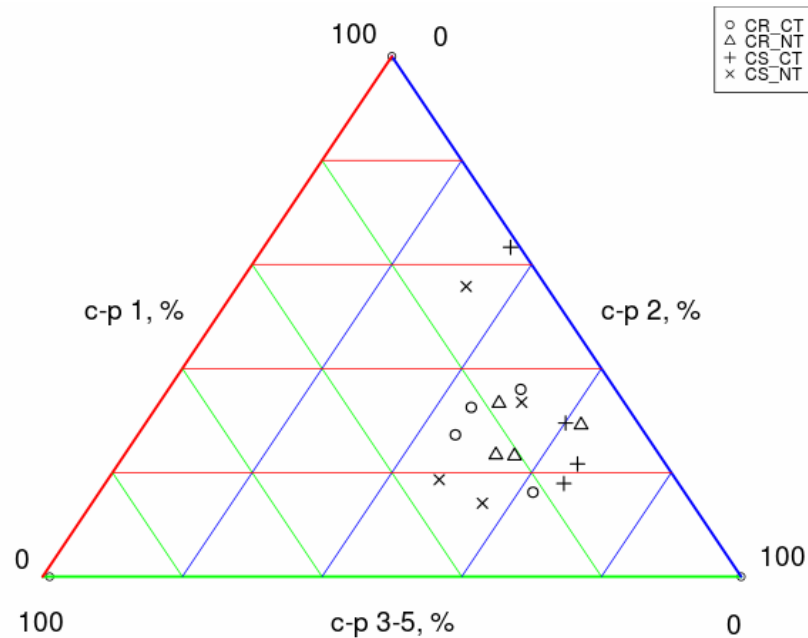
CR: rotação de culturas; CS: sucessão de culturas; CT: Preparo convencional; NT: Plantio direto.



**Figura 3.** Triângulo c-p de comunidades de nematoides sob diferentes sistemas de manejo de culturas e preparo do solo, na classe de agregado SA (agregados

pequenos: 0,25 – 1,0 mm).

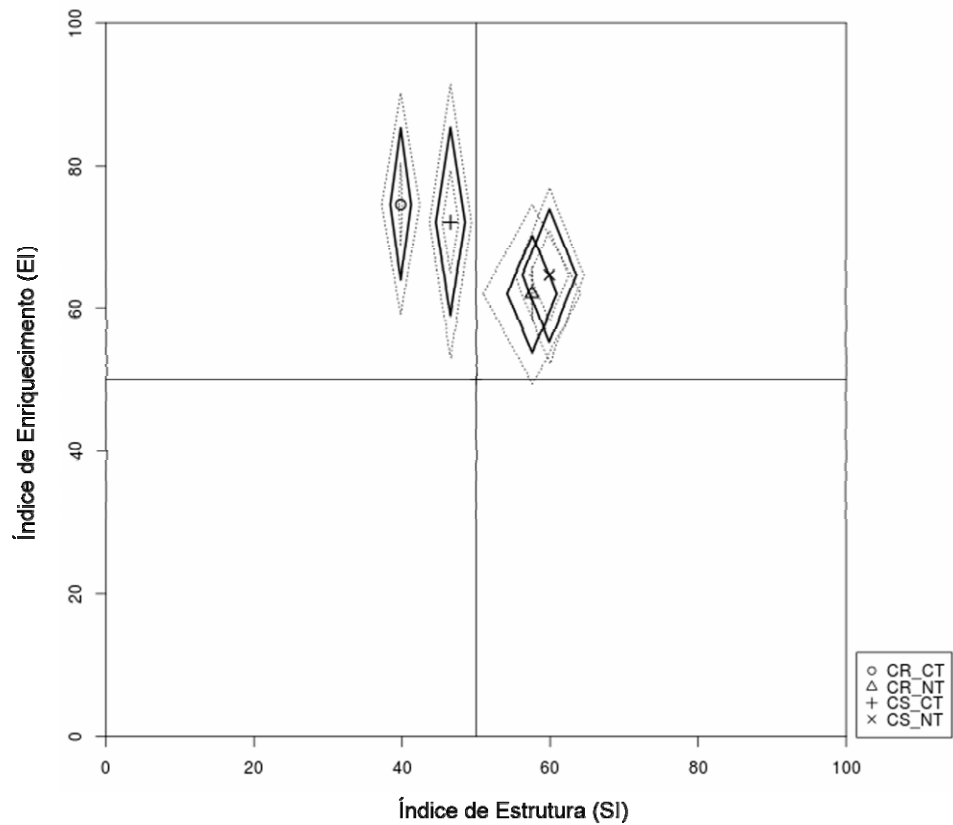
CR: rotação de culturas; CS: sucessão de culturas; CT: Preparo convencional; NT: Plantio direto.



**Figura 4.** Triângulo c-p de comunidades de nematoides sob diferentes sistemas de manejo de culturas e preparo do solo, na classe de agregado IS (espaço entre agregados: < 0,25 mm).

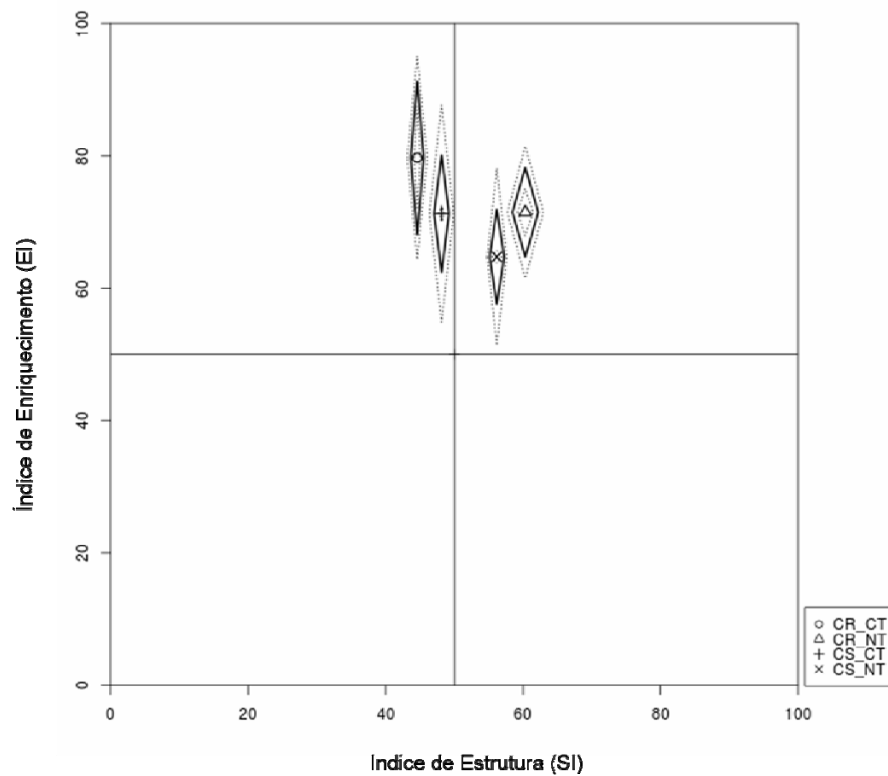
CR: rotação de culturas; CS: sucessão de culturas; CT: Preparo convencional; NT: Plantio direto.

As pegadas metabólicas indicam um efeito claro do sistema de preparo do solo sobre as comunidades de nematoides, não havendo diferenças quanto à classe de agregados. Tanto em agregados grandes (Figura 5), quanto pequenos (Figura 6) as comunidades sob plantio direto levaram a comunidades maduras e o preparo convencional a comunidades estressadas. Entre agregados (Figura 7), ocorre o mesmo efeito do sistema de preparo do solo, mas os ambientes com rotação de culturas também podem ser considerados maduros.



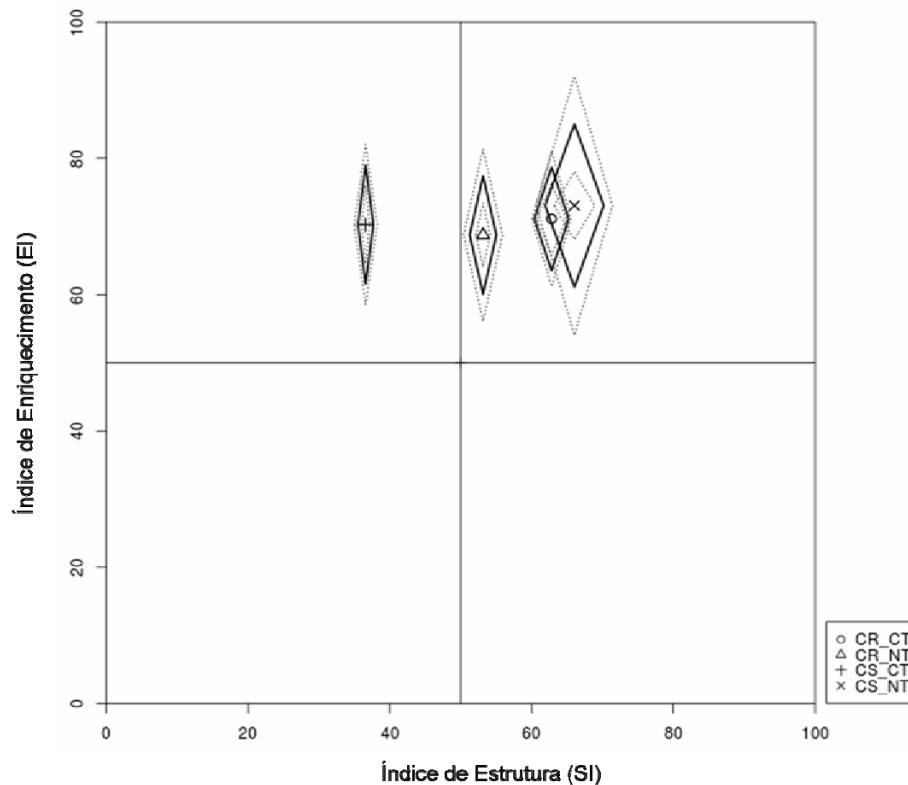
**Figura 5.** Pegadas metabólicas de comunidades de nematoides sob diferentes sistemas de manejo de culturas e preparo do solo, na classe de agregados LA (agregados grandes: > 1.0 mm).

CR: rotação de culturas; CS: sucessão de culturas; CT: Preparo convencional; NT: Plantio direto. A linha cheia representa a média de quatro repetições e a linha tracejada representa a variação (erro padrão).



**Figura 6.** Pegadas metabólicas de comunidades de nematoides sob diferentes sistemas de manejo de culturas e preparo do solo, na classe de agregados SA (agregados pequenos: 0,25 – 1,0 mm).

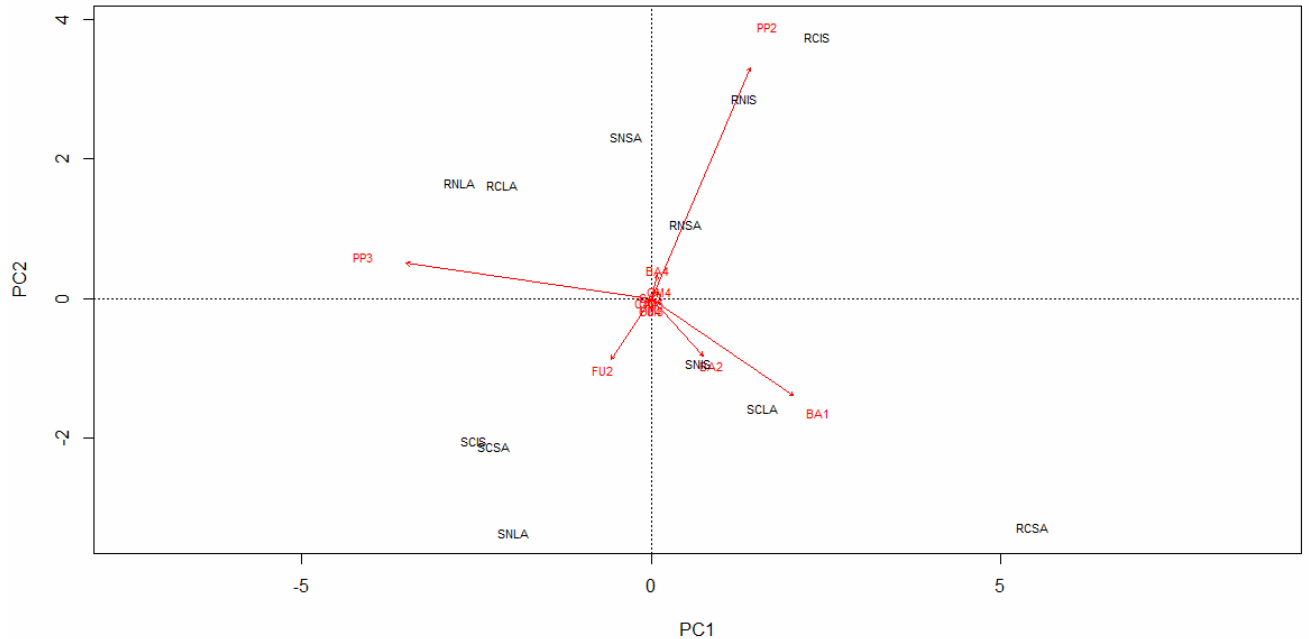
CR: rotação de culturas; CS: sucessão de culturas; CT: Preparo convencional; NT: Plantio direto. A linha cheia representa a média de quatro repetições e a linha tracejada representa a variação (erro padrão).



**Figura 7.** Pegadas metabólicas de comunidades de nematoides sob diferentes sistemas de manejo de culturas e preparo do solo, na classe de agregados IS (espaço entre agregados: < 0,25mm).

CR: rotação de culturas; CS: sucessão de culturas; CT: Preparo convencional; NT: Plantio direto. A linha cheia representa a média de quatro repetições e a linha tracejada representa a variação (erro padrão).

