UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

SÍLVIA RODRIGUES DE PAIVA

O efeito da remoção da palha de cana-de-açúcar na população de nematoides do solo e raiz em duas situações edafoclimáticas distintas

Piracicaba 2016

SÍLVIA RODRIGUES DE PAIVA

O efeito da remoção da palha de cana-de-açúcar na população de nematoides do solo e raiz em duas situações edafoclimáticas distintas

Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestra em Ciências

Área de Concentração: Biologia na Agricultura e Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Carlos Clemente Cerri

Piracicaba

2016

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Paiva, Sílvia Rodrigues de

O efeito da remoção da palha de cana-de-açúcar na população de nematoides do solo e raiz em duas situações edafoclimáticas distintas / Sílvia Rodrigues de Paiva; orientador Carlos Clemente Cerri. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.

54 p.: il.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Biologia na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Biocombustíveis 2. Biologia do solo 3. Etanol 4. Fauna edáfica 5. Galha 6. Matéria orgânica do solo 7. Meloidogynose 8. Solo arenoso I. Título

CDU 633.61 (631.572 + 631.467)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Gilberto e Amorita, aos meus irmãos Giovani, Nathália e Márcio, e ao meu amor Guilherme.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e proteção;

À Universidade de São Paulo e ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura pela infraestrutura e apoio institucional oferecido para a conclusão deste trabalho;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão de bolsa;

Ao Professor Carlos Clemente Cerri pela orientação, dedicação, carinho e exemplo de pesquisador;

Ao Professor Mário Massayuki Inomoto que me acolheu e me ensinou a nematologia, pela paciência e pelo exemplo de pesquisador;

Aos Professores Brigitte Josefine Feigl e Carlos Eduardo Pelegrino Cerri pela colaboração neste trabalho, conselhos e exemplos de pesquisadores;

Ao Laboratório de Biogeoquímica Ambiental, pelo suporte nas coletas a campo e também pela amizade dos funcionários: Ralf, Zezinho, Margato, Dagmar, Sandra e Lílian;

Aos funcionários e estagiários da Empresa Delta CO2 pelo apoio nas coletas a campo;

Aos meus colegas e amigos do laboratório de Biogeoquímica Ambiental, Ana Luiza, Maria Regina, Izaias, Paul Lineker, Gustavo, Arthur, Letícia, Marcos, Henrique, Lucas, Naissa, Tati, Caio, André Mazeto, Bruna, obrigada pelas conversas, ajuda, gargalhadas, almoços no Rucas, frutagurt e por sempre me ouvirem sobre os nematoides;

À Maristela pela amizade, ajuda e companheirismo desde o início;

À Laisa pela amizade, e grande importância neste trabalho seja em forma de ajuda e/ou apoio nos momentos difíceis;

Ao Maurício pela amizade e que não mediu forças pra me ajudar, muito obrigada pela contribuição valiosa na dissertação;

Ao André Franco pelas contribuições neste trabalho;

Ao Laboratório de Nematologia da ESALQ pelo suporte durante toda pesquisa, por terem me acolhido, pelos cafés, conversas e risadas. Ao Sr. Joaquim pela parceria nas coletas de solo e amizade. À Sônia pela paciência, amizade e grande ensinamento sobre taxonomia, imprescindível ao meu trabalho. À Luciane pela amizade, por todos os conselhos, contribuições e pela confecção da estatística.

A todos do Laboratório, Amanda, Bia, Pedro, Ruan, Paula, Laize, Fabrício, Vítor, em especial à Thainá e à Mariana pela amizade e grande ajuda no laboratório;

A toda minha família, meu pai Gilberto e minha mãe Amorita, pelos cuidados, amor, incentivo e por ensinarem tudo o que sei. Aos meus irmãos Giovani, Nathália e Márcio pelo carinho, amor e incentivo, e ao meu tio Plínio pelo carinho de sempre. Aos meus cunhados, João Marcos, Léia e Bia, e aos meus sobrinhos João Pedro, Fellipe, Murilo e João Marcos, pela alegria de tê-los;

À minha avó Maria e meu avô José Januário (in memoriam) por sempre me incentivarem, pelo amor e exemplo;

A todos os meus tios, aos meus padrinhos e madrinhas;

À minha prima Alexandra pelo incentivo e amizade, e a todos os meus primos que amo muito;

Ao Guilherme, companheiro de todos os momentos, agradeço o carinho, amor e paciência, e a toda sua família que é minha também, obrigada João Bosco e Maria Elizabet.

Aos meus amigos lara Maria, Juliano, Roberta, Guilherme, Eliete, Robson, Herbert, João André, Ana Francisca, e em especial ao José Marcos, Carina e Ingrid pelo grande incentivo, obrigada a todos pela companhia, amizade e alegrias;

A todos vocês meu muito obrigado!

RESUMO

PAIVA, S. R. de. O efeito da remoção da palha de cana-de-açúcar na população de nematoides do solo e raiz em duas situações edafoclimáticas distintas. 2016. 54 p. Dissertação (Mestrado) — Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

Os nematoides causadores de doenças em cana-de-açúcar ocasionam graves Os gêneros mais agressivos são problemas no rendimento desta cultura. Meloidogyne e Pratylenchus que formam galhas e necroses nas raízes. respectivamente. A retirada da palha de cana-de-açúcar do campo para produção de etanol de segunda geração pode resultar em mudancas no comportamento das comunidades de nematoides. Assim o obietivo deste trabalho foi quantificar a abundância de nematoides em diferentes quantidades de palha presentes na superfície do solo. O experimento foi conduzido em Capivari - SP na unidade Bom Retiro (BR) e em Valparaíso - SP na unidade Univalem (UV). O tipo de solo de cada área experimental era, respectivamente, Latossolo Vermelho distrófico típico (textura média na camada superficial) e Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (textura arenosa na camada superficial). O delineamento foi o de blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições, compostos por quantidades de palha em Mg ha⁻¹ de massa de matéria seca, sendo em BR (0; 4,2; 8,7; 15,1; 18,9; 23,3), e em UV (0; 3,9; 10,2: 12,5: 16,4: 13,2). As amostragens de solo e raiz coletadas na profundidade de 0-20 cm na linha e entrelinha da cultura foram realizadas em BR em maio e em UV em junho, ambas em 2015. Pratvlenchus zeae teve major dominância nas áreas. seguido de nematoides de vida livre, e Helicotylenchus sp. e Meloidogyne javanica apenas foi observada na área de solo arenoso e em médias densidades. O manejo de remoção da palha de cana-de-açúcar não promoveu mudanças significativas nas abundâncias das comunidades contidas no solo, tanto de textura média quanto arenosa. Por outro lado, houve interferência das quantidades de palha na infecção pelos nematoides nas raízes, no solo de textura média 4,2 Mg ha⁻¹ de palha diminuiu a comunidade de nematoides e no solo de textura arenosa a maior comunidade de nematoides foi em 13,2 Mg ha-1 de palha. Todavia, múltiplos fatores podem ter afetado esses resultados, não apenas o manejo de remoção da palha. São necessários mais estudos em longo prazo para se afirmar o real efeito da retirada de palha do campo.

Palavras-chave: Nematoides. Cana-de-açúcar. Palha. Nematoides de vida livre.

ABSTRACT

PAIVA, S. R. de. Effect of sugarcane straw removal on nematodes population in soil and roots under two different edaphoclimatic situations. 2016. 54 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

The nematodes that cause diseases in sugarcane represent serious yield problems. The most aggressive genera are Meloidogyne and Pratylenchus that form gall and necrosis in the roots, respectively. Sugarcane straw removal from the field for second generation ethanol production may change the behavior of nematode communities. Thus the objective of this study was to quantify nematode abundance in different quantities of sugarcane straw left on soil surface. The experiment was conducted in Capivari - SP at Bom Retiro (BR) mill and Valparaíso - SP at Univalem (UV) mill. The soil type of each experimental area was, respectively, Oxisol (medium texture in the surface layer) and Alfisol (sandy texture in the surface layer). The experimental design was a randomized block with six treatments and four replicates, composed of quantities of straw in Mg ha⁻¹ of dry matter mass, where in BR (0; 4,2; 8,7; 15,1; 18,9; 23,3), and in UV (0; 3,9; 10,2; 12,5; 16,4; 13,2). Soil and root samples were collected at 0-20 cm depths in the row and inter-row position of the sugarcane crop in BR in May and UV in June, both in 2015. *Pratylenchus zeae* had greater dominance in both evaluated areas, followed by free-living nematodes, and Helicotylenchus sp., Meloidogyne javanica was only observed in the sandy soil area and in medium densities. Due to the high densities it would be necessary to control nematodes in the areas. In terms of communities abundance in the soil there was no difference in relation to the treatments in the two areas. However, there was interference of the straw in the nematodes infection in the roots, and this result cannot be inferred by the straw deposition. Additional long-term studies are needed to understanding the effect of straw removal from the field on nematode community.