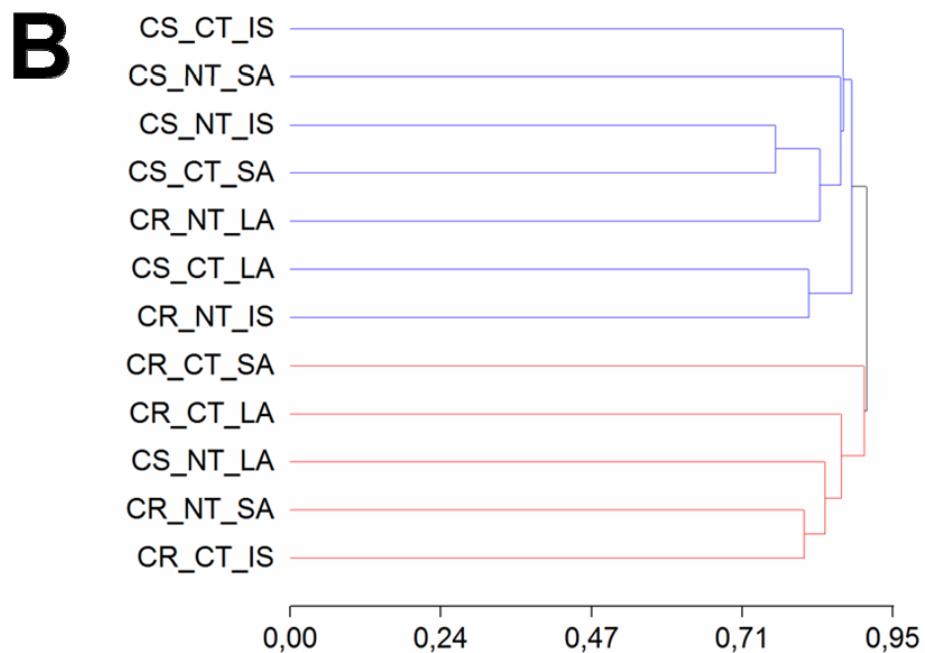
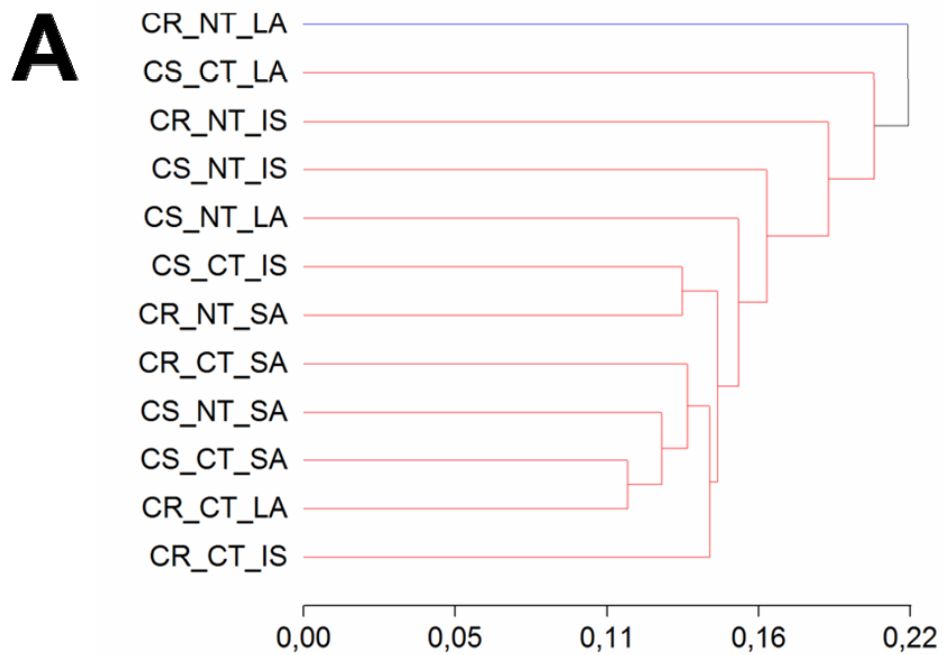
A Análise de Componentes Principais (Figura 8), relacionando as guildas funcionais de nematoides com os sistemas de manejo das culturas e de preparo do solo, bem como as classes de agregados explicou 69,40% da variação dos dados, sendo 39,37% explicada pelo componente 1 e 30,03% explicada pelo componente 2. Não foi possível verificar nenhuma relação entre as guildas e as classes de agregados ou os sistemas de preparo do solo. Em relação aos sistemas de manejo das culturas, que se relacionou fortemente com o componente 2, a rotação de culturas favoreceu a guilda PP2 e a sucessão de culturas favoreceu as guildas FU2, BA1 e BA2. As guildas PP2 e FU2 apresentaram uma relação inversa entre si.



**Figura 8.** Análise de Componentes Principais (PCA) da associação de guildas funcionais de nematoides a sistemas de manejo de culturas e preparo do solo em três classes de agregados.

Xn: guildas funcionais de nematoides, onde X representa o hábito alimentar (BA: bacteriófagos, CA: carnívoros, FU: fungívoros, OM: onívoros, PP: parasitas de plantas) e n representa o valor, de 1-5; R: rotação de culturas; S: sucessão de culturas; C: preparo convencional; N: plantio direto; LA: agregados grandes (>1,0 mm); SA: agregados pequenos(0,25 – 1,0 mm); IS: espaço entre agregados (<0,25 mm).

Pela análise da classificação hierárquica (Figura 9), baseada nas abundâncias dos táxons de nematoides, não se verifica efeitos das classes de agregados sobre a distribuição dos nematoides. Quando à distância foi calculada utilizando-se a dissimilaridade de Bray-Curtis ( $C=0,892$ ,  $n=48$ ), não se observou nenhum padrão nos agrupamentos formados, apenas diferenciando CR\_NT das demais áreas. Já o cálculo utilizando a similaridade de Jaccard ( $C=0,745$ ,  $n=48$ ) permitiu a formação de dois agrupamentos em função do sistema de manejo da cultura.



**Figura 9.** Classificação hierárquica baseada na abundância absoluta de gêneros de nematoides em áreas sob dois sistemas de manejo de culturas e preparo do solo, em três classes de agregados.

A: Distância de Bray-Curtis; B: Distância de Jaccard; CR: Rotação de culturas; CS: Sucessão de culturas; CT: Preparo convencional; NT: Plantio direto; LA: agregados grandes (>1,0 mm); SA: agregados pequenos(0,25 – 1,0 mm); IS: espaço entre agregados (<0,25

mm). As cores representam agrupamentos estatisticamente diferentes.

## DISCUSSÃO

Efeitos mais evidentes do sistema de preparo do solo que sistema de manejo de culturas sobre o diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e índice de estabilidade de agregados já haviam sido observados por Castro Filho et al. (1998), trabalhando no mesmo tipo de solo que este experimento. Efeitos das culturas sobre a agregação do solo são menos notáveis porque as propriedades físicas do solo são menos influenciadas pelas culturas (BERTOL et al., 2004) e as alterações dependem, ainda, da interação com o sistema de preparo do solo, bem como do acúmulo de matéria orgânica na superfície e do volume e distribuição de raízes ao longo do perfil do solo, características de cada sistema de rotação (CASTRO FILHO et al., 1998; SALTON et al., 2008). Além disso, a biota do solo exerce um papel importante (STEPHAN; ZHANG, 1997), principalmente pela ação de micorrizas e oligoquetas (SILVA et al., 2004).

Aumentos de DMP, DMG e IEA em áreas com a adoção de plantio direto já foram obtidos em diversos trabalhos (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990; CASTRO FILHO et al, 1998; CORRÊA, 2002a; BERTOL et al., 2004, WENDLING et al., 2005), devido ao não revolvimento do solo e acúmulo de matéria orgânica em relação ao plantio convencional. Como já apontado por Castro Filho et al. (1998), incrementos do DMP podem ser resultantes do aumento das classes de agregados maiores, como aconteceu neste experimento em que as áreas de preparo convencional foram dominadas por pequenos agregados. O preparo convencional do solo tende a diminuir a quantidade de agregados grandes (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990; CORRÊA, 2002a).

Com a adoção de sistemas convencionais de preparo do solo há maior suscetibilidade ao escoamento superficial das águas, com arraste de partículas, provocando a degradação do solo (RHEINHEIMER et al., 1998), pois pulverizam a superfície dos solos, tornando-os mais suscetíveis ao processo erosivo e facilitam a formação de impedimentos físicos abaixo das camadas trabalhadas pelo implemento (BAUDER et al., 1981; TAVARES FILHO; TESSIER, 1998; TAVARES FILHO et al., 2001). Além disso, agregados estáveis de maior tamanho são mais resistentes ao processo erosivo (CALONEGO; ROSOLEM, 2008).

Calonego e Rolsolem (2008) verificaram o efeito da rotação de

culturas, entretanto os autores não avaliaram os efeitos do sistema de manejo do solo. Além disso, os efeitos percebidos ocorreram em função da inclusão de triticale na rotação. Monocotiledôneas tendem a favorecer a estruturação do solo pela maior densidade radicular (SILVA; MIELNICZUK, 1997), que aumenta a distribuição de exsudatos no solo (MIELNICZUK, 1999) e favorece as ligações entre partículas minerais e agregados (CALONEGO; ROLSOLEM, 2008).

Como os nematoides são organismos com diâmetro reduzido (YEATES; BOAG, 2003) que se movem no filme de água entre as partículas do solo (TIHOHOD, 1993), seu movimento ocorre sem a atividade de construção de túneis (BONGERS; FERRIS, 1999). Assim, esses organismos são menos sensíveis a alterações físicas no solo como porosidade e agregação, em comparação a organismos da macrofauna (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Isso pode explicar o fato de, no nosso trabalho, não terem sido obtidas diferenças das comunidades em relação às classes de agregados.

Efeitos de classes de agregados sobre a estrutura de comunidades de nematoides foram obtidas por Briar et al. (2011) e não observadas por Quénehervé e Chotte (1996) e Jiang et al. (2013), o que sugere que outros efeitos podem ser mais determinantes na dinâmica das comunidades, dependendo de cada ambiente avaliado. Além disso, embora as classes de agregados tenham sido estudadas separadamente, é válido lembrar que sua distribuição no solo se confunde e, inclusive pode haver interferência entre elas, como observado por Briar et al. (2011), que relataram que a comunidade de nematoides entre agregados era muito influenciada pela comunidade tanto em agregados grandes, quanto em agregados pequenos, já que os nematoides podem se mover entre as frações de solo (WU et al., 1990).

Embora os índices de diversidade e maturidade ecológica não tenham sido sensíveis em verificar diferenças entre as comunidades de nematoides, a aplicação de ferramentas multivariadas permitiu verificar efeitos dos sistemas de manejo. Embora sejam amplamente utilizados, os índices nem sempre são suficientemente sensíveis às perturbações ambientais, sendo necessária aplicação de análises mais complexas, principalmente análises de agrupamentos e correlação (NEHER, 2001; GOULART, 2007). Jiang et al. (2013) também não obtiveram respostas dos índices de maturidade a alterações nos atributos físicos do solo, sendo responsivos apenas à aplicação de esterco suíno.

Os triângulos c-p mostram que todas as áreas podem ser caracterizadas como estressadas, pela predominância de nematoides com valores c-p 2. Entretanto, alterações da comunidade ocorreram entre as classes de agregados, com aumentos na proporção de nematoides com valor c-p 3-5. Assim, a maturidade dos ambientes, com base na distribuição das famílias pode ser dada como  $IS > SA > LA$ . A transformação de ecossistemas nativos em agroecossistemas gera perturbações no ambiente, variando em função do manejo adotado. No geral, culturas anuais tendem a levar a ambientes mais perturbados que o uso de culturas perenes e florestais (GOULART; FERRAZ, 2003; GOULART et al., 2003; ANDRADE 2004; TOMAZINI et al., 2008a,b). Como no presente estudo as áreas avaliadas eram todas de culturas anuais, o ambiente se caracteriza como estressado. Em trabalho realizado na mesma área, Arieira (2012) verificou que fragmentos florestais eram mais maduros ecologicamente que qualquer área agrícola, independente do sistema de manejo (de culturas ou preparo do solo) utilizado.

Além disso, as comunidades também se igualam quanto à decomposição de matéria orgânica bacteriana. As dinâmicas populacionais de nematoides fungívoros e bacteriófagos tendem a se sincronizar com as dos microrganismos dos quais se alimentam (FRECKMAN, 1985; MIKOLA, 1998). Assim, nematoides fungívoros e bacteriófagos afetam a atividade de fungos e bactérias, conseqüentemente afetando também os processos desempenhados por esses microrganismos, contribuindo para o processo de decomposição de matéria orgânica, chegando a elevar taxas de mineralização de carbono (respiração) e de outros nutrientes (ANDERSON et al., 1981; TROFYMOW et al., 1983; FERRIS et al., 1998; MIKOLA; SETALA, 1998; BARDGETT; CHAN, 1999; CHEN; FERRIS, 1999; LAAKSO; SETALA, 1999).

Os valores mais elevados de CI nas áreas de sucessão de culturas está de acordo com a relação positiva observada entre FU2 e este manejo da cultura. Aumentos na importância de nematoides fungívoros levará a aumentos nos valores de CI, e esses aumentos têm relação direta com alteração nos resíduos. Como fungos têm suas populações aumentadas com a presença de resíduos ricos em celulose e lignina e com uma maior relação de C/N (FERRIS et al., 2001; GEORGIEVA et al., 2005), provavelmente esta alteração se dá em função da utilização de plantas com resíduos ricos em nitrogênio na área de rotação (tremoço e nabo forrageiro) nos cultivos anteriores. Mitchell et al. (1991), revisando os

resultados dos três experimentos mais antigos dos Estados Unidos, todos com mais de cem anos, concluíram que a rotação de culturas e a recuperação do teor de N do solo pela utilização de leguminosas foram as estratégias mais eficientes para atingir uma produção sustentável (AMADO et al., 2000). A relação inversa entre fungívoros e fitoparasitas, observada neste trabalho já havia sido obtida por Gomes et al. (2003), que verificaram, ainda, relação inversa entre fitoparasitas e carnívoros.

Quando a maturidade das comunidades foi avaliada baseando-se no papel das guildas funcionais na cadeia trófica, verificou-se um efeito do sistema de manejo de culturas. Rotação leva a comunidades mais maduras ecologicamente, principalmente por variação no índice de estrutura. Vale ressaltar que efeitos do sistema de preparo ocorreram apenas na classe IS, onde apenas preparo convencional em sucessão de culturas se caracterizou como um sistema estressado.