Keywords: Nematodes. Sugar cane. Straw. Free-living nematodes.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 A cultura da cana-de-açúcar e o manejo dos restos culturais	15
2.2 Nematoides na cultura da cana-de-açúcar	17
3.1 Locais de estudo	21
3.2 Instalações dos ensaios	22
3.3 Delineamento experimental e tratamentos	24
3.4 Amostragem e análises	26
3.4.1 Coletas das amostras	26
3.4.2 Processamento das amostras: extração/ fixação dos nematoides	27
3.4.3 Contagem e identificação dos nematoides	28
3.5 Cálculos realizados e Análises de dados	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Comunidades de nematoides em área de solo textura média	30
4.1.1 Nematoides encontrados nas raízes da cana-de-açúcar em solo textu	
4.2 Comunidades de nematoides em área de solo textura arenosa	38
4.2.1 Nematoides encontrados nas raízes da cana-de-açúcar em solo arenosa	
4.3 Comparações entre a comunidade de nematoide das áreas estudadas	45
5 CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas do agronegócio brasileiro e o país vem se destacando mundialmente pela expressiva produção de açúcar e etanol. No primeiro levantamento da safra 2016/17 se prevê um aumento da produção brasileira em relação à safra anterior de 3,8 %, aproximadamente 691 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. A área cultivada foi de cerca de 9 milhões hectares, que quando comparada com a safra 2015/16, apresenta um acréscimo de quase 5%. A produção de açúcar deverá atingir 37,5 milhões de toneladas, 12% superior à safra 2015/16, já a produção de etanol deve se manter acima de 30 bilhões de litros (CONAB, 2016).

O Brasil apresenta uma grande frota de automóveis movidos por combustível renovável, tais como o etanol de cana-de-açúcar, que se apresenta mais sustentável do que os combustíveis fósseis, podendo mitigar as emissões de gases de efeito estufa. Recentemente houve inserções de algumas políticas públicas no setor, como o aumento da quantidade de etanol anidro na gasolina C, que passou de 25% para 27%, aumentando ainda mais a demanda desse produto. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética a produção de etanol deveria chegar a 61 bilhões de litros até 2021 para atender a demanda nacional e outros sete bilhões de litros destinados à exportação (EPE, 2012).

Para suprir essa necessidade de etanol a solução seria o aumento da produtividade da cultura, e/ou a expansão da área de cultivo e até mesmo a produção de etanol celulósico a partir de restos da cultura, como por exemplo, a palha (SANTOS et al., 2012). Dentre essas três opções, a produção de etanol celulósico é seria a mais promissora, uma vez que já há um grande interesse por parte da indústria e diversas pesquisas em andamento com amplas possibilidades de aumento de mercado.

Assim, diante deste cenário de alta produção e demanda, a palha que permanece no solo após a colheita tem um grande potencial energético, e nova maneira de tratar este assunto deve ser considerada. Para viabilizar a produção sustentável de etanol celulósico é necessário conhecer a quantidade ideal de palha a ser removida e, consequentemente, a ser mantida no campo por ocasião da colheita da cana-de-açúcar. Todavia, tal informação é hoje inexistente. Há especulações sobre a porcentagem de palha a ser retirada do campo para outros

usos, porém não há pesquisas científicas baseadas em medições de campo, que sejam bases para o dimensionamento de uma planta industrial para a produção de etanol celulósico.

Contudo, sabe-se que essa prática de remoção da palha do campo representa uma alteração para o ecossistema que poderia alterar a dinâmica populacional de pragas e nematoides (DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2013). Os nematoides são os mais numerosos animais invertebrados aquáticos que vivem no solo ou nas plantas. Esses organismos apresentam corpo alongado e cilíndrico, em sua maioria pequenos e que conseguem se nutrir de diversas fontes de alimentos (CARES; HUANG, 2010). Uma dessas fontes são as plantas, os nematoides fitoparasitas podem se alimentar de todas as partes das plantas (LORDELLO, 1981).

Na cultura da cana-de-açúcar os nematoides parasitam as raízes, de onde extraem nutrientes para o seu crescimento e desenvolvimento. Dentre as inúmeras espécies de potenciais parasitas da cultura, três espécies são as mais importantes economicamente, *Meloidogyne javanica, Meloidogyne incognita e Pratylenchus zeae* (DINARDO-MIRANDA; GIL; MENEGATTI, 2003). Quando a infestação da área é alta e a variedade de cana-de açúcar suscetível ao ataque de uma ou mais espécies de nematoides, pode haver redução da produtividade de até 50% (DINARDO-MIRANDA, 2005).

Uma série de substâncias orgânicas é liberada durante o processo de decomposição de resíduos vegetais quando deixados sobre o solo, podendo beneficiar a multiplicação de microrganismos como os fungos predadores de nematoides. Sabe-se que diversos materiais orgânicos adicionados ao solo podem liberar, durante a decomposição, ácidos graxos voláteis diminuindo a população de nematoides (LORDELLO, 1981). Contudo a retirada da palha do campo ainda é um tema a ser estudado e que pode estar ligado aos fatores que regem o ciclo biológico dos nematoides.

A hipótese testada nesse estudo foi que a remoção de palha de cana-deaçúcar proporciona um aumento na abundância da comunidade de nematoides do solo e raiz. Desta forma, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da remoção da palha de cana-de-açúcar na população de nematoides do solo e raiz em duas situações edafoclimáticas distintas. E também identificar quais os gêneros e espécies predominantes nas áreas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar e o manejo dos restos culturais

A origem da cana-de-açúcar se deu provavelmente na Ásia e na Índia Ocidental (PARANHOS, 1987), sua classificação original como *Saccharum officinarum* L. se deu por Linnaeus em 1753 que estabeleceu o gênero *Saccharum* L. para a cana-de-açúcar. As plantas utilizadas atualmente provêm de cruzamentos entre *Saccharum officinarum*, conhecida como a cana nobre, e *Saccharum spontaneum*, e também características de *S. robustum*, *S. sinense*, *S. barberi*. Gêneros de gramíneas, tais como *Miscanthus*, *Narenga* e *Erianthus* também têm suas características presentes nesse complexo híbrido (MOORE; PATERSON; TEW, 2014).

Pertencente à família Poaceae, da classe das Monocotiledôneas, a cana-deaçúcar é uma gramínea semi perene, perfilhando durante seu desenvolvimento chegando a um colmo principal maior que os demais que posteriormente se iguala devido ao sombreamento na linha da cultura (CASTRO; FERREIRA; YAMADA, 1987).

A cana-de-açúcar é cultivada em muitos países tropicais e subtropicais tendo importante papel na economia dos mesmos (MOORE; PATERSON; TEW, 2014), podendo ser plantada desde latitudes de 35°N a 30°S (CASTRO; FERREIRA; YAMADA, 1987; PARANHOS, 1987).

Sua propagação se dá assexuadamente por meio das gemas contidas no caule da planta, o colmo, que é cortado em pedaços contendo aproximadamente três gemas. Essa estrutura propagativa é conhecida como rebolo ou tolete utilizado no plantio da cana-de-açúcar (MOORE; PATERSON; TEW, 2014).

As condições ambientais exercem influência em todo o ciclo de desenvolvimento da cultura. Na fase vegetativa a planta necessita de condições ótimas de temperatura e umidade, e posteriormente para que haja um acúmulo maior de sacarose, a planta deve passar por um período de estresse para induzir o repouso vegetativo (PARANHOS, 1987).