A maturidade ecológica de um ambiente agrícola tende a ser maior quando se utiliza da diversificação de cultivos (BRIAR et al., 2011; ARIEIRA, 2012; SANTIAGO et al., 2012). Esses efeitos se dão, não apenas pela diversificação de recursos alimentares à biota do solo, mas também por diferentes sistemas radiculares que afetam, indiretamente a estruturação do solo (CASTRO FILHO et al., 1998; PALMEIRA et al., 1999). A rotação de culturas, pela inclusão de espécies com sistema radicular agressivo e pelos aportes diferenciados de matéria seca, pode alterar as propriedades físicas do solo, levando a alterações de acordo com o período de cultivo, o número de cultivos por ano e as espécies cultivadas (STONE; SILVEIRA, 2001).

A similaridade de Jaccard foi a medida mais sensível para agrupamento dos ambientes em função dos táxons identificados. Isso pode acontecer pelo fato de não ter havido dominância clara entre os táxons avaliados, o que diminui a sensibilidade do índice de Bray-Curtis, já que a diversidade nesse caso é medida em função da riqueza e da repartição (ODUM; BARRET, 2007). Como entre os táxons identificados, apenas *Cephalenchus*, *Cervidellus*, *Ditylenchus*, *Malenchus*, *Mesodorylaimus*, *Mesorhabditis*, *Scutellonema*, *Theristus* e *Trophurus* foram exclusivos de LA, *Diphterophora* e *Seinura* de SA e *Prodorylaimus* e *Pungentus* de IS, o índice de Jaccard não agrupou as áreas em função da classe de agregados. Nossos dados indicam que o sistema de manejo das culturas influi de forma drástica nos nematoides em certo ambiente, definindo quais espécies se estabelecerão na comunidade.

## CONCLUSÕES

A adoção de plantio direto melhora a agregação do solo, com aumento do diâmetro médio ponderado, do diâmetro médio geométrico e da estabilidade de agregados, bem como aumento na proporção de agregados maiores, não sendo verificados efeitos do sistema de manejo das culturas.

As comunidades de nematoides foram dominadas por nematoides fitoparasitas e bacteriófagos, que compreenderam mais de 75% dos nematoides identificados nas amostras.

A decomposição da matéria orgânica foi bacteriana em todos os tratamentos, embora haja um aumento da importância da decomposição fúngica nas áreas sob preparo convencional do solo.

As comunidades de nematoides não se diferenciaram em relação às classes de agregados do solo, sendo mais afetadas pelo sistema de manejo das culturas que pelo sistema de preparo do solo.

## **5 ARTIGO 3: EFEITOS DE SISTEMAS DE CULTURAS E PREPARO DO SOLO SOBRE COMUNIDADES DE NEMATOIDES E UNIDADES MORFOLOGICAMENTE HOMOGÊNEAS: UMA ABORDAGEM COMBINADA PARA AVALIAR A QUALIDADE DO SOLO**

### **RESUMO**

Comunidades de nematoides têm sido amplamente utilizadas como indicadores biológicos da qualidade do solo e como uma medida de distúrbios ambientais causados por vários sistemas de manejo agrícola. No entanto, estudos que combinem as comunidades de nematoides a outros métodos qualitativos para avaliar a qualidade do solo ainda são raros. Aqui nós comparamos as informações obtidas a partir de comunidades de nematoides com informações obtidas a partir do estudo da distribuição das unidades morfológicamente homogêneas (UMHs) no perfil do solo. Foram coletadas amostras em um experimento de longa duração para estudar os efeitos de diferentes sistemas de cultivo e preparo do solo. O sistema de cultivo afetou tanto as UMHs quanto a estrutura das comunidades de nematoides de cultivo. Áreas sob rotação de culturas tiveram os valores mais altos do índice de maturidade (MI), embora tenham sido dominadas por fitonematoides. As análises dos grupos funcionais de nematoides revelou que a decomposição da matéria orgânica foi basicamente bacteriana. Os diferentes sistemas de cultivo puderam ser caracterizados de acordo com agrupamentos de UMHs: estrutura L sob rotação de culturas, estrutura L sob a sucessão, outras estruturas sob rotação e outras sob a sucessão. Guildas funcionais de nematoides relacionadas com a regulação da decomposição da matéria orgânica correlacionado com estruturas Bw e C do solo. Entre as variáveis ambientais avaliadas, as que influenciaram a variação dos dados foram percentagem de carbono, relação carbono/nitrogênio e volume das UMHs.

**Palavras-chave:** Biodiversidade. Bioindicadores. Estrutura do solo. Manejo do solo, Nematoides de vida livre. Perfil Cultural.

**EFFECTS OF CROPPING AND TILLAGE SYSTEMS ON NEMATODE COMMUNITIES AND MORFOLOGICAL HOMOGENOUS UNITS: A COMBINED APPROACH FOR SOIL QUALITY ASSESSMENT**

## ABSTRACT

Nematode communities have been widely used as biological indicators of soil quality, and as a measurement of environmental disturbances caused by various agricultural management systems. However, studies combining nematode communities to other qualitative methods for assessing soil quality are rare. Here we compare information obtained from nematode communities with information obtained from the study of the distribution of morphologically homogeneous units (MHUs) in the soil profile. We collected samples in a long-term experiment in Brazil to study effects of various cropping and tillage systems. Cropping system affected both MHUs and the structure of nematode communities. Land under crop rotation had the highest maturity index (MI) values, although it was dominated by plant-parasitic nematodes. Nematode functional group analyses revealed that the organic matter decomposition was basically bacterial. The different cropping systems could be characterized by specific MHU's: structure L under crop rotation, structure L under succession, other structures under rotation and other structures under succession. Functional guilds of nematodes related to the regulation of organic matter decomposition correlated with Bw and C soil horizons. Among the environmental variables evaluated, those that influenced data variations were percentage of soil carbon, carbon/nitrogen ratio and volume of MHUs.

**Key-words:** Biodiversity. Bioindicators. Cultural Profile. Free-living nematodes. Soil structure. Soil management.

## INTRODUÇÃO

Os solos agrícolas funcionam como um sistema de retenção e de circulação de água, ar, nutrientes e calor para sementes e plantas (TORMENA et al., 2002) e o manejo do solo visa melhorar suas propriedades biológicas físicas, químicas, para aumentar o potencial produtivo (CARVALHO et al., 2004) e criar um ambiente favorável para o crescimento de culturas (TAVARES FILHO et al., 2001).

No entanto, conforme o solo é trabalhado, mudanças quantitativas e qualitativas ocorrem no ecossistema, afetando principalmente as propriedades físicas do solo (CENTURION et al., 2001). A conversão de ecossistemas nativos em

agroecossistemas afeta as características físicas e hídricas do solo, bem como o crescimento radicular (STONE; SILVEIRA, 2001), a adição de matéria orgânica e as taxas de decomposição (ZINN et al., 2005), as transformações microbianas (FRANCHINI et al., 2007; HUNGRIA et al., 2009; SILVA et al., 2014), as reações químicas (CASTRO et al., 1993), os estoques de carbono orgânico (RANGEL; SILVA, 2007; BABUJIA et al., 2010) e a densidade e diversidade de organismos do solo (LIMA et al., 2006; ARIEIRA et al., 2013).

Estudos relacionados à sustentabilidade agrícola chamaram a atenção para o uso de organismos edáficos como indicadores biológicos de qualidade do solo (LINDEN et al., 1994). Isto aplica-se aos nematoides, uma vez que respondem rapidamente a alterações ambientais (BONGERS; FERRIS, 1999), são abundantes no solo (FRECKMAN; ETTEMA, 1993), são amplamente distribuídos (CURRY, 1994), podem ser classificados em diferentes grupos tróficos (YEATES et al., 1993) e são relativamente fáceis de extrair e identificar em comparação com outros organismos do solo (NEHER, 2001).

Em agroecossistemas, a comunidade de nematoides inclui espécies introduzidas naturalmente ou pela ação humana, e espécies nativas que sobreviveram à intervenção agrícola (YEATES; BONGERS, 1999). Fatores críticos que afetam a diversidade de nematoides incluem a textura do solo e teor de umidade, bem como a disponibilidade de recursos alimentares (YEATES et al., 1993). Assim, o conhecimento da dinâmica populacional em diferentes sistemas de manejo do solo é um fator crucial na interpretação do seu impacto sobre os processos do solo e a sustentabilidade agrícola (OU et al., 2005). Sistemas de plantio direto são conhecidos por conservar e melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, especialmente quando combinado com a diversificação de culturas e pode contribuir para aumentar a sustentabilidade e a produtividade biológica do solo (FRANCHINI et al., 2007; FRANCHINI et al., 2012; SILVA et al., 2014).

A estrutura do solo afeta a disponibilidade da água e ar para as raízes e o desenvolvimento do sistema radicular (PALMEIRA et al., 1999). O preparo do solo afeta as propriedades físicas através da alteração da estrutura do solo (DREES et al., 1994; FREGONEZI et al., 2001; MULLER et al., 2004; CARDOSO et al., 2006). A estrutura física do solo pode ser descrita pelo método do Perfil Cultural, que classifica diferenças entre horizontes do solo que podem estar relacionados com

efeitos de implementos agrícolas, o comportamento radicular e a influência de fatores naturais (MANICHON; GAUTRONNEAU, 1996). Assim, a descrição do perfil fornece informações sobre efeitos do manejo agrícola na estrutura do solo (RALISCH et al., 1991; NEVES et al., 2003).

Nematoides não contribuem para a formação da estrutura do solo, mas respondem rapidamente a alterações nas propriedades do solo. Nossa hipótese é de que o preparo do solo e manejo da cultura afetam as unidades morfológicas do solo, descritas pelo método do Perfil Cultural. Além disso, estas unidades específicas apresentarão uma comunidade de nematoides formada por organismos diferenciados e que desempenham funções ecológicas variadas. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de sistemas de culturas e de preparo do solo sobre comunidades de nematoides, a fim de estabelecer níveis de impacto na qualidade ambiental, baseando-se no uso combinado do método do Perfil Cultural e na nematofauna.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### ***Caracterização da área experimental***

O trabalho foi realizado em área de experimento de longa duração, foi instalado no verão de 1988/1989, na área experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Embrapa Soja) (23° 11'S, 51° 11' W, altitude 620m), em Londrina, no estado do Paraná, Brasil. O solo é classificado como Rhodic Eutrudox (classificação americana) ou Latossolo Vermelho eutroférico (classificação brasileira). O clima é classificado como Subtropical Úmido (cfa) de acordo com sistema de Köppen-Geiger e da vegetação nativa do domínio Mata Atlântica, classificada como floresta estacional semidecidual (IBGE, 1992). As unidades experimentais consistiram de parcelas de 7,5 x 30m (225 m<sup>2</sup>), organizadas em blocos ao acaso em arranjo fatorial de sistemas de culturas (n = 2) e preparo do solo (n = 4) sistemas, com quatro repetições por tratamento, resultando em 32 parcelas.

Os experimentos foram constituídos de quatro sistemas de preparo

do solo (plantio direto (NT), plantio direto e escarificação a cada três anos (NTC), plantio convencional com arado de discos (CTD) e plantio convencional com grade pesada (CTH)), e dois sistemas de cultivo (sucessão de culturas (S) e rotação de culturas (R)). As parcelas de rotação de culturas foram cultivadas com seis espécies de culturas em um intervalo de três anos (ou seja, duas safras por ano): tremoço (*Lupinus albus*), milho (*Zea mays*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), aveia preta (*Avena Strigosa*), soja (*Glycine max*), e trigo (*Triticum aestivum*). Nas áreas de sucessão ocorreu o cultivo de soja no verão, seguida de trigo inverno anualmente.

Mais informações sobre o histórico da área experimental antes da avaliação em nosso trabalho, bem como das culturas, aplicação de fertilizantes e manejo de pragas e doenças são dadas em Silva et al. (2014).

### **Caracterização morfoestrutural e amostragem do solo**

A caracterização morfoestrutural do solo foi realizada de acordo com a metodologia do perfil cultural (MANICHON; GAUTRONNEAU, 1996), adaptada por Tavares Filho et al. (1999). Para tanto, em cada tratamento, foram abertos dois perfis de 1,0 m de comprimento x 1,0 m de largura e 1,0 m de profundidade, perpendiculares ao sentido do cultivo do solo, visando detectar alterações morfológicas em função do sistema de manejo adotado.

Na estratificação foram determinadas pela avaliação da distribuição espacial no perfil das estruturas causadas pelo tráfego das máquinas e a ação dos implementos agrícolas, as regiões alteradas e as não alteradas pelo manejo agrícola. As unidades morfológicas homogêneas (UMH's) da camada alterada pelo manejo foram classificadas como, Livre (L), Fissurada (F) ou Contínua (C) e a não alterada pelo manejo como Bw (horizonte Bw dos latossolos).

Na descrição das estruturas do solo também foi realizada a avaliação do estado interno dos torrões, sendo estes classificados como agregados compactos (D), agregados que estão em processo de compactação, mas que ainda guardam predominantemente as características do estado não compacto ( $\mu$ ) sobre as características do estado compacto ( $\mu D$ ) e agregados que estão bem compactos, mas que ainda guardam algumas características do estado não compacto  $\mu$  ( $D\mu$ ). Os desenhos esquemáticos dos perfis culturais do solo delimitando as unidades morfológicamente homogêneas seguiram os procedimentos descritos em Pereira

Neto et al. (2007), obtendo assim as áreas das UMH's.

Maiores informações acerca da descrição das UMHs podem ser obtidas em Tavares Filho et al. (1999), Neves et al. (2003) e Silva et al (2014).

Em março de 2013 (24 anos após a instalação do experimento) foi feita a amostragem, coletando-se amostras de solo em cada UMHs (pelo menos duas amostras por UMH), com um volume de solo aproximado de 1000 cm<sup>3</sup> por amostra. As amostras foram devidamente identificadas e mantidas refrigeradas a 4°C até as avaliações.