A cana-de-açúcar além de fonte de alimento de alto padrão energético é também uma importante matéria-prima para a produção de bioenergia (MOORE; PATERSON; TEW, 2014). A qualidade e seu rendimento econômico estão

intimamente ligados à quantidade de sacarose acumulada pela cultura, que através do processo industrial será direcionada à obtenção de açúcar e/ou etanol, e ainda cogeração de energia através do bagaço e palhiço (TOPPA, 2010).

O Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar do mundo, a previsão para a safra 2016/17 é de 690,98 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, e a produtividade estimada é de 76 Mg ha⁻¹. A produção de açúcar deverá atingir na próxima safra 37,5 milhões de toneladas e a produção de etanol deve se manter acima de 30 bilhões de litros. Dentre os principais estados produtores do Centro-Sul do Brasil estão Goiás, Minas Gerais, Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, e São Paulo, que é o responsável por mais de 50% da produção de cana-de-açúcar brasileira (CONAB, 2016).

O mercado internacional de açúcar brasileiro atualmente tem apresentado altas na venda desta commodity devido à baixa na produção de açúcar pelos outros países produtores que passam por problemas climáticos. Há uma estimativa por parte do setor que haverá uma queda global na produção de açúcar de cana da ordem de 7 milhões de toneladas resultante desses problemas (CONAB, 2016).

Diante da preocupação com a queima de combustíveis fósseis e a emissão de gases do efeito estufa que causam o aquecimento global, o uso do etanol é uma alternativa em substituição a esses combustíveis, se tornando o mais importante biocombustível do mundo. O Brasil, através da cana-de-açúcar, e os Estados Unidos, tendo como base o milho, são responsáveis pela produção de 87% do etanol do mundo (BOTHA; MOORE, 2014). O etanol e a bioeletricidade, oriundos da cana-de-açúcar, correspondem a 16% da matriz energética do País, representando a segunda maior fonte de energia renovável brasileira depois das hidroelétricas (UNICA, 2016).

O bagaço oriundo da extração do caldo da cana-de-açúcar e as folhas e pontas dos colmos deixados no campo após a colheita (palhada) apresentam grande potencial de biomassa lignocelulósica usados na produção de etanol de segunda geração (BOTHA; MOORE, 2014). Estima-se que em áreas com bom desenvolvimento a quantidade de resíduos culturais alcance de 10-30 Mg ha⁻¹ deixadas sobre o solo a cada ano (FRANCO et al., 2012).

Assim devido à alta demanda de etanol deve se aproveitar integralmente o potencial de toda a biomassa de cana, levando em conta a palha como fator significativo de aumento na produção do etanol de segunda geração.

Nos próximos anos, estando em vigor máximo a lei que proíbe a queima da cana-deaçúcar para fins de colheita em todo Brasil, mais resíduos serão gerados e estarão disponíveis nas lavouras (GÓMEZ, 2010).

A palha que permanece no campo após a colheita exerce funções fundamentais dentro do processo de produção da cana-de-açúcar. Além de impedir a emergência de plantas daninhas, atua como condicionador da qualidade do solo mantendo a umidade e a matéria orgânica do solo que culminam na produtividade agrícola (CERRI et al., 2011). Entretanto, ainda desconhece-se, a proporção da palha que pode ser removida para a indústria e a proporção que deve ser mantida no campo para promover a qualidade do solo e sua relação com a produtividade da cultura. A retirada da palha do campo pode ainda afetar a população de nematoides do solo que são potenciais patógenos causadores de perdas na cana-de-açúcar.

2.2 Nematoides na cultura da cana-de-açúcar

Os nematoides. pertencentes ao Filo Nematoda são organismos microscópicos medindo em sua maioria 0,2 mm a 1 mm, estão inseridos na microfauna do solo, podendo também ser maiores, até 4mm (LORDELLO, 1981; SWIFT et al., 1979). Devido seu corpo filiforme, o nome nematoide é derivado do grego que significa verme em forma de fio. São considerados metazoários e compõem um dos grupos mais abundantes e diversos de invertebrados do solo, sendo que cerca de 150 g de solo pode conter até 3000 nematoides, e dentre eles várias espécies distribuídos em diferentes níveis tróficos (BONGERS; BONGERS, 1998). Os nematoides têm hábitos alimentares diversos, sendo divididos em cinco grupos tróficos principais: fitoparasitas, bacteriófagos, fungívoros, predadores ou carnívoros e os onívoros (FRECKMAN; CASWELL, 1985).

São animais aquáticos podendo sobreviver em qualquer ambiente que haja umidade, no solo se localizam em pequenos filmes de água. Todavia os nematoides têm desenvolvido adaptação conseguindo sobreviver em estado vegetativo em ambientes secos, e posteriormente havendo as condições ideais retorna à atividade normal se alimentando e reproduzindo (FERRAZ; BROWN, 2016).

Os nematoides que se alimentam das plantas pertencem ao grupo trófico dos fitoparasitas e são distribuídos segundo Yeates (1993) em: parasitas sedentários, por exemplo, o gênero *Meloidogyne*, endoparasitas migratórios como o

Pratylenchus, semi-endoparasitas da família Hoplolaimidae, ectoparasitas como Criconematidae e Trichodoridae, nematoides que se alimentam de células e raízes finas superficiais exemplo de Tylenchidae e os que se alimentam de algas e musgos como os *Tylenchus*, *Laimaphelenchus* e Anguinidae.

A ação dos nematoides ao parasitarem as raízes podem se manifestar de três formas. A primeira é através dos ferimentos causados pelo movimento de determinados nematoides ao se locomoverem nos tecidos da planta. Outra ação seria a absorção dos carboidratos da planta pelo nematoide para a sua nutrição, conhecida como ação espoliadora. E por último e mais agressiva às plantas se origina das substâncias excretadas pela glândula esofagiana dos nematoides que modificam a conformação das células dos tecidos vegetais resultando em necrose do tecido, hipertrofia e multiplicação excessiva de células. A ocorrência desses sintomas irá depender de qual gênero do nematoide está parasitando a planta, podendo uma planta apresentar todos os sintomas simultaneamente (LORDELLO, 1981).

Os sintomas observados na cana-de-açúcar decorrente do ataque de fitonematoides podem ser confundidos com outros sintomas tais como, aqueles provenientes de deficiência nutricional. Estes sintomas se manifestam na parte aérea da planta e raízes, na parte aérea há um crescimento heterogêneo, amarelecimento e reboleiras de plantas menores e cloróticas no campo. A raiz apresenta o sintoma em relação ao nematoide que está atacando a planta, por exemplo, *Meloydogine* ocasiona a formação de galhas com intumescimento das extremidades; *Pratylenchus* causa necrose do córtex e abertura da epiderme, e para *Helicotylenchus* observa-se desenvolvimento lento de raízes (TOKESHI, 2005).

A cana-de-açúcar é uma cultura constantemente atacada por nematoides de diversos gêneros, e as doenças causadas podem resultar em perdas econômicas da ordem de 20 a 40% dependendo da variedade utilizada (DINARDO-MIRANDA, 2006). Dentre os fitonematoides mais importantes para a cultura estão os gêneros *Meloidogyne* Göeldi, representados pelas espécies *M. incognita* (Kofoid & White) Chitwood e *M. javanica* (Treub) Chitwood e o endoparasito migrador *Pratylenchus zeae* Graham, devido à severidade dos danos causados à cultura e a presença em praticamente todas as áreas de plantio de cana-de-açúcar (CADET; SPAUL, 2005). No geral são encontrados frequentemente em solos com cana-de-açúcar os seguintes nematoides fitoparasitas: *Tylenchorhynchus* sp., *Criconema* sp.,

Trichodorus spp., Xiphinema sp., Ditylenchus sp., Xiphidorus sp., Dolichodorus minor, Aphelenchus sp., Aphelencoides sp., Helicotylenchus sp. (TOKESHI, 2005).