### ***Extração e identificação dos nematoides***

Para extração dos nematoides, 300 cm<sup>3</sup> de solo de cada UMH foram colocados em suspensão em 2 L de água, homogeneizado e em seguida a suspensão foi vertida em peneiras consecutivas de abertura 0,84, 0,075 e 0,025 mm, clarificada utilizando a técnica de flotação centrífuga em solução de sacarose (JENKINS, 1964) e mantida em solução de formalina (4% formaldeído). Para determinar a abundância de nematoides, o total em 1 mL da suspensão foi estimado com contagem em câmara de Peters sob microscópio ótico, em três repetições.

Após a contagem, 200 indivíduos foram identificados a nível de gênero, de acordo com Goseco et al. (1974a, b), Bongers (1987), Fortuner et al. (1988) e De Ley e Blaxter (2002). Nematoides dos gêneros *Aphelenchoides*, *Ditylenchus*, *Tylencholaimus* e *Tylenchus* foram classificados como fungívoros, por não serem reportados como parasitas chave nas culturas avaliadas neste experimento. Segundo Neher (2001) esses gêneros têm causado certa ambiguidade, pois podem, em alguns casos serem classificados como fungívoros ou como parasitas de plantas, ficando a classificação relacionada com o hábito alimentar predominante de cada família.

### ***Análise de carbono e nitrogênio do solo***

Os teores de carbono e nitrogênio foram obtidos em analisador elementar Thermo Scientific FLASH 2000 NC Analyzer pelo método da combustão, calculando-se em seguida a razão C/N.

## **Análise dos dados**

Após contagem e identificação dos nematoides, utilizou-se a plataforma NINJA (Nematode Indicator Joint Analysis) (SIERIEBRIENNIKOV et al., 2014) para caracterizar as comunidades de nematoides com base nos seguintes parâmetros ecológicos: a. Maturidade ecológica: índice de maturidade (MI) e índice de parasitas de plantas (PPI), segundo Bongers (1990); b. Estrutura trófica: distribuição relativa (%) dos grupos tróficos, classificados pelos hábitos alimentares com base na morfologia do estoma-esôfago, segundo Yeates et al. (1993); c. Condição de cadeia trófica: índice de Estrutura (SI), índice de Enriquecimento (EI), e índice de Canal (CI), de acordo com Ferris et al. (2001) e pelo cruzamento do EI e SI avaliou-se por fim as pegadas metabólicas, de acordo com Ferris et al. (2010).

Os nematoides foram agrupados em guildas funcionais pelo hábito alimentar e pela resposta à perturbação ambiental, seguindo a classificação de Ferris et al. (2001). Assim, cada guilda pode ser definida de forma geral como  $X_n$ , onde X representa o hábito alimentar (BA: bacteriófagos, CA: carnívoros, FU: fungívoros, OM: onívoros, PP: fitoparasitas) e n representa o valor, de 1-5, segundo Bongers (1990).

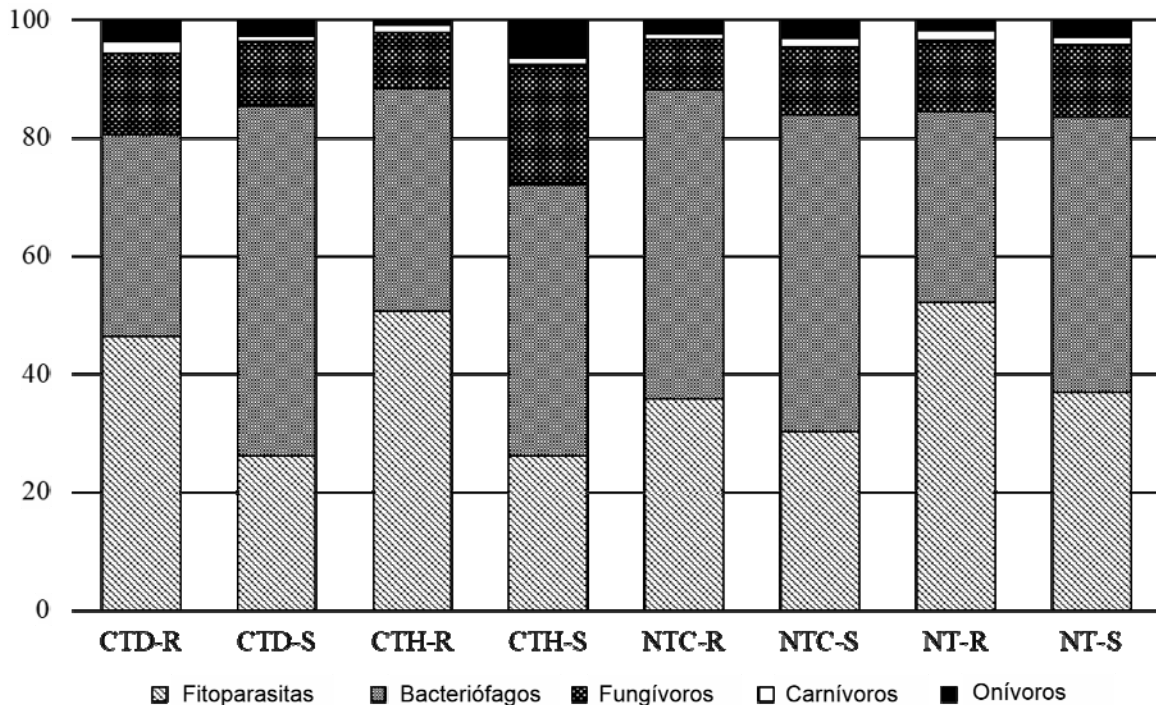
Os resultados quantitativos, incluindo os índices para mensuração da comunidade de nematoides, foram submetidos ao teste de homocedasticidade e normalidade e, atendidas as exigências estatísticas, à análise de variância e, verificando-se a significância, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%.

Com a finalidade de agrupar os manejos empregados estatisticamente semelhantes de acordo com as guildas funcionais de nematoides, estas foram analisadas pela Análise de Componentes Principais (PCA). Além disso, as guildas foram relacionadas aos conteúdos de Carbono e Nitrogênio, bem como ao volume das unidades do perfil cultural através de Análise de Redundância Canônica (RDA). Os procedimentos estatísticos foram realizados utilizando-se a plataforma R, com auxílio do software R-Studio 0.98.507 e do pacote estatístico Vegan 2.0-10.

## **RESULTADOS**

### ***Estrutura trófica e índices ecológicos de nematoides***

As comunidades de nematoides foram dominadas por fitoparasitas e bacteriófagos, com uma baixa incidência de carnívoros e onívoros (Figura 1). O sistema de culturas afetou a composição de grupos tróficos, com um aumento da dominância de fitoparasitas em áreas de rotação de culturas e um aumento da dominância de bacteriófagos em campos de sucessão de culturas. O preparo do solo não resultou em mudanças estatisticamente significativas na composição de grupos tróficos.



**Figura 1.** Estrutura trófica (em porcentagem) de comunidades de nematoides, em áreas sob diferentes sistemas de manejo de culturas e de preparo do solo.

NT: plantio direto; NTC: plantio direto escarificado a cada 3 anos; CTD: preparo convencional com arado de discos; CTH: preparo convencional com grade pesada; R: rotação de culturas; S: sucessão de culturas.

O índice canal (Tabela 1), embora sem apresentar diferença entre os sistemas de manejo, apresentou valores baixos (6,62 – 19,02), o que indica uma decomposição de matéria orgânica basicamente bacteriana.

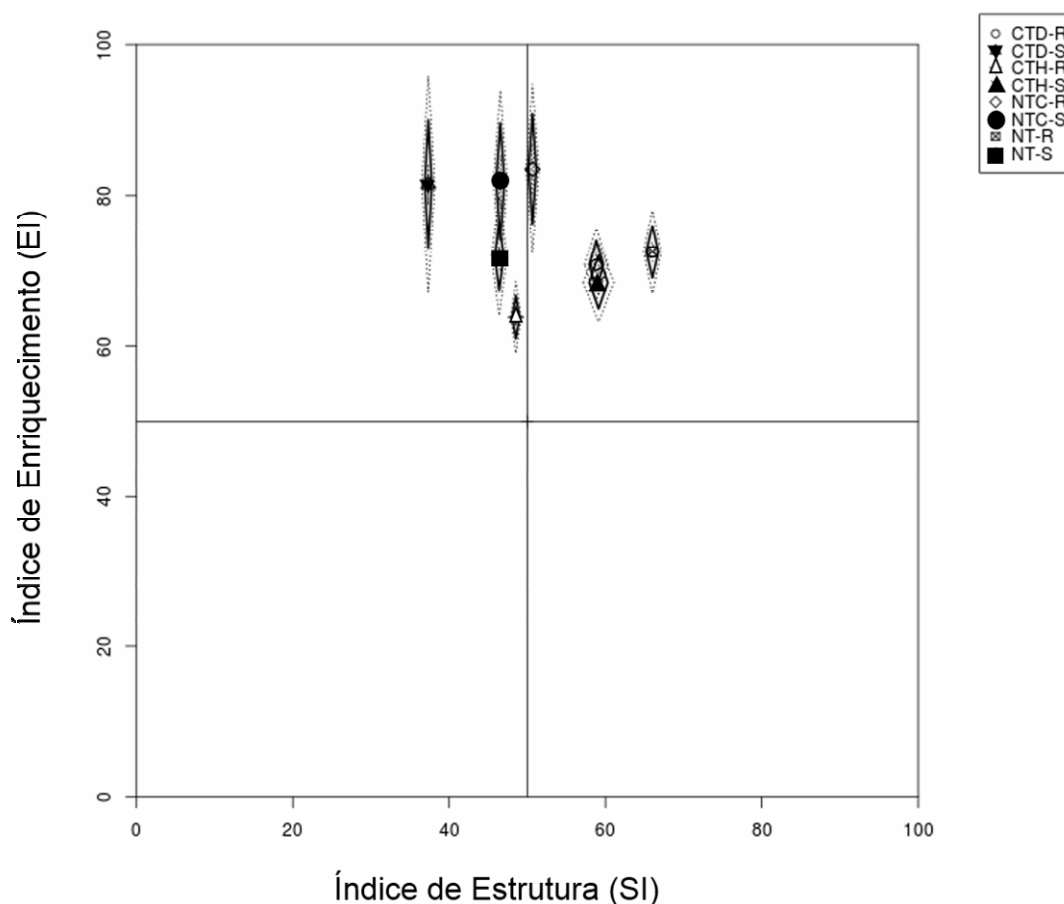
O índice de maturidade foi maior na rotação de culturas, exceto em

CTH-S (Tabela 1) e o índice de estrutura (SI) foi <50% em campos de sucessão de culturas (CTD-S, NTC-S e NT-S) e em áreas sujeitas a rotação de culturas com grade pesada (Tabela 1, Figura 2). O índice de enriquecimento (EI) foi > 50% em todos os tratamentos. Considerando as variações possíveis (baseadas no erro padrão das pegadas metabólicas), a maioria das áreas em sucessão de culturas caracterizaram ambientes perturbados, enquanto as áreas em rotação de culturas ambientes maduros (Figura 2).

**Tabela 1.** Efeito de sistemas de manejo de culturas e de preparo do solo sobre índices ecológicos de comunidades de nematoides.

Manejo	MI		PPI		CI		EI		SI	
CTD-R	2,13	a*	2,46	ns	16,65	ns	70,74	ab	58,83	Ab
CTD-S	1,64	c	2,39	ns	8,68	ns	81,51	a	37,33	C
CTH-R	2,01	ab	2,35	ns	15,10	ns	63,81	b	48,54	bc
CTH-S	2,17	a	2,53	ns	19,02	ns	68,44	ab	59,12	ab
NTC-R	1,67	bc	2,40	ns	6,62	ns	83,50	a	50,66	abc
NTC-S	1,67	bc	2,58	ns	9,57	ns	81,87	a	46,55	bc
NT-R	2,12	a	2,43	ns	18,88	ns	72,48	ab	66,01	A
NT-S	1,86	abc	2,57	ns	14,46	ns	71,92	ab	46,40	bc
CV (%)	16,17		9,38		96,89		17,99		28,33	

\*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância; MI: índice de maturidade; PPI: índice de parasitas de plantas; CI: índice canal; EI: índice de enriquecimento; SI: índice de estrutura; NT: plantio direto; NTC: plantio direto escarificado a cada 3 anos; CTD: preparo convencional com arado de discos; CTH: preparo convencional com grade pesada; R: rotação de culturas; S: sucessão de culturas.



**Figura 2.** Pegadas metabólicas de comunidades de nematoides, em áreas sob diferentes sistemas de manejo de culturas e de preparo do solo.

NT: plantio direto; NTC: plantio direto escarificado a cada 3 anos; CTD: preparo convencional com arado de discos; CTH: preparo convencional com grade pesada; R: rotação de culturas; S: sucessão de culturas.

### ***Relações entre UMHs e guildas funcionais de nematoides***

As Análises de Componentes Principais foram eficientes em detectar agrupamentos das UMHs e efeitos dos sistemas de manejo das culturas em função do sistema de culturas (Figura 3). Em relação aos sistemas de manejo das culturas, considerando-se as UMHs em função da camada, a análise explica 93,50% da variação dos dados (sendo 77,53% da variação explicada pelo Componente 1 e 15,97% explicada pelo Componente 2) e considerando-se as UMHs em função do estado interno dos torrões, a análise explica 92,12% da variação dos dados (sendo 73,15% explicada pelo Componente 1 e 18,97% explicada pelo Componente 2).