Um dos principais fatores agravantes para isso é a monocultura, que favorece o aumento populacional dos fitonematoides polífagos existentes no solo (YEATES, 1991). Neste sentido, Cardoso et al. (2015) relataram que práticas de manejo do solo com cana-de-açúcar em cultivo convencional, como o preparo excessivo e tráfego de maquinários, podem alterar as propriedades do solo, a porosidade e a densidade por exemplo, e resultar em aumento da abundância dos nematoides fitoparasitas. Todavia ao se estudar a comunidade de nematoides em campos orgânicos, com práticas mais sustentáveis, rotação de culturas entre outras, percebeu-se que gêneros importantes de fitonematoides mesmo nestas condições têm capacidade de manter suas populações suficientemente a ponto de causar danos significativos nas culturas (CHEN et al., 2012). Em estudos realizados em casa de vegetação foram testados diferentes densidades de solo observando que quando a densidade foi maior houve redução na multiplicação de *M. incognita*, isso pode estar ligado ao menor espaço nos poros e a baixa de oxigênio (SOUSA et al., 2014).

Em solos com alta infestação de nematoides específicos àquela cultura, o replantio da mesma iria resultar em perda econômica, assim são recomendadas rotações de culturas, métodos de controle químico ou a utilização de variedades resistentes (YEATES; BONGERS, 1999).

Com base no exposto, análises nematológicas com finalidade de conhecer a população de nematoides de uma determinada área é uma importante ferramenta para tomadas de decisões. Através dela, medidas de controle podem ser executadas ou também fornecerem informações de possíveis perturbações no solo sendo que os nematoides são potenciais indicadores biológicos do solo (CARES; HUANG, 2010). A identificação de nematoides requer treinamento e conhecimento intensivo, sendo satisfatórias informações em nível de gênero ou grupo trófico (BERNARD, 1992).

A palha juntamente com os ponteiros e pedaços de colmos da cultura de cana-de-açúcar deixados sobre o solo após a colheita da cana crua, sofre o processo de decomposição se transformando em parte (aproximadamente 1/3) em matéria orgânica do solo. A adição dessas substâncias ao solo favorece a multiplicação imediata de diversos microrganismos pertencentes à microfauna e

microflora do solo que irão competir pelo alimento ofertado. Assim bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários e nematoides são atraídos pelo alimento disponível para o solo rizosférico. Ao se nutrirem, esses organismos liberam no solo nutrientes que não lhe foram necessários, esses são prontamente disponibilizados para absorção das raízes. Assim os nematoides têm papel importante para a ciclagem de nutrientes, liberando N, P e S para as plantas através da digestão dos materiais orgânicos (BRADY; WEIL, 2013). Além desse benefício às plantas oriundos principalmente da atividade dos nematoides de vida livre no aporte de resíduos da cultura sobre o solo, a decomposição dos mesmos libera substâncias nematicidas suprimindo a população dos nematoides.

Na Austrália, estudos em canaviais, onde os resíduos de colheita permaneceram no campo, indicaram que há supressão na população de nematoides fitoparasitas da cultura, e atribuiu-se que as raízes próximas aos resíduos eram mais saudáveis do que as encontradas mais abaixo dos resíduos que demostraram maiores injúrias pelos nematoides (STIRLING et al., 2011).

O aporte de matéria orgânica no solo proporciona condições ótimas de desenvolvimento de inimigos naturais dos nematoides fitoparasitas, culminando assim em um controle biológico dos mesmos. Estas substâncias orgânicas incorporadas ao solo também desempenham papel nematicida ao emitirem compostos nocivos aos nematoides (NOVARETTI, 1983).

As plantas são os constituintes primordiais no solo, pois é fonte de alimento para toda a fauna existente no solo. Os nematoides estão inseridos nos processos biológicos do solo e afetam as plantas direta e indiretamente. O grupo de nematoides que se alimentam das raízes das plantas corresponde aproximadamente a 30% dos nematoides que habitam o solo rizosférico ficando os nematoides de vida livre em sua maioria. Assim há uma interação entre todos os grupos tróficos e as raízes das plantas, os fitoparasitas se alimentam das raízes enquanto os de vida livre podem agir em benefício da planta se alimentando de bactérias e fungos patogênicos à raiz ou predando micorrizas e rizóbios simbióticos às plantas (FRECKMAN; CASWELL, 1985).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Locais de estudo

Este trabalho foi realizado em dois locais, na Usina Univalem (UV) no município de Valparaíso na região oeste do estado de São Paulo, com altitude média de 440 m; e na Usina Bom Retiro (BR) no município de Capivari na região central do estado de São Paulo com altitude média de 636 m (Figura 1).

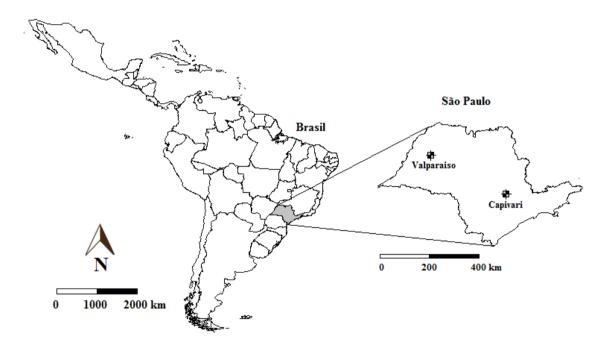


Figura 1 - Localização geográfica dos locais de estudo no Centro-Sul do Brasil

Os dois locais apresentam condições climáticas contrastantes (Tabela 1), utilizadas aqui como representativas do zoneamento edafoclimático da região centro-sul, a maior região produtora de cana-de-açúcar do país. Os experimentos se encontram instalados e conduzidos em condições de campo em cultivos comerciais de cana-de-açúcar.

Tabela 1- Descrição das áreas experimentais

	-	Localização Geográfica		Características climáticas *			
Município	Usina	Sul	Oeste	Tipo	Descrição	T. média (°C)	Precipitação (mm/Ano)
Capivari	Bom Retiro (BR)	22°59'22"	47°30'28"	Cwa	Subtropical úmido, Inverno seco e Verão quente	20-21	1200-1300
Valparaíso	Univalem (UV)	21°13'40"	50°52'04"	Aw	Tropical úmido, Inverno seco e Verão quente	22-23	1000-1100

Fontes: CIIAGRO (http://www.ciiagro.sp.gov.br) e CEPAGRI (http://www.cpa.unicamp.br). *Média dos últimos 16 anos.

A classificação dos solos foi realizada de acordo com critérios definidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2013) e USDA Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 2014). O solo da área BR foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (SiBCS) e Rhodic Kandiudox (USDA Soil Taxonomy) com geologia situada na bacia sedimentar do Paraná, no Grupo Tubarão e na formação geológica de Itararé. A textura média desse solo para as camadas superficiais (0-30 cm) foi de 600, 70 e 330 g kg⁻¹ de areia, silte e argila. O solo da área UV, foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico (SANTOS et al., 2013) Kanhaplic Haplustults (SOIL SURVEY STAFF, 2014) com geologia na mesma bacia sedimentar do Paraná, porém no grupo Bauru e na formação geológica de Adamantina. A textura média desse solo para as camadas superficiais (0-30 cm) foi de 860, 20 e 120 g kg⁻¹ de areia, silte e argila.

3.2 Instalações dos ensaios

As áreas onde foram realizadas as pesquisas vinham sendo manejadas de forma convencional com cana-de-açúcar em cultivos comercias e com a ausência da queima para fins de colheita há dez anos.

Nas unidades Bom Retiro e Univalem os ensaios foram estabelecidos com a colheita da cana planta (lavouras de primeiro corte) plantados em fevereiro de 2013. O corte ocorreu em outubro de 2014, ou seja, 20 meses após o plantio. O espaçamento da cultura em ambas as áreas experimentais é o duplo alternado, caracterizado pela intercalação dos espaçamentos 0,9 e 1,5 m entre linhas de

plantio (Figura 2). A área de cada ensaio corresponde aproximadamente a 3,8 ha. O plantio foi estabelecido com 12 a 24 gemas por m². A variedade utilizada em BR foi a CTC 14 e em UV a RB 86-7515.

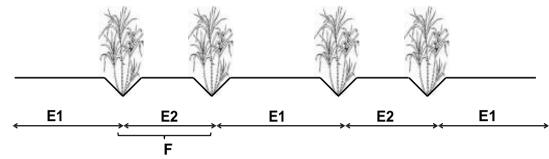


Figura 2 - Esquema do espaçamento duplo alternado; **E1**: 1,5 m e **E2**: 0,9 m; **F**: linha dupla.

Inicialmente foi realizada a quantificação de toda a palha de cana-de-açúcar deixada no campo após a colheita. Para isso, a colhedora foi regulada com o extrator primário e secundário ligado na potência máxima (1100 rpm). Em seguida, as combinações entre rotações do extrator primário e extrator secundário (ligado ou desligado) foram testadas, a fim de deixar sobre o solo a quantidade desejada de palha. Em todos os ensaios objetivou-se regular a colhedora para manter no campo 0, 25, 50, 75 e 100% da palha após a colheita, ou seja, remoção de 100, 75, 50, 25 e 0% da palha para produção de bioenergias. A fim de se averiguar as porcentagens pré-estabelecidas regulou-se a velocidade angular do extrator primário, na sequência foi posicionado o elevador sobre o transbordo e direcionada a saída do extrator secundário para trás da colhedora, procedimento convencionalmente utilizado durante a colheita.

À frente da colhedora, 10 e 20 m, lonas de 4 m² foram colocadas servindo de superfície de captação da palha, que se localizavam a 1 metro da linha de plantio. Após a colheita da linha de plantio, foi retirada a lona com a fitomassa descartando os colmos picados; em seguida, determinou-se a massa de palha. Esse processo permitiu adotar um parâmetro para ajustar a colhedora, mas o material depositado sobre a lona não foi correlacionado com as porcentagens teóricas dos tratamentos.

Isso porque havia uma instabilidade nas direções do vento no decorrer do processo o que poderia influenciar na umidade da fitomassa interferindo na densidade final obtida sobre a lona.

Com a finalidade de se investigar a eficiência dos extratores em quantificar a palha, foi colocado uma espécie de armação de ferro de 1m² sobre a palha no solo. Esta foi recolhida e teve seu peso determinado três vezes (repetições) em cada tratamento. O posicionamento da estrutura de ferro foi feito lado a lado permitindo que a palha fosse retirada em um retângulo de 1 x 3 m², transversal às linhas de plantio. Tendo sido adotado esse sistema de avaliação devido ao espaçamento alternado tender ao favorecimento de uma deposição heterogênea de palha.

Devido ao uso de diferentes colhedoras e diferentes combinações de RPM (rotações por minuto) dos extratores primários e secundários, ligados ou desligados, diferentes porcentagens de palha foram alcançadas e, consequentemente, diferentes quantidades de massa de matéria seca foram obtidas (Tabela 2), sendo que em ambos os casos foi possível estabelecer-se as quantidades respeitando as faixas teóricas e capazes de serem analisadas. Pra mais detalhes sobre a instalação dos experimentos consulte Lisboa et al. (2017).

Tabela 2 - Quantidades de palha depositadas com as diferentes rotações

Locais de estudo						
	Bom Retiro		Univalem			
Quantidade de palha (1)						
%	Mg ha ⁻¹	%	Mg ha ⁻¹			
0		0				
22	4,2	34	4,0			
46	8,7	56	10,2			
80	15,1	76	12,5			
100	18,9	100	16,4			
Al	23,3	Al	13,2			

⁽¹⁾ em massa de matéria seca; Al: tratamento aleirado.

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, composto por seis tratamentos com quatro repetições, em áreas sem queima de cana-de-açúcar (1ª soca) e com topografia plana. Os tratamentos testados na BR foram: 0; 4,2; 8,7;

15,1; 18,9 e 23,3 Mg ha⁻¹. Na unidade UV os tratamentos foram: 0; 3,9; 10,2; 12,5; 16,4 e 13,2 Mg ha⁻¹. Os tratamentos foram definidos de acordo com a quantidade total de palha obtida na área, conforme descrito na Tabela 2. O tratamento aleirado consiste em retirar a palha do espaçamento da linha de 0,9 m e colocar ao lado no espaçamento de entre linha de 1,5 m.

No experimento BR, cada parcela possuía tamanho de 50 m x 24 m, o que consistiu de dez linhas de plantio com espaçamento combinado de 1,50 m x 0,9 m. No experimento UV, cada parcela possuía tamanho de 40 m x 21,6 m e, consistia de nove linhas de plantio com espaçamento combinado de 1,50 m x 0,9 m.

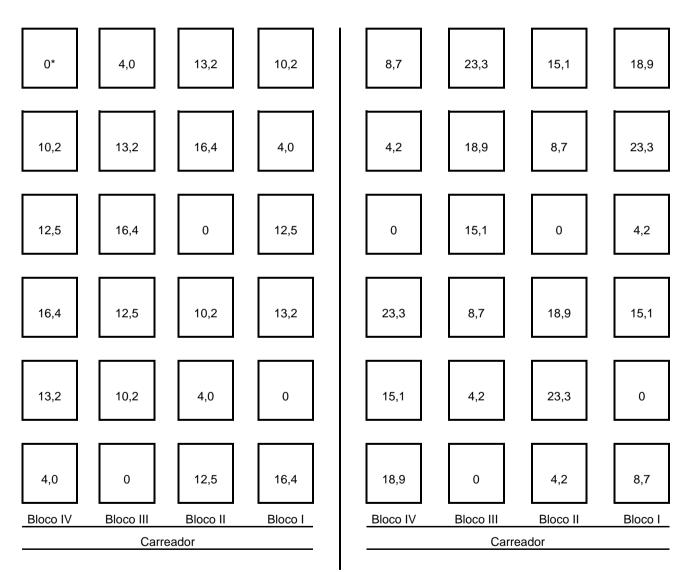


Figura 3 - Croqui dos experimentos com cana-de-açúcar na Unidade Univalem em Valparaíso-SP (à esquerda) e Unidade Bom Retiro em Capivari-SP (à direita). *Os números em cada parcela representam o tratamento, a quantidade de palha em massa de matéria seca em Mg ha -1.

A Figura 3 representa o croqui ilustrativo das duas áreas experimentais.

3.4 Amostragem e análises

3.4.1 Coletas das amostras

As amostras de solo e raízes foram coletadas em maio de 2015 na Unidade Bom Retiro, e em junho de 2015 na Unidade Univalem. Utilizou-se o trado holandês para a coleta, nas duas áreas experimentais, na profundidade de 0-20 cm. A amostragem foi realizada caminhando-se na parcela aleatoriamente, respeitando as bordaduras. Foram realizadas amostragens na linha de plantio das culturas onde se retirou amostras de solo e raízes, na base dos colmos (CADET; SPAULL, 2003), e nas entrelinhas de 0,9m e 1,5m (Figura 4).

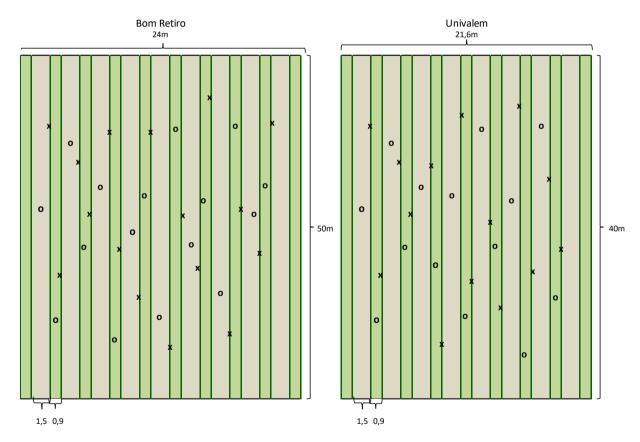


Figura 4 - Esquema de coletas em cada parcela nas áreas experimentais, o símbolo (x) representa a coleta na linha da cultura, e (o) representa a coleta na entre linha.

Em Bom Retiro, em cada parcela coletou-se com o trado holandês 16 amostras simples na linha que foram colocadas em um balde, homogeneizadas e retirava-se uma amostra composta de solo e raiz. O mesmo procedimento foi feito

nas entrelinhas, porém não se coletava as raízes. Por fim foram obtidas 24 amostras compostas de solo da entrelinha, 24 amostras compostas de solo da linha e 24 amostras compostas da raiz em BR.

Na Univalem o mesmo procedimento foi realizado, todavia cada amostra composta era obtida de 14 amostras simples devido ao menor número de linhas de plantio contidas naquela área. Por fim também se obteve 24 amostras compostas de solo da linha, 24 amostras compostas de raízes e 24 amostras compostas de solo da entrelinha.