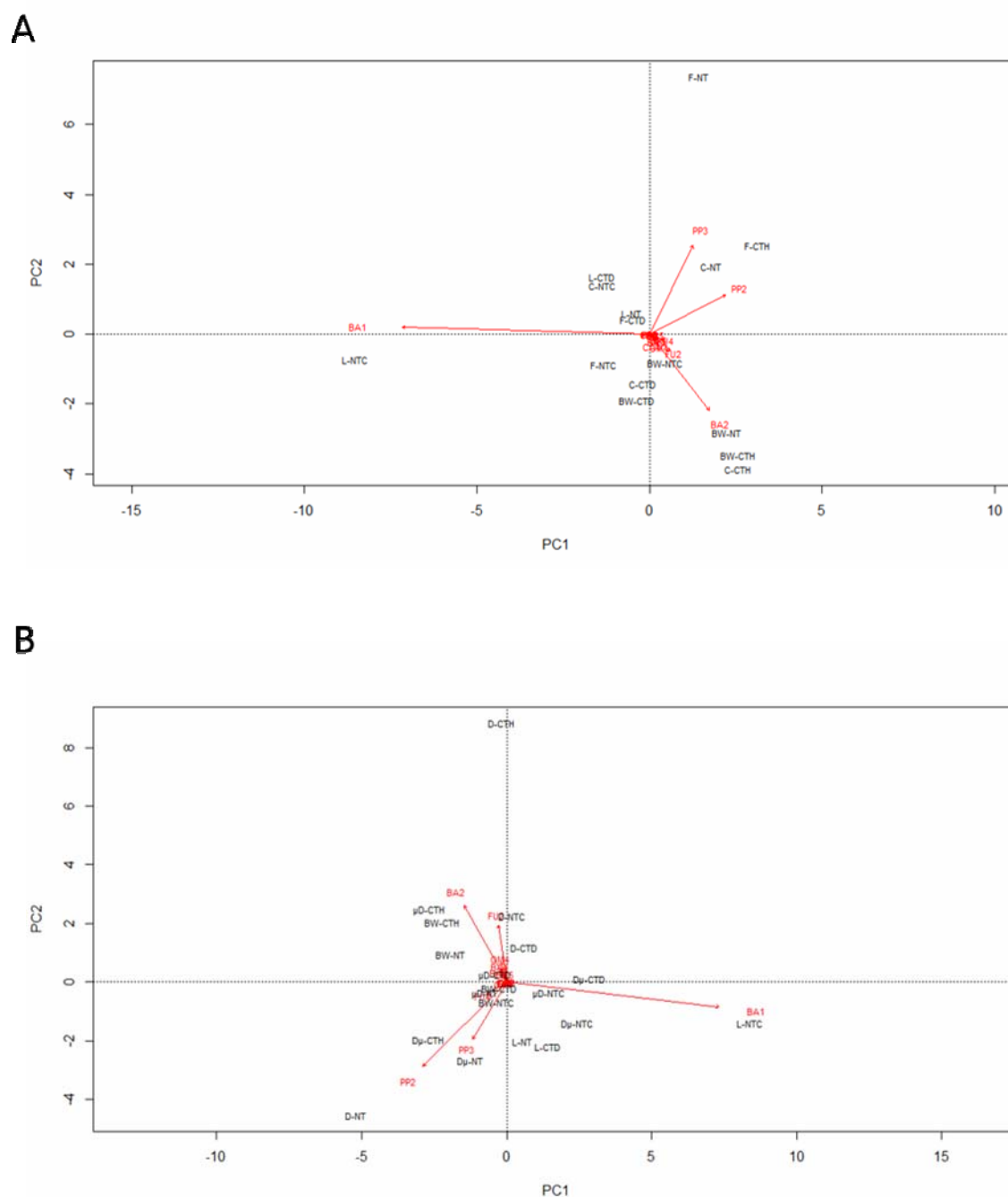


de 1-5; R: rotação de culturas; S: sucessão de culturas. Os vetores vermelhos representam as guildas funcionais de nematoides e os pontos pretos representam as UMHs.

Considerando-se o sistema de preparo do solo, entretanto, não se observou padrão na formação de nenhum agrupamento (Figura 4). A análise explica 96,64% da variação dos dados (sendo 76,00% da variação explicada pelo Componente 1 e 16,05% explicada pelo Componente 2) e considerando-se as UMHs em função do estado interno dos torrões, a análise explica 88,60% da variação dos dados (sendo 64,81% explicada pelo Componente 1 e 23,79% explicada pelo Componente 2).

Em relação às guildas, os nematoides sensíveis à perturbação ambiental (valores c-p 4 ou 5) não apresentaram relação com as UMHs, independente do hábito alimentar. Por outro lado, guildas funcionais de nematoides relacionadas à decomposição de matéria orgânica e enriquecimento do solo se correlacionaram com as UMHs e com os sistemas de manejo empregados. Nematoides BA1 se relacionaram com as estruturas L, independente do arranjo de dados utilizado, correlacionando-se positivamente com sucessão de culturas e NTC. PP2 foram favorecidos pela rotação de culturas e por CTH, se correlacionando com Bw e  $\mu$ D. Já PP3 se correlacionaram com D $\mu$  e Bw, sendo favorecidos em CTH e NT, sem relação com sistema de culturas.

Tanto BA2 quanto FU2, guildas funcionais mais importantes na regulação da decomposição de matéria orgânica, se correlacionaram com Bw e C. Em relação aos sistemas de manejo, ambas se correlacionaram com sucessão de culturas e NT, NTC e CTH. Quanto ao estado interno dos torrões, FU2 não apresentou correlações, enquanto BA2 se correlacionou com D.

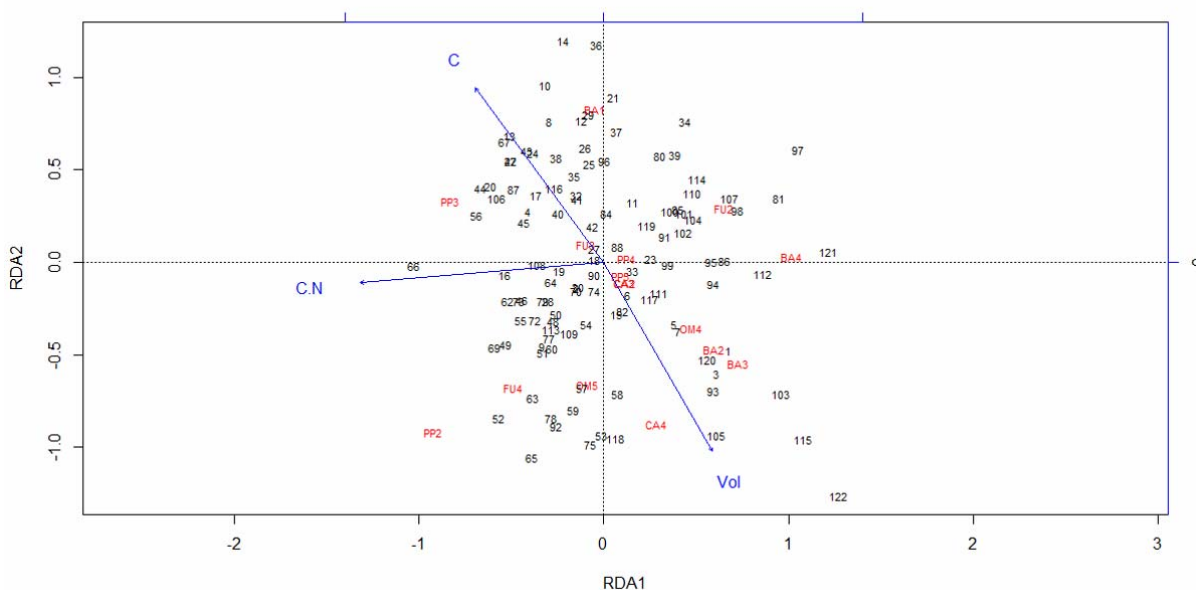


**Figura 4.** Análise de Componentes Principais (PCA) de guildas de nematoides em UMHs do Perfil Cultural, em áreas sob diferentes sistemas de preparo do solo.

A: UMHs (classificação das camadas); B: UMHs (estado interno dos torrões); Xn: guildas funcionais de nematoides, onde X representa o hábito alimentar (BA: bacteriófagos, CA: carnívoros, FU: fungívoros, OM: onívoros, PP: parasitas de plantas) e n representa o valor, de 1-5; NT: plantio direto; NTC: plantio direto escarificado a cada 3 anos; CTD: preparo convencional com arado de discos; CTH: preparo convencional com grade pesada. Os vetores vermelhos representam as guildas funcionais de nematoides e os pontos pretos representam as UMHs.

### **Relação entre guildas funcionais de nematoides, atributos ambientais e sistemas de manejo**

Entre as variáveis ambientais avaliadas, as que apresentaram influência na variação dos dados foram percentagem de Carbono (C), relação Carbono/Nitrogênio (C/N) e volume das UMHs (Vol), como apresentado na Figura 5. A Análise de Redundância explica 96,92% da variação dos dados e os Eigenvalues dos dois primeiros componentes são 0,2636 e 0,1466, respectivamente. A percentagem de Carbono favoreceu as guildas BA1, PP3 e FU2, desfavorecendo as guildas OM4, BA2 e BA3. A relação C/N favoreceu as guildas PP2 e FU4 e desfavoreceu as guildas BA4 e FU2. Em relação ao volume das UMHs, as guildas CA4, OM5, BA3, BA2 e OM4 foram favorecidas e a guilda BA1 foi desfavorecida.



**Figura 5.** Análise de Redundância (RDA) relacionando guildas de nematoides e atributos ambientais do solo.

C: percentagem de Carbono; C.N: relação Carbono:Nitrogênio; Vol: volume das UMHs. Os vetores azuis representam as variáveis ambientais, os pontos vermelhos representam as guildas funcionais de nematoides e os pontos pretos são as amostras.

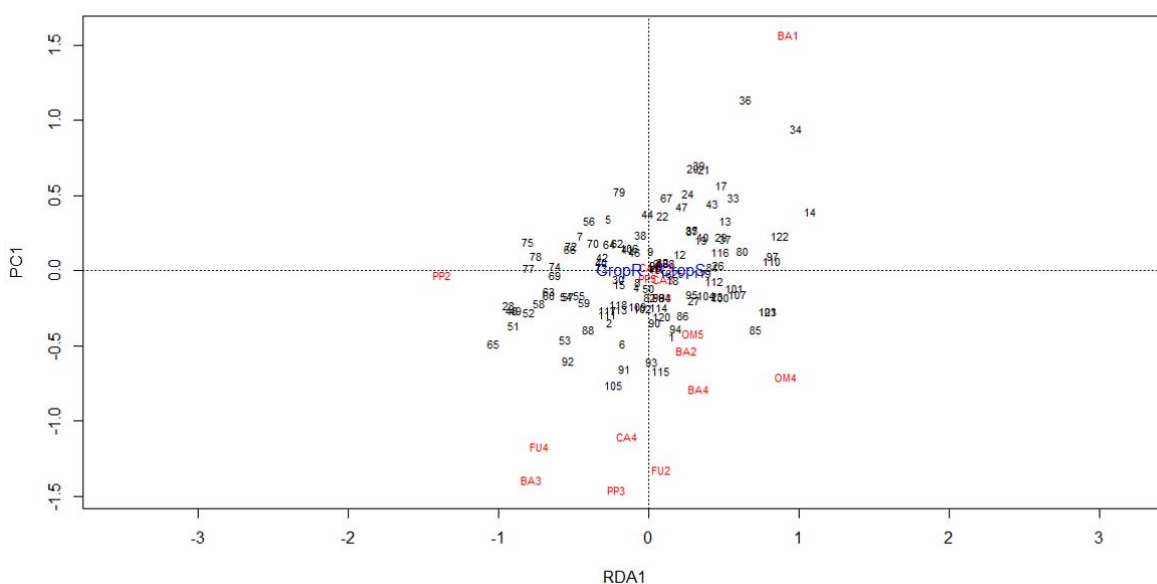
Considerando os atributos ambientais, foi possível observar que entre os sistemas de manejo adotados, apenas o sistema de culturas apresentou efeitos significativos sobre as guildas de nematoides (Tabela 2). Aplicando-se a

Análise de Redundância (RDA) para verificar as relações entre as guildas de nematoides e os sistemas de manejo das culturas, a análise explicou 92,49% da variação dos dados, sendo os Eigenvalues dos dois primeiros componentes 0,2293 e 1,3640, respectivamente. O sistema de rotação de culturas favoreceu as guildas PP2, FU4, BA3, PP3 e CA4, enquanto a sucessão de culturas favoreceu as guildas OM5, BA2, BA4 e OM4 (Figura 6).

**Tabela 2.** ANOVA Multivariada dos efeitos de sistemas de manejo de culturas e preparo do solo na composição das guildas funcionais de nematoides.

Fonte de variação	GL	SQTotal	P-valor
Blocos	3	0,039	0,78
Cultivo	1	0,030	0,05
Preparo	3	0,047	0,15
Cultivo x Preparo	3	0,051	0,12
Resíduo	21	0,833	
Total	31	1	

GL: graus de Liberdade; SQTotal: Total da soma de quadrados; P-valor: nível de significância.



**Figura 6.** Análise de Redundância (RDA) relacionando guildas de nematoides e efeito dos sistemas de manejo das culturas.

Xn: guildas funcionais de nematoides, onde X representa o hábito alimentar (BA:

bacteriófagos, CA: carnívoros, FU: fungívoros, OM: onívoros, PP: parasitas de plantas) e n representa o valor, de 1-5; CropS: Sucessão de culturas; CropR: Rotação de culturas. Os pontos azuis representam os sistemas de manejo das culturas, os pontos vermelhos representam as guildas funcionais de nematoides e os pontos pretos são as amostras.

## DISCUSSÃO

Diversos estudos têm demonstrado que a intensidade de preparo leva a alterações nas propriedades físicas do solo, as quais afetam as propriedades químicas e biológicas (FRANCHINI et al., 2007; HUNGRIA et al., 2009; BABUJIA et al., 2010; MORRIS et al., 2010; LÓPEZ-GARRIDO et al., 2012) relacionada à estruturação do solo (GIAROLA et al., 2013; MUNKHOLM et al., 2013). No entanto, nossos dados sugerem que nematoides são mais sensíveis às mudanças químicas no solo e são, portanto, mais influenciados pelo sistema de culturas que de preparo do solo.

Nematoides bacteriófagos e/ou fitoparasitas são geralmente dominantes em comunidades do solo (OU et al., 2005). Sistemas agrícolas tendem a favorecer nematoides fitoparasitas, que se tornam os mais abundantes quando ecossistemas naturais são transformados em agroecossistemas (WASILEWSKA, 1997; YEATES, 1999; GOULART; FERRAZ, 2003), embora nematoides fitoparasitas também possam ser preponderantes em áreas de vegetação nativa (YEATES; KING, 1997; VALOCKÁ et al., 2001; KORENKO; SCHMIDT, 2007) ou simplesmente dominar essas comunidades em determinadas épocas do ano (TOMAZINI et al., 2008b).