No total das duas áreas de estudo foram obtidas 144 amostras, sendo 96 de solo e 48 de raiz.

As amostras transferidas para sacos plásticos devidamente identificados, contendo cada uma aproximadamente 500 ml de solo e raízes foram acondicionadas em caixa de isopor à sombra. Ao término das coletas, as amostras foram levadas ao laboratório do Setor de Nematologia/Zoologia Agrícola da ESALQ para processamento e extração dos nematoides.

Ainda na área UV realizou-se mais uma coleta de raízes, através do arranquio de cinco touceiras da área experimental para fins de identificação de espécies de *Meloidogyne* através da extração de fêmeas das raízes. O que também foi realizado no mesmo laboratório.

3.4.2 Processamento das amostras: extração/ fixação dos nematoides

Os nematoides foram extraídos das raízes, aproximadamente 5 g, segundo o método de Coolen e D'Herde (1972), as quais foram trituradas por 1 minuto em liquidificador comum e posteriormente passadas sucessivamente por uma peneira de 20 mesh (abertura da malha de 0,84 mm) e outra de 500 mesh (abertura da malha de 0,025 mm). O material retido nesta foi transferido para tubos de centrífuga de 100 ml e a ele foi adicionado caulim (1 ml /amostra), que acelera a decantação do material desintegrado contendo os nematoides. O material foi centrifugado a 1.800 rpm por cinco minutos, para a separação da água e do material desintegrado contendo os nematoides. A esse precipitado foi colocado solução de sacarose com densidade de 1,14 g ml⁻¹ e novamente centrifugado a 1.800 rpm, desta vez por um minuto. O sobrenadante passou então por uma peneira de 500 mesh, que reteve os nematoides. Estes foram transferidos para recipientes de vidros de 30 ml de

capacidade, contendo aproximadamente 20 ml de amostra. Posteriormente foi efetuada a morte por aquecimento gradual até 60°C e fixação dos espécimes com formalina, 1,5 ml de formol 40 % (volume/ volume). Tomando-se os valores das massas totais das raízes, estimou-se a população final nas raízes.

Para a extração dos nematoides do solo, utilizou-se o método proposto por Jenkins (1964). Cada 200 cm³ de amostra de solo foi depositada em um balde plástico, ao qual se adicionaram 5 litros de água de torneira. Esse material foi misturado e mantido em suspensão por agitação manual, seguida por 30 segundos de repouso. A seguir, a suspensão foi sucessivamente vertida nas peneiras de 20 e 400 mesh (abertura de malha de 0,037 mm). O material retido na peneira de 400 mesh foi transferido para tubos de centrífuga, avaliados conforme citado anteriormente.

As suspensões aquosas contendo os nematoides foram armazenadas em frascos de vidro identificados e mantidos sob refrigeração.

3.4.3 Contagem e identificação dos nematoides

As contagens foram relatadas como nematoides em 200 cm³ de solo e nematoides por grama de raiz (BLAIR et al., 1999). Os frascos tiveram a suspensão de nematoides sifonadas através de um pequeno sifão de cobre, a fim de se reduzir a suspensão de todas as amostras a 10 ml. Seguiram-se então as contagens dos espécimes para estimar a população de cada gênero. Com uma pipeta retirava-se 2 ml da amostra e preenchia a lâmina de Peters utilizada na contagem em microscópio óptico, esse procedimento era feito duas vezes por amostra. O número obtido ao fim da contagem era multiplicado pelo volume total da amostra, obtendo assim a estimativa da população total ao nível de gêneros e vida livre.

Após a obtenção do número de nematoides ao nível de gênero, realizou-se a identificação das espécies através da montagem de lâminas temporárias (formol a 2%) para avaliação em microscópio óptico. Em alguns casos houve impossibilidade de identificação ao nível específico devido à ausência ou escassez de fêmeas maduras ou inexistência de exemplares em boas condições, para exame dos caracteres necessários para determinação da espécie.

A análise das lâminas foi realizada por meio das características morfológicas dos espécimes (ROMÁN; HIRSCHMANN, 1969; HANDOO; GOLDEN, 1989; HANDOO, 2000; OLIVEIRA, 2016).

Para o gênero *Meloidogyne*, as fêmeas foram extraídas das raízes por meio do método de Coolen e D´Herde (1972) e posteriormente passadas em peneira de malha 100 mesh (abertura de 0,149 mm), onde ficaram retidas. As fêmeas não foram fixadas, e em seguida colocadas em lâminas e cortadas (perineal) (HARTMAN; SASSER, 1985). E por fim identificou-se a espécie a partir dos caracteres morfológicos observados em microscópio óptico, baseando-se em Taylor e Sasser (1978).

3.5 Cálculos realizados e Análises de dados

A partir dos números gerados na contagem obteve-se a abundância absoluta de cada táxon que é o número de indivíduos de um determinado táxon de nematoide em uma amostra (GOULART, 2009).

Os dados foram transformados de acordo com o método da potência ótima de transformação definida por Box e Cox (1964). Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância para testar o efeito da remoção da palha em cada gênero e nematoides de vida livre, e também nas populações médias totais por tratamento. Quando a análise de variância foi significativa pelo teste F (p < 0,05), a comparação de médias foi realizada pelo teste de Tukey (p < 0,05). O programa SAS v.9.3 foi utilizado para realizar todas as análises estatísticas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados relativos à nematofauna associada à rizosfera e às raízes da canade-açúcar nos seis tratamentos com palha de cana-de-açúcar serão apresentados por área experimental. Dentro de cada área, inicialmente foram apresentados os resultados obtidos por meio da amostragem de solo e posteriormente das raízes.

O número total de gêneros fitoparasitas identificados nas duas áreas foi de oito, sendo eles *Pratylenchus*, *Meloidogyne*, *Tylenchorhynchus*, *Paratrichodorus*, *Mesocriconema*, *Helicotylenchus* e *Xiphinema*, nem todos ocorrendo nas duas áreas.

Em BR o número de nematoides contidos em 200 cm³ de solo variou de 1100 a 4452, e em um grama de raiz foi de 0 a 650 nematoides. Na área UV o número de nematoides em 200 cm³ de solo foi de 555 a 3300, e encontrados em um grama de raiz variou de 16 a 593 nematoides. A abundância de nematoides em ambas as áreas era composta em sua maioria por nematoides parasitas de plantas.

4.1 Comunidades de nematoides em área de solo textura média

Das amostras de solo coletadas na rizosfera e raízes da cana-de-açúcar na área de solo textura média (BR) identificaram-se os 8 táxons de nematoides fitoparasitos até o nível de espécie:

- i) família Longidoridae: Xiphinema setariae/vulgare (Luc, 1958); Tarjan, 1964;
- ii) família Trichodoridae: *Paratrichodorus minor* (Colbran, 1956) Siddiqi, 1974(33% dos espécimes); *Paratrichodorus porosus* (67% dos espécimes);
- iii) família Belonolaimidae: *Tylenchorhynchus annulatus* (Cassidy, 1930) Golden, 1971;
 - iv) família Pratylenchidae: Pratylenchus zeae Graham, 1951;
 - v) família Hoplolaimidae: Helicotylenchus dihystera (Cobb, 1893) Sher, 1961;
- vi) família Criconematidae: *Mesocriconema ornata* (3% dos espécimes) Raski, 1958; *Mesocriconema sphaerocephala* (97% dos espécimes) (Taylor, 1936) Luc & Raski, 1981.

A abundância dos nematoides do solo, gêneros e vida livre, pode ser observada na Tabela 3.

Tabela 3 - Abundância absoluta de nematoides em 200 cm³ de solo, ao nível genérico, da área BR

Gêneros	Local de coleta do solo	Quantidade de palha (Mg ha ⁻¹)					
Conordo		0	4,2	8,7	15,1	18,9	23,3
Pratylenchus	Linha	1835,3†	1516,3	1227,8	908	1218,5	1375,5
		(±487,1)‡	(±433,7)	(±248,5)	(±218,5)	(±277,9)	(±353,5)
	Entrelinha	1301,5	1373,5	1094,0	1391,5	1221,5	1073,0
		(±343,5)	(±350,5)	(±251,6)	(±135,8)	(±538,7)	(±228,4)
Hillian Israel	Linha	905,8	1116,8	931,3	846,3	1000,0	635
		(±186,7)	(±418,8)	(±301)	(±421,1)	(±181,8)	(±44,4)
Helicotylenchus	Entrelinha	378,5	371,0	388,0	546,5	448,3	486,5
		(±163,7)	(±166,5)	(±212,1)	(±87,5)	(±264,7)	(±253,1)
	Linha	157,3	14,5	23,3	7,5	5,5	11,8
Tylenchorhynchus		(±295,5)	(±16,8)	(±32,5)	(±15)	(±11)	(±13,6)
Tylerichomyrichus	Entrelinha	106,8	176,8	48,5	166,0	108,8	119,0
		(±23,1)	(±105,9)	(±31,7)	(±148,6)	(±87,3)	(±62,5)
Mesocriconema	Linha	139,8	100,0	187,8	197,8	163,0	168,8
		(±98,6)	(±81,4)	(±267)	(±285,1)	(±100)	(±167,3)
	Entrelinha	20,0	109,0	29,0	94,5	22,8	75,3
		(±24,5)	(±61,5)	(±33,5)	(±75,5)	(±28,8)	(±58,7)
	Linha	117,8	97,3	86,8	62,5	51,0	82,5
Paratrichodorus		(±41)	(±62,4)	(±35,2)	(±23)	(±75,6)	(±52,9)
r arathenodorus	Entrelinha	59,5	66,25	63	57,5	86,5	88,25
		(±51,9)	(±71,2)	(±11,5)	(±55,9)	(±83,2)	(±37,7)
Xiphinema	Linha	29,3	28,8	12,0	17,0	45,0	48,3
		(±41)	(±24,5)	(±24)	(±19,8)	(±56,8)	(±28,4)
	Entrelinha	6,8	17,8	12,5	44,5	15,8	5,8
		(±13,5)	(±21)	(±15)	(±13,1)	(±18,2)	(±11,5)
Vida livre*	Linha	465,3	687,3	654,0	451,8	941,5	447
		(±160,2)	(±104,9)	(±348)	(±329,2)	(±312,9)	(±77,6)
	Entrelinha	363,5	396,5	540,5	395,0	507,3	436,0
		(±94)	(±90,6)	(±167,1)	(±105,7)	(±227)	(±268,4)

^{*}Vida livre é um grupo de nematoides que pertencem a diversos gêneros, os quais não foram identificados nesse trabalho; †Valor médio (n = 48) ‡Desvio padrão.

Os resultados estatísticos foram baseados nos dados obtidos a partir da contagem ao nível de gênero. Houve diferenças nas abundâncias entre os gêneros de acordo com análise de variância e a transformação dos dados (Figura 5 a). Cabe relembrar que a interpretação dos resultados não deve ser realizada com base na magnitude dos valores e sim pelas diferenças, uma vez que estes dados foram transformados, conforme descritos no item 3.5.

O gênero *Pratylenchus* teve a maior abundância na área, estando diferentes de todos os outros gêneros. Este resultado é consistente com a literatura, onde é reportado que elevadas populações de *Pratylenchus* spp. costumam ocorrer nos cultivos de cana-de-açúcar no estado de São Paulo (NOVARETTI et al., 1998). A única espécie *Pratylenchus zeae* encontrada na área também foi reportada por Dinardo-Miranda, Garcia e Parazzi (2002), em dois estudos avaliando diferentes práticas de manejo realizados na mesma região da Usina Bom Retiro. Um levantamento sobre a comunidade de nematoides em cana-de-açúcar na Nigéria identificou 12 espécies, dentre as quais *Pratylenchus zeae* também foi a mais frequente nas amostras (STEVEN et al., 2014).

Helicotylenchus e os nematoides de vida livre não se diferiram entre si ocupando a segunda posição em termos de abundância. Mesocriconema, Tylenchorhynchus e Paratrichodorus também não se diferiram entre si, e por fim Xiphinema foi o gênero menos abundante. A observação desses gêneros e suas abundâncias corroboram com um estudo realizado em áreas de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul onde se objetivou caracterizar a nematofauna presente na rizosfera. O autor também relatou maiores números de Pratylenchus seguidos de Helicotylenchus como aqui observados (BELLÉ, 2014).

Espécies como Helicotylenchus diystera, Paratrichodorus minor, Tylenchorhynchus spp., Mesocriconema spp. e Xiphinema spp. ocorrem com frequência em canaviais no Brasil, todavia a real importância destes espécimes é incerta devido a carência de informações, e muitas vezes não são levados em consideração em um levantamento nematológico. Porém a identificação e a contagem desses nematoides nas amostras de cana-de-açúcar futuramente podem oferecer informações valiosas para o controle dos mesmos, pois mudanças estão sujeitas a ocorrer no comportamento dessas espécies a partir de introdução de novas variedades de plantas, modificações no manejo da cultura entre outros fatores, (INOMOTO, 2016), assim como a remoção de palha do campo.

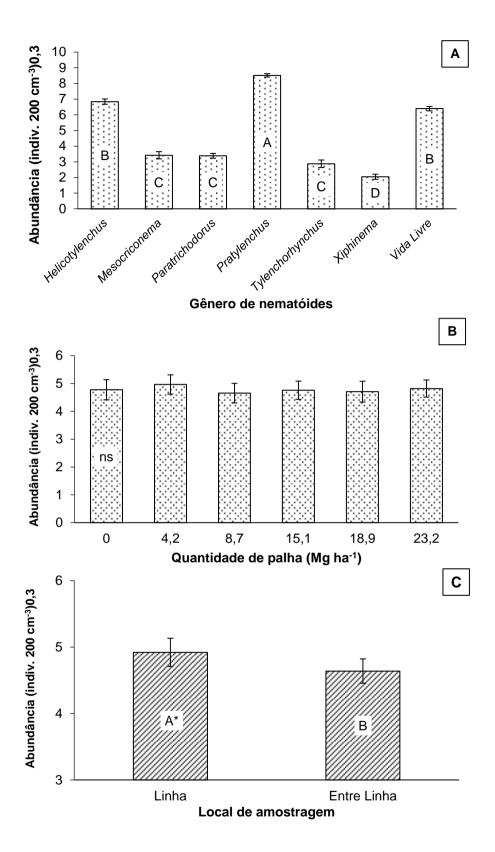


Figura 5 – Comparação da abundância de nematoides (indivíduos 200 cm⁻³)^{0,3} do solo entre gêneros (A), entre diferentes quantidades de palha mantidas sobre o solo (B) e entre o local de coleta (C), encontrados em área cultivada com cana-de-açúcar da unidade Bom Retiro. *Médias seguidas por mesma letra não diferiram entre si pelo teste de Tukey (*p*<0,05); ns: não significativo. Barras de erros representam o erro padrão em relação à média.

Não foi observada diferença estatística dos diferentes tratamentos de palha em relação aos gêneros fitoparasitas e nem dos nematoides de vida livre presentes no solo, ou seja, o manejo de remoção da palha de cana-de-açúcar não induziu mudanças significativas na população dos nematoides (Figura 5 b). As comunidades de nematoides em cada tratamento se mantiveram constantes independentes da quantidade de palha.

Stirling, Moody e Stirling (2010) ao compararem comunidades de nematoides em cultivos de cana de manejo intensivo, tendo os resíduos de colheita queimados, e outro com a permanência dos resíduos culturais na Austrália, constataram que a matéria orgânica foi o principal componente que afetou a biologia do solo. O autor relatou que onde os resíduos culturais foram mantidos sobre o solo houve maior abundância de nematoides de vida livre. Essa mesma tendência pode ser observada no presente estudo, onde apesar de não ter sido significativo na análise de variância, o tratamento com remoção total (sem palha) apresentou abundância numericamente inferior daquela encontrada no tratamento sem remoção da palha (18,9 Mg ha⁻¹) (Tabela 3). Entretanto, entre os tratamentos com diferentes quantidades de palha, as variações das abundâncias dos nematoides de vida livre não segue um padrão linear, ou seja, não houve um aumento de acordo com o aumento da quantidade de palha mantida sobre o solo. A partir do corte da cana e a deposição da palha no solo até o momento das coletas se passaram seis meses, o que poderia explicar a falta de correlação dos resultados. Pois no estudo de Stirling, Moody e Stirling (2010), concluiu-se que os efeitos benéficos da palha no controle de nematoides fitoparasitas só poderiam ser percebidos em longo prazo e que 5-7 anos ainda representavam muito pouco tempo.