Não era esperado encontrar populações elevadas de fitonematoides em áreas sob rotação de culturas, uma vez que este sistema de manejo é considerado uma boa forma de controle desses organismos (BARKER; KOENNING, 1998; ABAWI; WIDMER, 2000), especialmente quando os resíduos permanecem no campo após a colheita (GOVAERTS et al., 2007). No entanto, como o sistema de rotação de culturas envolve culturas com sistemas radiculares mais robustos (como nabo forrageiro), isso pode levar a uma melhor estruturação do solo quando combinado ao plantio direto (GOVAERTS et al., 2006a), favorecendo o desenvolvimento das raízes das culturas subsequentes através do perfil do solo e isso pode afetar a distribuição de nematoides fitoparasitas, pelo aumento dos recursos alimentares disponíveis.

É ainda necessário salientar que a rotação de culturas é importante como parte de várias táticas de manejo que podem ser aplicadas ao longo do tempo, incluindo o uso de plantas não-hospedeiras e cultivares resistentes (ROBERTS, 1993) e usar a rotação de culturas como uma tática isolada pode não necessariamente levar à diminuição das populações de nematoides fitoparasitas. Além disso, efeitos de um sistema mais diversificado de culturas sobre comunidades de nematoides não são regra, como verificado por Govaerts et al. (2006b), que não verificaram efeito do sistema de manejo de culturas sobre patógenos de solo, inclusive nematoides fitoparasitas.

Overstreet et al., (2010) também relataram baixa incidência de nematoides fungívoros sob diferentes sistemas de manejo do solo. Esses nematoides se beneficiam de resíduos ricos em celulose e lignina e com uma maior relação de C/N (FERRIS et al., 2001; GEORGIEVA et al., 2005), o que pode explicar os baixos valores do índice canal neste estudo.

Baixas populações de nematoides carnívoros e onívoros têm sido relatados em diversos estudos, principalmente em áreas agrícolas (NEHER; CAMPBELL, 1994; GOULART; FERRAZ, 2003; TOMAZINI et al., 2008a,b; RODRIGUES et al., 2011), uma vez que são negativamente afetados pela atividade humana e por práticas agrícolas contínuas (GOMES et al., 2003).

O revolvimento do solo e a incorporação de resíduos perturba a comunidade de nematoides, beneficiando grupos com um ciclo de vida curto e baixos valores c-p, especialmente bacteriófagos (ETTEMA; BONGERS, 1993; LENZ et al., 2000). Isso reflete a baixa estabilidade do ecossistema e é característico de comunidades em sistemas de sucessão de culturas (MANACHINI et al., 2009), o que explica a maior maturidade que encontramos nas áreas de rotação de culturas, uma vez que a diversificação das espécies de plantas aumenta a proporção de nematoides mais sensíveis a distúrbios, aumentando valores de MI (SANTIAGO et al., 2012).

Quando nematoides foram relacionados com as UMHs, os sistemas de culturas foram os que apresentaram maior impacto. Embora as UMHs sejam mais afetadas pelo sistema de preparo do solo (SILVA et al., 2014), os nematoides foram utilizados como variáveis de resposta em nossas análises e as UMHs (volume) como variáveis ambientais. As respostas dos nematoides foram, portanto, mais evidentes nas análises. Como insumos orgânicos têm efeitos mais importantes sobre a biota

do solo (CADISCH; GILLER, 1997), provavelmente fatores físicos são importantes para definir quais grupos ou espécies de nematoides se estabelecem em um determinado ambiente, mas uma vez estabelecidos, a disponibilidade de alimento torna-se o fator determinante para a distribuição destes grupos (YEATES, 1999). De acordo com Wardle et al. (2004), como as espécies de plantas diferirem quanto à quantidade e qualidade dos recursos, espécies individuais de plantas podem ter efeitos importantes sobre a biota do solo.

Os quatro grupos formados indicam que uma determinada estrutura sob a sucessão não contém os mesmos grupos de nematoides que uma estrutura rotação de culturas. Por conseguinte, apenas a estrutura livre (L) foi diferenciada das demais, independentemente do sistema de cultura utilizado. Isto acontece porque essa estrutura caracteriza-se por uma agregação muito diferente das outras (NEVES et al., 2003), que leva a uma comunidade de nematoides completamente diferente, dominada por grupos específicos, já que a agregação de partículas do solo afeta os nematoides, principalmente as comunidades dentro das estruturas (YEATES, 1999). Além disso, a estrutura L é mais abundante na superfície do que as outras, resultando em um ambiente diferente, com diferentes atributos, tais como teor de umidade, temperatura e resíduos vegetais (RALISCH et al., 2010; SILVA et al., 2014; TAVARES FILHO et al., 2014) e a distribuição da comunidade de nematoides é dependente de profundidade e do tamanho de agregados (QUÉNÉHERVÉ; CHOTTE, 1996; BRIAR et al., 2011; JIANG et al., 2013). Entre esses nematoides, BA1 são oportunistas de enriquecimento (BONGERS; FERRIS, 1999), estreitamente relacionadas com aumentos de matéria orgânica (SANTIAGO et al., 2012), sendo indicadores de distúrbios químicos no ambiente, o que denota uma perturbação química mais evidente na estrutura livre, neste estudo. Isto sugere que os recursos alimentares na estrutura livre tendem a ser degradados mais rapidamente pela microbiota do solo.

A não-resposta de guildas de nematoides mais sensíveis à perturbação ambiental reforça a hipótese de que os recursos alimentares disponíveis têm um impacto maior do que as mudanças físicas no ambiente, pois este grupo de nematoides correlaciona-se mais estreitamente com mudanças físicas no ambiente, uma vez que também são os mais suscetíveis a alterações e perturbação ambiental (BONGERS; FERRIS, 1999). Da mesma forma, nematoides bacteriófagos e fungívoros com valores c-p de 2-3 foram os mais afetados. Estes grupos estão

diretamente correlacionados com o processo de decomposição da matéria orgânica e a sua distribuição depende da disponibilidade dos recursos alimentares, especialmente a relação C/N, ou seja, estão relacionados com a qualidade da matéria orgânica e da produtividade ecossistêmica, sendo caracterizados como oportunistas gerais (cp 2) e são menos extremos do que os de cp 1 (YEATES; BONGERS, 1999).

Por outro lado, BA2 e FU2 correlacionam-se com a matéria orgânica mais estável que se decompõe mais lentamente. Estas guildas correlacionaram-se com os horizontes Bw e C, o que indica que a decomposição da matéria orgânica é mais lenta nessas estruturas. Bw são estruturas encontradas em profundidades maiores e não são alteradas pelo cultivo, resultando em decomposição mais lenta dos resíduos e matéria orgânica. A decomposição da matéria orgânica em estruturas contínuas (C) pode ocorrer de forma mais lenta como resultado de uma maior proteção contra efeitos externos, como a oxidação.

O favorecimento dessas guildas sob NT e NTC em sucessão pode ser atribuído ao fato de que nas áreas de rotação existem resíduos vegetais mais rico em nitrogênio, tais como os provenientes de nabo forrageiro e tremoço, o que está correlacionado com um aumento de BA1 e, uma vez que ocorre redução do revolvimento do solo, os resíduos não são quebrados, levando à decomposição mais lenta e à gradual liberação de nutrientes (ZOTARELLI et al., 2003 a,b). Outro ponto que reforça essa hipótese é que a porcentagem de carbono favoreceu FU2 e prejudicou BA2 e BA3, da mesma forma que a relação C/N beneficiou FU4 e prejudicou BA4. As bactérias tendem a dominar locais onde os recursos são assimilados mais rapidamente e são ricos em nitrogênio, enquanto que os fungos desempenham um papel mais importante na decomposição de resíduos mais ricos em carbono, com compostos como lignina e celulose (GOULART et al., 2009).

A correlação entre os nematoides fitoparasitas (PP2) e a estrutura  $\mu$ D pode ser devido ao fato de que esta estrutura é menos compactada, permitindo um melhor desenvolvimento radicular. Por outro lado, a correlação entre os nematoides fitoparasitas e Bw pode ocorrer uma vez que esta estrutura se encontra presente em profundidades maiores, onde os recursos alimentares são mais escassos, já que resíduos geralmente se acumulam em camadas superficiais do perfil do solo. Assim, estas correlações não necessariamente são devidas ao benefício obtido por nematoides fitoparasitas, mas podem se relacionar a efeitos

prejudiciais que outros grupos funcionais podem ter sofrido.

Embora os efeitos do sistema de culturas seja o mais evidente, ainda se observou um efeito indireto do método de preparo do solo. O volume das UMHs, um atributo mais relacionado com o preparo do solo, correlacionou-se com guildas mais sensíveis à perturbação ambiental (CA4, OM5 e OM4), indicando que o volume é importante para a manutenção de comunidades de nematoides mais maduras. Isto é ainda mais evidenciado pela correlação negativa entre o volume de UMHs e a guilda BA1, indicando que as estruturas menores são favoráveis à decomposição mais rápida dos resíduos. Estudos já mostraram que o preparo convencional do solo reduz os níveis de matéria orgânica (KASCHUK et al., 2010; BALOTA; AULER, 2011; SILVA et al., 2014), uma vez que os macroagregados são importantes para a proteção e conservação da matéria orgânica (DENEFF et al., 2007; MORRIS et al., 2010; LÓPEZ-GUARRIDO et al., 2012). Redução do revolvimento do solo promove condições para a formação de agregados, também relacionada com o maior acúmulo de carbono no solo (ZOTARELLI et al., 2005).

É importante ressaltar, ainda, que as comunidades de nematoides podem responder a alterações causadas pelo preparo do solo, mas outros fatores podem ser mais importantes, como flutuações sazonais dos nematoides e interações com outras práticas culturais (OKADA; HARADA, 2007). Nakamura et al. (1988) indicaram que, embora o sistema de preparo do solo interfira no ambiente para o desenvolvimento dos nematoides, causam menores efeitos diretos, em comparação a outros organismos da biota edáfica.

## **CONCLUSÕES**

O sistema de culturas (rotação ou sucessão) é o parâmetro que mais afeta a distribuição dos grupos funcionais de nematoides do solo;

A decomposição de matéria orgânica é basicamente bacteriana e ocorre de forma mais rápida nas UMHs de menor volume;

UMHs sob um dado sistema de culturas se diferenciam das mesmas estruturas sob outro sistema e a diferença mais marcante ocorre na estrutura L, não havendo diferenças entre as demais estruturas.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

As comunidades estudadas são dominadas por nematoides bacteriófagos e fitoparasitas em todos os experimentos avaliados.

A decomposição de matéria orgânica é, via de regra, bacteriana, havendo favorecimento das populações fúngicas com cultivo de trigo e preparo convencional do solo.

Os índices mensuradores de diversidade, de maturidade ecológica e condição de cadeia trófica nas comunidades permitem a diferenciação entre os sistemas, mas a sensibilidade de cada índice depende dos efeitos que se busca compreender, bem como das alterações causadas por manejos agrícolas estudadas.

Os efeitos da adoção de rotação de culturas se mantém mesmo após três anos de manejo das áreas com sucessão soja/trigo, levando a comunidades ecologicamente mais maduras e um ambiente com menor perturbação ambiental.

O sistema de manejo das culturas tem um efeito mais marcante sobre as comunidades de nematoides em relação ao sistema de preparo do solo ou atributos ambientais, como teores de carbono e nitrogênio, relação carbono:nitrogênio e volume das unidades morfológicamente homogêneas.

## REFERÊNCIAS

- ABAWI, G. S.; WIDMER, T. L. Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. **Applied Soil Ecology**, v. 15, p. 37–47, 2000.
- ADL, S. M.; COLEMAN, D. C.; READ, B. Slow recovery of soil biodiversity in sandy loam soils of Georgia after 25 years of no-tillage management. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 114, p. 323–334, 2006.
- ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C.; PASSOS, J. F. M. Avaliação de sistemas de preparo e calagem de um Latossolo Bruno Alumínico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 963-975, 2005.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V. Leguminosas e adubação mineral como fonte de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 24, p. 179-189, 2000.
- ANDERSON, R. R.; COLEMAN, D. C.; COLE, C. V.; ELLIOTT, E. T. Effect of the nematodes *Acroboloides lheritieri* on substrate utilization and nitrogen and phosphorus mineralization in soil. **Ecology**, v.62, p.549-555, 1981.
- ANDRADE, E. P. Uso da comunidade de nematóides como bioindicador de qualidade do solo em diferentes sistemas de pastagem e soja. **Dissertação de Mestrado em Fitopatologia** – Universidade de Brasília, Brasília, 2004. 75 p.
- ANDRADE, E. P.; HUANG, S. P.; MIRANDA, C. H. B. Comunidade de nematóides em oito sistemas de uso da terra em Mato Grosso do Sul. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29 (S), p. 186, 2004.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores Biológicos de Qualidade do Solo. **Bioscience Journal**, v. 23, p. 66-75, 2007.
- ARIEIRA, G. O. Diversidade de nematoides em sistemas de culturas e manejo do solo. **Dissertação de Mestrado em Agronomia** – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012. 98 p.

ARIEIRA, G. O.; SBRUSSI, C. A. G.; SANTIAGO, D. C.; PEÑUELA, J. E. B.; GUIMARÃES, M. F. Responses of free-living and plant-parasitic nematodes to sugarcane crop in two soils. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, p.570-575, 2013.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141.

BABUJIA, L. C.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BROOKES, P. C. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 2174–2181, 2010.

BALOTA, E. L.; AULER, P. A. M. Soil microbial biomass under different management and tillage systems of permanent intercropped cover species in an orange orchard. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1873–1883, 2011.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 22, p. 641-649, 1998.

BARDGETT, R. D.; CHAN, K. F. Experimental evidence that soil fauna enhance nutrient mineralization and plant nutrient uptake in montage grassland ecosystems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, p. 1007-1014, 1999.

BARKER, K. R.; KOENNING, S. R. Developing sustainable systems for nematode management. **Annual Review of Phytopathology**, v. 36, p. 165–205, 1998.

BAUDER, J. W.; RANDAL, G. W.; SWAN, J. B. Effect of four continuous tillage system on mechanical impedance of a clay loam soil. **Soil Science of Society of American Journal**, v. 45, p. 802-806, 1981.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Sistemas de manejo do solo e seus efeitos sobre o rendimento do milho. **Ciência Rural**, v. 28, p.23-28, 1998.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ERNANI, P. R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant Soil**, v, 238, p.133-140, 2002.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 155-163, 2004.

BLANCO, H. C.; BLANCO, F. M. G. Efeito do manejo do solo na emergência de plantas daninhas anuais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 26, p. 215-220, 1991.

BLAXTER, M. L. *Caenorhabditis elegans* is a nematode. **Science**, v. 282, p.2041-2046, 1998.

BLOEMERS, G. F.; HODDA, M.; LAMBSHEAD, P. J. D.; LAWTON, J. H.; WANLESS, F. R. The effects of forest disturbance on diversity of tropical soil nematodes. **Oecologia**, v. 111, p. 575-582, 1997

BONGERS, T. **De nematodden van Nederland**. Pirola Schoorl, Naturhist. Biblioth. KNW 46, 1987, 408 p.

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.; FERRIS, H. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 4, p. 224–228, 1999.

BRIAR, S. S.; FONTE, S. J.; PARK, I.; SIX, J.; SCOW, K.; FERRIS, H. The distribution of nematodes and soil microbial communities across soil aggregate fractions and farm management systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 43, p. 905-914, 2011.

CADISCH, G.; GILLER, K. E. **Driven by Nature - Plant Litter Quality and**

**Decomposition.** Wallingford: CAB Int. 1997, 409 p.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1399-1407, 2008.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRELLE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 121-126, 1995.

CARDOSO, M. O.; PEDROSA, E. M. R.; FERRIS, H.; ROLIM, M. M.; VICENTE, T. F. S.; DAVID, M. F. L. Comparing sugarcane fields and forest fragments: the effect of disturbance on soil physical properties and nematode assemblages. **Soil Use and Management**, v. 31, p. n/a-n/a, 2015.

CARDOSO, M. O.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; SILVA, E. F. F.; BARROS, P. A. Effects of soil mechanical resistance on nematode community structure under conventional sugarcane and remaining of Atlantic Forest. **Environment and Monitoring Assessment**, v. 184, p. 3529–3544, 2012.

CARDOSO, E. G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J. L.; TORRES, E.; SARAIVA O. F.; GUIMARÃES, M. F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 493 - 501, 2006.

CARES, J. E. Nematoides como indicadores ambientais de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 26. 2006, Campos dos Goytacazes. **Anais**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, p.14-16, 2006.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 99-105, 1990.

CASANOVA, F., PLA, L., DI RIENZO, J. A., DÍAZ, S. FDiversity: a software package for the integrated analysis of functional diversity. **Methods in Ecology and**

**Evolution** (online). 2010.

CASTRO, O. M.; PRADO, H.; SEVERO, A. C. R., CARDOSO, E. J. B. N. Avaliação da atividade de microorganismos do solo em diferentes sistemas de manejo de soja. **Scientia Agricola**, v. 50, p. 212-219, 1993.

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

CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, p. 263-266, 1985.

CENTURION, J. F.; DAMATTÊ, J. L. I. Sistemas de preparo de solos de Cerrado: efeitos nas propriedades físicas e na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, p. 315-324, 1992.

CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, p. 254-258, 2001.

CHEN, J.; FERRIS, H. Effects of nematode grazing on nitrogen mineralization during fungal decomposition of organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**. v.31, p.1265-1279, 1999.

CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 203-209, 2002a.

CORRÊA, V. R. Influência de fertilizantes nas comunidades de nematóides em Cerrado nativo *sensu stricto*. **Dissertação de Mestrado em Fitopatologia** – Universidade de Brasília, Brasília, 85 p. 2002b.

CORRECHEL, V.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Influência da posição relativa à linha de cultivo sobre a densidade do solo em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 1655-173, 1999.

CURRY, J. P. **Grassland invertebrates. Ecology, influence of soil fertility and effects on plants growth**. London: Chapman & Hall, 1994, 437p.

DA ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p.241-247, 1997.

DE LEY, P.; BLAXTER, M. Systematic position and phylogeny. In: LEE, D.L. **The Biology of nematodes**. Taylor & Francis, 2002, p. 1-30.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 703-709, 1999.

DENEF, K.; ZOTARELLI, L.; BODDEY, R. M.; SIX, J. Microaggregate-associated carbon as a diagnostic fraction for management-induced changes in soil organic carbon in two Oxisols. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, p. 1165-1172, 2007.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, p. 201-214, 2004.

DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. Soil health and sustainability. In: SPARKS, D.L. (Org.) **Advances in Agronomy**. San Diego: Academic Press, 1996, p. 1-54.

DREES, L. R. Micromorphological characteristics of longterm no-till and conventional tilled soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 508-517, 1994.

ETTEMA, C. H.; BONGERS, T. Characterization of nematode colonization and succession in disturbed soil using the Maturity Index. **Biology and Fertility Soils**, v. 16. p. 79-85, 1993.

ETTEMA, C. D., WARDLE, D. A. Spatial soil ecology. **Trends in Ecology and**

**Evolution**, v. 17, p. 177-183, 2002.

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

FERRIS, H.; LAU, S.; VENETTE, R. Population energetic of bacterial-feeding nematodes: respiration and metabolic rates based on carbon dioxide production. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, p. 319-330, 1995.

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**, v.18, p.13-29, 2001.

FERRIS, H.; VENETTE, R. C.; LAU, S. S. Dynamics of nematode communities in tomatoes grown in conventional and organic farming systems, and their impact on soil fertility. **Applied Soil Ecology**. vol. 3. p. 161-175, 1995.

FERRIS, H.; VENETTE, R. C.; VAN DER MEULEN, H. R.; LAU, S. S. Nitrogen mineralization by bacterial-feeding nematodes: verification and measurement. **Plant and Soil**, v. 203, p.159-171, 1998.

FORTUNER, R.; GERAERT, E.; LUC, M.; MAGGENTI, A. R.; RASKI, D. J. A reappraisal of Tylenchina (Nemata). **Extraction of Reevue of Nematologie**, 1988, 188 p.

FRANCHINI, J. C.; CRISPINO, C. C.; SOUZA, R. A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 92, p.18-29, 2007.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N.; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 137, p. 178–185, 2012.

FREITAS, V. M.; CARES, J. E.; ANDRADE, E. P.; HUANG, S. P. Influência de *Citrus* spp. sobre a comunidade de nematóides de solo nas estações seca e chuvosa no Distrito Federal, Brasil. **Nematologia Brasileira**, v. 32, p. 20-32, 2008.

FREITAS, V. M.; RAMOS, M. L. G.; CARES, J. E.; COSTA, A. S.; HUANG, S. P. Relationships between the community of soil nematodes and the microbial biomass in the root zone of citrus. **Nematologia Brasileira**, v. 33, p. 28-36, 2009.

FRECKMAN, D.W. Bacterivorous nematodes and organic-matter decomposition. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.24, p. 275-296, 1985.

FRECKMAN, D. W.; ETTEMA, C. H. Assessing nematode communities in agroecosystems of varying human intervention. **Agriculture, ecosystem and Environment**, v. 45, p.239-261, 1993.

FREGONEZI, G. A.; BROSSARD, M.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C. Modificações morfológicas e físicas de um latossolo argiloso sob pastagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 1017-1027, 2001.

FU, S.; FERRIS, H.; BROWN, D.; YEATES, G. W. Does the positive feedback effect of nematodes on the biomass and activity of their bacteria prey vary with nematodes species and population size? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, p. 167-178, 2005.

GEORGIEVA, S.; CHRISTENSENA, S.; PETERSEN, H.; GJELSTRUP, P.; THORUP-KRISTENSEN, K. Early decomposer assemblages of soil organisms in litterbags with vetch and rye roots. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, p. 1145–1155, 2005

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. On the visual evaluation of soil structure: the Brazilian experience in Oxisols under no tillage. **Soil Tillage Research**. v.127, p. 60–64, 2013.

GILBERT, B.; LECHOWICZ, M. J. Neutrality, niches, and dispersal in a temperate forest understory. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 101, p. 7651 – 7656, 2004.

GOSECO, C. G.; FERRIS, V. R.; FERRIS, J. M. Revision im Leptonchoidea (Nematoda: Dorylamida) *Leptonchus*, *Proleptonchus*, *Funaria* and *Meylis* n. gen. In: Leptonchidae, Leptonchinae. **Purdue Nematode Collection**, Department of Entomology, Indiana, 1974a, 32 p.

GOSECO, C. G.; FERRIS, V. R.; FERRIS, J. M. Revision im Leptonchoidea (Nematoda: Dorylamida) *Dorlaimoides* in Dorylaimoididae, Dorylaimodinae; *Calolaimus* and *Timmus* n. gen. **Purdue Nematode Collection**, Department of Entomology, Indiana, 1974b, 32 p..

GOMES, G. S.; HUANG, S. P.; CARES, J. E. Nematode Community, Trophic Structure and Population Fluctuation in Soybean Fields. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, p. 258-266, 2003.

GOULART, A. M. C. **Diversidade de nematoides em agroecossistemass e ecossistemas naturais**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007, 71p.

GOULART, A. M. C.; CARES, J. E.; FERRAZ, L. C. C. B. Ecologia e biodiversidade de nematoides: Parte I. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 17, p. 149 – 188, 2009.

GOULART, A. M. C.; FERRAZ, L. C. C. B. Comunidades de nematóides em Cerrado com vegetação original preservada ou substituída por culturas. 1. Diversidade trófica. **Nematologia Brasileira**, v. 27, p. 123-128, 2003

GOVAERTS, B.; FUENTES, M.; MEZZALAMA, M.; NICOL, J. M.; DECKERS, J.; ETCHEVERS, J. D.; FIGUEROA-SANDOVAL, B.; SAYRE, K. D. Infiltration, soil moisture, root rot and nematode populations after 12 years of different tillage, residue and crop rotation managements. **Soil and Tillage Research**, v. 94, p. 209-219, 2006.

GOVAERTS, B.; MEZZALAMA, M.; SAYRE, K. D.; CROSSA, J.; NICOL, J. M.; DECKERS, J. Long-term consequences of tillage, residue management, and crop rotation on maize/wheat root rot and nematode populations in subtropical highlands. **Applied Soil Ecology**, v. 35, p. 305-315, 2006.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo do solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 145-154, 1999.

HUANG, S. P.; ANDRADE, E. P.; MIRANDA, C. H. B. Influência de práticas de manejo agrícola na diversidade de nematóides e maturidade do solo em oito sistemas de uso da terra. **Fitopatologia Brasileira**, 29 (S): S190, 2004.

HUANG, S. P.; CARES, J. E. Community composition of plant-parasitic nematodes in native and cultivated Cerrados of Central Brazil. **Journal of Nematology**, v. 27, p. 237-243, 1995.

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

HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BRANDÃO-JUNIOR, O.; KASCHUK, G.; SOUZA, R. A., Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology**. v. 42, p. 288–296, 2009.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: Brazil, DEDIT/CDDI, 1992, 92 p.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, v.48, p.692, 1964.

JIANG, Y.; SUN, B.; JIN, C.; WANG, F. Soil aggregate stratification of nematodes and microbial communities affects the metabolic quotient in an acid soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 60, p. 1-9, 2013.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 42, p. 1–13, 2010.

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

KORENKO, V.; SCHMIDT, C. Effects of agricultural practices in the rice crop system on nematode communities in Uruguay. **Nematologia Mediterranea**, v. 34, p. 133-140, 2007.

LAAKSO, J.; SETALA, H. Population and ecosystem level effects of predation on microbial feeding nematodes. **Oecologia**, v.120, p.279-286, 1999.

LAL, R.; BRUCE, J.P. The potential do world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. **Environmental Science Pollution**, v. 2, p. 177-185, 1999.

LEBON, I.; SUAREZ, D. L.; SCHAAP, M. G. Soil pore size and geometry as a result of aggregate-size distribution and chemical composition. **Soil Science**, v. 167, p. 165 – 172, 2002.

LENZ, R.; EISENBEIS, G. Short-term effects of different tillage in a sustainable farming system on nematode community structure. **Biology and Fertility of Soils**, v. 31, p. 237–244, 2000.

LI, Y.; FENG, J.; CHEN, J.; WU, J. Original vegetation type affects soil nematode communities. **Applied Soil Ecology**, v. 35, p. 68-78, 2007.

LIMA, A. A.; LIMA, W. L.; BERBARA, R. L. L. Diversidade da mesofauna de solo em sistemas de produção agroecológica. In: I Congresso Brasileiro de Agroecologia, n. 1, 2006. **Revista Brasileira de Agroecologia**. 2006, p. 1199 – 1202.

LINDEN, D. R.; HENDRIX, P. F.; COLEMAN, D. C.; VAN VLIET, P. C. J. Faunal indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994, p.91-106.

LÓPEZ-GUARRIDO, R.; DEURER, M.; MADEJÓN, E.; MURILLO, J. M.; MORENO, F. Tillage influence on biophysical soil properties: the example of a long-term tillage

experiment under Mediterranean rainfed conditions in South Spain. **Soil and Tillage Research**, v. 118, p. 52–60, 2012.

MANACHINI, B.; CORSINI, A.; BOCCHI, S. Soil quality indicators as affected by a long term barley-maize and maize cropping systems. **Italian Journal of Agronomy**, v. 1, p. 15-22, 2000.

MANICHON, H.; GAUTRONNEAU, Y. **Guía metódica del perfil cultural** – Informe 54. La Paz: IBTA/ORSTOM, 1996. 29p.

MATOS, D. S. S.; PEDROSA, E. M. R.; GUIMARÃES, L. M. P.; RODRIGUES, C. V. M. A.; BARBOSA, N. M. R. Relações entre a nematofauna e atributos químicos de solo com vinhaça. **Nematropica**, v. 41, p. 23-38, 2011.

MATTOS, J. K. A. Caracterização das comunidades de nematóides em oito sistemas de uso da terra nos cerrados do Brasil Central. **Dissertação de Mestrado em Fitopatologia** - Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

MATTOS, J. K. A.; ANDRADE, E. P.; TEIXEIRA, M. A.; CASTRO, A. P. G.; HUANG, S. P. Gêneros-chaves de onze diferentes comunidades de nematóides do solo na região dos Cerrados do Brasil Central. **Nematologia Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 142-149, 2008.

MATTOS, J. K. A.; HUANG, S. P.; PIMENTEL, C. M. R. M. Grupos tróficos da comunidade de nematoides do solo em oito sistemas de uso da terra nos cerrados do Brasil central. **Nematologia Brasileira**, v. 30, p. 267-273, 2006.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.1-8.

MIKOLA, J. Effect of microbivore species composition and basal resource enrichment on trophic level biomasses in an experimental microbial based soil food web. **Oecologia**, v. 117, p. 396-403, 1998.

MIKOLA, J.; SETALA, H. No evidence of trophic cascades in an experimental microbial based soil food web. **Ecology**, v. 79, p. 153-164, 1998.

MIRANDA, T. L.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA, E. F. F.; ROLIM, M. M. Alterações físicas e biológicas em solo cultivado com cana-de-açúcar após colheita e aplicação de vinhaça. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, p.150-158, 2012.

MITCHELL, C. C.; WESTERMAN, R. L.; BROWN, J. R.; PECK, T. R. Overview of long-term agronomic research. **Agronomy Journal**, v. 83, p. 24-29, 1991.

MONDINO, E. A.; TAVARES, O. C. H.; EBELING, A. G.; FIGUEIRA, A. F.; QUINTERO, E. I.; BERBARA, R. L. L. Avaliação das comunidades de nematóides do solo em agroecossistemas orgânicos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 509-515, 2009.

MORRIS, N. L.; MILLER, P. C. H.; ORSON, J. H.; FROUD-WILLIAMS, R. J. The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment. **Soil and Tillage Research**. v. 108, p. 1–15, 2010.

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. F.; DESJARDINS, T.; MITJA, D. The relationship between pasture degradation and soil properties in the Brazilian Amazon: a case study. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 103, p. 279 - 288, 2004.

MUNKHOLM, L. J.; HECK, R. J.; DEEN, B. Long-term rotation and tillage effects on soil structure and crop yield. **Soil and Tillage Research**, v. 127, p. 85–91, 2013.

NAKAMURA, Y.; MORIYA, K.; IIZUMA, Y.; YAMAGUCHI, H. Comparisons between the enchytraeid worm populations in tilled and non tilled plots of upland rice. **Pedobiologia**, v. 31, p. 141–146, 1988.

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

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

NEKOLA, J. C.; WHITE, P. S. The distance decay of similarity in biogeography and ecology. **Journal of Biogeography**, v. 26, p. 867 – 878, 1999.

NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C.C.; TAVARES FILHO, J.; FORTIER, M. Soil bulk density and porosity of homogeneous morphological units identified by cropping profile method in clayey Oxisols in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 71, p. 109-119, 2003.

NEVES, D. I.; HUANG, S. P. Differential responses of nematode communities to soybean genotypes resistant and susceptible to *Heterodera glycines* race 3. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, p.21-25, 2005.

ODUM, E. P.; BARRET, G. W. **Fundamentos de Ecologia**. 5 ed. Cengage Learning, 2007, 612p.

OKADA, H.; HARADA, H. Effects of tillage and fertilizer on nematode communities in a Japanese soybean Field. **Applied Soil Ecology**, v. 35, p. 582–598, 2007.

OU, W.; LIANG, W. J.; JIANG, Y.; LI, Q.; WEN, D. Vertical distribution of soil nematodes under different land use types in an aquic brown soil. **Pedobiologia**, v. 49, p. 139–148, 2005.

OVERSTREET, L. F.; HOYT, G. D.; IMBRIANI, J. Comparing nematode and earthworm communities under combinations of conventional and conservation vegetable production practices. **Soil & Tillage Research**, v. 110, p. 42–50, 2010.

PALMEIRA, P. R. T.; PAULETTO, E. A.; TEIXEIRA, C. F. A.; GOMES, A. S.; SILVA, J. B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 189-195, 1999.

PEREIRA NETO, O. C.; GUIMARÃES, M. F.; RALISCH, R.; FONSECA, I. C. B. Análise do tempo de consolidação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 489-496, 2007.

PEREIRA NETO, O. C.; GUIMARÃES, M. F. Método para quantificar pequenas áreas (perfil do solo) utilizando SIG. **Revista Semina Agrárias**, v. 26, p. 495-500, 2005.

QUÉNÉHERVÉ, P.; CHOTE, J. L. Distribution of nematodes in vertisol aggregates pasture in Martinique. **Applied Soil Ecology**, v. 4, p. 193-200, 1996.

RALISCH, R.; ALMEIDA, E.; SILVA, A. P.; PEREIRA NETO, O. C.; GUIMARÃES, M. F. Morphostructural characterization of soil conventionally tilled with mechanized and animal traction with and without cover crop. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1795-1802, 2010.

RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; TAVARES FILHO, J.; DERSIGNY, C. G.; VISINTIN, L. M.B. O método do perfil cultural para auxiliar na avaliação dos efeitos do preparo sobre as estruturas do solo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 20, Londrina, 1991. **Anais**. Londrina, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1991. p.1374-1380.

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

RAMOS, Y. S.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; MIRANDA, T. L. Relações entre a nematofauna e atributos físico-químicos do solo em áreas degradadas por erosão laminar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, p.570-578, 2010.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1609-1623, 2007.

RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C.; SANTOS, E. J. S. Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 713-721, 1998.

ROBERTS, P. A. The future of nematology: integration of new and improved management strategies. **Journal of Nematology**, v. 25, p. 383-94, 1993.

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

RODRIGUES, C. V. M. A.; PEDROSA, E. M. R.; OLIVEIRA, A. K. S.; LEITÃO, D. A. H. S.; BARBOSA, N. M. R.; OLIVEIRA, N. J. V. Distribuição vertical da nematofauna

associada à cana-de-açúcar. **Nematropica**, v. 41, p. 5-11, 2011.

SAETRE, P.; BÅÅTH, E. Spatial variation and patterns of soil microbial community structure in a mixed spruce–birch stand. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, p. 909–917, 2000.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 11-21, 2008.

SANCHEZ-MORENO, S.; FERRIS, H. Suppressive service of the soil food web: effects of environmental management. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, v. 119, p. 75-87, 2007.

SANTIAGO, D. C.; ARIEIRA, G. O.; ALMEIDA, E.; GUIMARÃES, M. F. Responses of soil nematode communities to agroecological crop management systems. **Nematology**, v. 14, p. 209-221, 2012.

SECCO, D.; DA ROS, C.O.; SECCO, J.K.; FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 407-414, 2005.

SIERIEBRIENNIKOV, 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, A. P.; BABIJIA, L. C.; FRANCHINI, J. C.; RALISCH, R.; HUNGRIA, M.; GUIMARÃES, M. F. Soil structure and its influence on microbial biomass in different soil and crop management systems. **Soil and Tillage Research**, v. 142, p. 42-53, 2014.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 113-117, 1997.

SILVA, R. F.; BORGES, C. D.; GARIB, D. M.; MERCANTE, F. M. Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um Argissolo Vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 32, p. 2435-2441, 2008.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, v. 30, p. 795-801, 2000.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, v. 35, p. 544-552, 2005.

SILVEIRA, P. M.; DA SILVA, O. F.; STONE, L. F.; DA SILVA, J. G. Efeitos do preparo do solo, plantio direto e de rotações de culturas sobre o rendimento e a economicidade do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 257-263, 2001.

SOININEN, J.; MCDONALD, R.; HILLEBRAND, H. The distance decay of similarity in ecological communities. **Ecography**, v. 30, p. 3 - 12, 2007.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: Genesis, composition, reactions**. 2. Ed. New York, John Wiley & Sons, 1994, 496p.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 835-841, 2000.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo do solo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 395-401, 2001.

TAMIA, A.; MOREAU, R.; FORTIER, M.; YORO, G. Influence du travail du sol sur l'évolution physique d'un sol forestier ferrallitique après défrichement motorisé. **Étude et Gestion des Soils**, v. 6, p. 27-29, 1999.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 725-730, 2001.

TAVARES FILHO, J.; MELO, T. R.; MACHADO, W.; MACIEL, B. V. Structural changes and degradation of red latosols under different management systems for 20 years. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1293-1303, 2014.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Influence des pratiques culturales sur le comportement et les propriétés de sols du Paraná (Brésil). **Étude Gestion Sols**, v. 5, p. 61-71, 1998.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; BALBINO, L. C.; NEVES, C. S. V. J. Método do perfil cultural para avaliações do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 393-399, 1999.

TIHOHOD, D. **Nematologia agrícola aplicada**. Jaboticabal: Funep, 1993, 235 p.

TOMAZINI, M. D.; FERRAZ, L. C. C. B.; MONTEIRO, A. R. Abundância e diversidade de nematoides em áreas contíguas de vegetação natural e submetidas a diferentes tipos de uso agrícola. **Nematologia Brasileira**, v.32, p. 185-193, 2008a.

TOMAZINI, M. D.; FERRAZ, L. C. C. B.; MONTEIRO, A. R. Estrutura trófica e índices de maturidade de comunidades de nematoides em áreas contíguas de vegetação natural e submetidas a diferentes tipos de uso agrícola. **Nematologia Brasileira**, v.32, p. 220-230, 2008a.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 301-309, 1998.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 795-801, 2002.

TORRES, G. R. C., PEDROSA, E. M. R., MONTENEGRO, A. A. A., MICHEREFF, S. J., MOURA, R. M. Aspectos ecológicos de comunidade de nematóides associada a cultivo de *Cucumis melo* no Rio Grande do Norte. **Nematologia Brasileira**, v. 30, p. 1-9, 2006.

TROFYMOW, J. A.; MORLEY, C. R.; COLEMAN, D. C; ANDERSON, R. V. Mineralization of cellulose in the presence of chitin and assemblages of microflora and fauna in soil. **Oecologia**, v. 60, p. 103-110, 1983

TUOMISTO, H., RUOKOLAINEN, K., YLI-HALL, M. Dispersal, environment, and floristic variation of western Amazonian forests. **Science**, v. 299, p. 241- 244, 2003.

VALOCKÁ, B.; SABOVÁ, M.; RENCO, M. Soil and plant nematode communities of types of ecosystems. **Helminthologia**, v. 38, p. 105-109, 2001.

WARDLE, D. A., BARDGETT, R. D., KLIRONOMOS, J.N., SETALA, H., VAN DER PUTTEN, H. H., WALL, D. H. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. **Science**, v. 304, p. 1629-1633 2004.

WARDLE, D. A.; YEATES, G. W. The dual importance and predation as regulatory forces in terrestrial ecosystems: evidence from decomposer food-webs. **Oecologia**, v. 93, p. 303-306, 1993.

WASILEWSKA, L. The effect of age of meadows on succession and diversity in soil nematode communities. **Pedobiologia**. v. 38, p. 1-11, 1994.

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

WHITFORD, W. G.; FRECKMAN, D. W.; SANTOS, P. F.; ELKINS, N. Z.; PARKER, L. W. The role of nematodes in decomposition in desert ecosystems. In: FRECKMAN, D. W. (Ed.) **Nematodes in soil ecosystems**. Austin: University of Texas Press, 1982, p. 98-116.

WYSS, U. Feeding Behaviour of plant-parasitic nematodes. In: LEE, D. L. (Ed) **The Biology of nematodes**. Taylor & Francis, 2002, p.233-259.

YEATES, G.W.; BOAG, B. Female size shows similar trends in all clades of the phylum Nematoda. **Nematology**, v. 8, p. 111-127, 2006.

YEATES, G. W.; BONGERS, T.; DE GOEDE, R. G. M.; FRECKMAN, D. W.; GEORGIEVA, S. S. Feeding habits in nematodes families – an outline for soil ecologists. **Journal of Nematology**, v.25, p.315-331, 1993.

YEATES, G. W.; BONGERS, T. Nematode diversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.74, p. 113-135, 1999.

YEATES, G. W. Effects of plants on nematode community structure. **Annual Review of Phytopathology**, v. 37, p. 127–49, 1999.

YEATES, G. W. Feeding in free-living nematodes: a functional approach. In: PERRY, R. N.; Wright, D. J (Ed.) **The physiology and biochemistry of free living and plant-parasitic nematodes**. Wallingford: CABI, 1998, p. 245-2269.

YEATES, G. W.; FERRIS, H.; MOENS, T.; VAN DER PUTTEN, W. H. The role of nematodes in ecosystems. In: WILSON, M. J.; KAKOULI-DUARTE, T. (Eds). **Nematodes as environmental indicators**. Wallingford: CABI, 2009, p. 1-44.

YEATES, G. W.; KING, K. L. Soil nematodes as indicators of the effect of management on grasslands in the New England Tablelands (NSW): comparison of native and improved grasslands. **Pedobiologia**, v. 41, p. 526-536, 1997.

ZINN, Y. L.; LAL, R. RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil Tillage Research**, v. 84, p. 28-40, 2005.

ZOTARELLI, L.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; TORRES, E.; SANTOS, H. P.; PAUSTIAN, K.; BODDEY, R. M.; SIX, J. Soil Structure and Organic Matter in Oxisols: I. Effect of tillage on aggregate size distribution and aggregate associated C and N. **European Journal of Soil Science**, 2003.

ZOTARELLI, L.; BLAUWET, K.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; SIX, J. Soil Structure and Organic Matter in Oxisols: II. Effect of tillage on inter- and intra aggregate C and N fractions. **European Journal of Soil Science**, 2003

ZOTARELLI, L.; ALVES, B. J. R. ; URQUIAGA, S. ; TORRES, E.; SANTOS, H.P. ;

PAUSTIAN, K. ; BODDEY, R. M. ; Six, J. Impact of tillage and crop rotation on aggregate-associated carbon in two oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, p. 482-491, 2005.