As comunidades de nematoides que compunham as amostras de solo retiradas na linha da cultura foram maiores do que as comunidades das amostras retiradas nas entrelinhas (Figura 5 c). Na linha da cultura se localizam os maiores volumes de raízes, assim maior oferta de alimentos para os nematoides fitoparasitas, bem como para os nematoides de vida livre que se alimentam de microrganismos ali presentes e também de outros nematoides. O tráfego de máquinas nas entrelinhas da cultura durante os tratos culturais assim como a colheita tem causado a compactação do solo (OTTO et al., 2011; CHERUBIN et al., 2016). As colhedoras, por exemplo, podem chegar a pesar de 20 toneladas e com os transbordos totalmente carregados até 30 toneladas. A compactação aumenta a

densidade do solo desequilibrando a relação do volume de solo ocupado por ar e água (CHERUBIN et al., 2016), que pode culminar na redução do volume de solo explorado pelas raízes (BRAUNACK; ARVIDSSON; HÅKANSSON, 2006; OTTO et al., 2011). Desta forma, solos compactados tendem a ter menor aeração diminuindo a sobrevivência de nematoides (STIRLING; MOODY; STIRLING, 2010).

4.1.1 Nematoides encontrados nas raízes da cana-de-açúcar em solo textura média

Ao extrair os nematoides das amostras de raízes foram identificados os gêneros, *Pratylenchus* e *Helicotylenchus* e também foram contados os nematoides de vida livre (Tabela 4).

Tabela 4 - Abundância absoluta de nematoides/g de raiz, ao nível genérico, da área BR

Gêneros	Quantidade de palha (Mg ha ⁻¹)							
Concrete	0	4,2	8,7	15,1	18,9			
Pratylenchus	351†	47	101	188	173			
	(±158,87)‡	(±31,69)	(±80,23)	(±190,11)	(±222,14)			
Halland damahan	13	0	37	32	96			
Helicotylenchus	(±18,65)	0	(±28,22)	(±21,44)	0			
Vida livre	63	76	72	102	96			
	(±60,68)	(±74,23)	(±44,52)	(±83,94)	(±46,17)			

^{*}Vida livre é um grupo de nematoides que pertencem a diversos gêneros, os quais não foram identificados nesse trabalho; †Valor médio (n = 24) ‡Desvio padrão.

Pratylenchus e vida livre apresentaram maiores populações contidas nas raízes do que o gênero Helicotylenchus (Figura 6 A). Assim a alta densidade populacional contida no solo de Pratylenchus também aconteceu nas raízes. Quando se tem alta infestação no solo, e condições favoráveis de sobrevivência como umidade e hospedeiro suscetível, o ataque do nematoide a planta se torna inevitável.

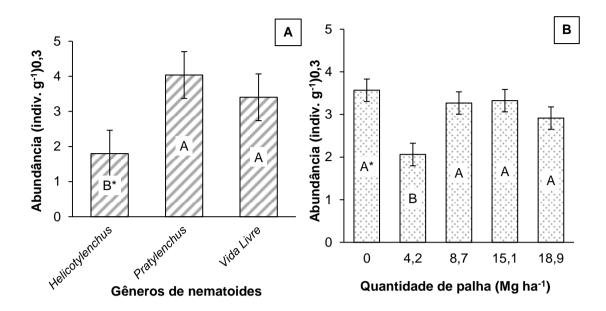


Figura 6 – Comparação da abundância de gêneros de nematoides (indivíduos g⁻¹)^{0,3} das raízes de cana-de-açúcar (A), e entre diferentes quantidades de palha mantidas sobre o solo (B), encontrados em área cultivada com cana-de-açúcar da unidade Bom Retiro. *Médias seguidas por mesma letra não diferiram entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). Barras de erros representam o erro padrão em relação à média.

A alta abundância de nematoides de vida livre nas raízes pode estar vinculada com a alta abundância de *Pratylenchus*. A partir da infecção do *Pratylenchus* causando a necrose dos tecidos das raízes e estas permanecendo no solo podem ter se iniciado um processo de decomposição atraindo microrganismos como fungos e bactérias em busca de alimentos. Esses microrganismos por sua vez atraíram nematoides de vida livre como os bacteriófagos, onívoros e fungívoros, por exemplo, que se adentraram as raízes para se alimentarem.

A baixa presença de *Helicotylenchus* (Tabela 4) pode estar relacionada entre outros fatores ao seu modo de parasitismo, como ectoparasitas, no qual esses nematoides inserem apenas o seu estilete na raiz se mantendo na superfície das mesmas. Assim muitas vezes não são observados em seu número real dos que estavam se alimentando da planta no processo de extração das raízes, pois seus estiletes são curtos, o que limita sua alimentação às células epidérmicas superficiais e pelos radiculares (FERRAZ; BROWN, 2016). Porém, em algumas plantas podem ser encontrados dentro dos tecidos radiculares agindo como endoparasitos (LORDELLO, 1981). O baixo número de *Helicotylenchus* pode também estar ligado ao fato de que a infecção pelo *Pratylenchus* se deu primeiro devido sua maior agressividade havendo uma competição entre eles. Apesar de haver relatos de

aumento da abundância desses nematoides espiralados em diversas culturas, o seu potencial de causar danos ainda não é bem definido e necessita de maiores investigações (INOMOTO, 2016).

Através da análise de toda comunidade contida em cada tratamento pode-se observar diferença entre eles, sendo que a menor população de nematoides foi encontrada no tratamento 4,2 Mg ha-1 de palha (Figura 6 b). A menor abundância neste tratamento está relacionada à ausência dos espécimes do gênero Helicotylenchus, e principalmente à menor presença de Pratylenchus entre todos os tratamentos e a baixa abundância de nematoides de vida livre (Tabela 4). Ou seja. este tratamento afetou de fato todos os gêneros presentes. Todavia nas amostras de solo do mesmo tratamento as populações de Pratylenchus e Helicotylenchus eram altas, principalmente as do solo da linha da cultura de onde foram coletadas as raízes, o que afirma que havia uma comunidade abundante no local e que a mesma não infectou a raiz de forma abundante. Em relação ao Helicotylenchus, de acordo com seu comportamento, como mencionado anteriormente, este pode ser encontrado mais no solo do que nas raízes. A população desse mesmo gênero e a comunidade de nematoides de vida livre também foi baixa no tratamento sem palha. O que pode ter ocorrido é que com menores quantidades de palha pode ter havido uma menor umidade no solo impedindo a sobrevivência desses espécimes sendo estes mais sensíveis. A ausência da palha aumenta a incidência da luz solar direta no solo e pode causar uma evaporação maior do que em um ambiente com palha. Entretanto, neste mesmo tratamento sem palha, a população de *Pratylenchus* foi numericamente superior àquela encontrada nos outros tratamentos (Tabela 4), indicando que a provável baixa umidade do solo não afetou sua sobrevivência, pois espécie tem suas condições ótimas necessárias à sobrevivência, desenvolvimento e reprodução específicos e outras espécies coexistindo entre si (FERRRAZ; BROWN, 2016). A ausência de palha não contribuiu para suprimir a densidade populacional desses espécimes e ainda não incrementou a comunidade dos nematoides de vida livre que poderiam ter predado a população de Pratylenchus.

Stirling, Halpin e Bell (2011) ao estudarem o efeito da palha de cana-deaçúcar nos nematoides fitoparasitas observaram que as raízes mais superficiais localizadas logo abaixo da palha a 0-2 cm de profundidade eram mais saudáveis do que as raízes de 2-20 cm sendo estas escuras e necrosadas devido ao ataque de nematoides associando estes danos a maior presença de *Pratylenchus* nesta profundidade. Ou seja, havia uma supressão apenas logo abaixo do colchão de palha e mais abaixo a infecção ocorreu normalmente. Informações como esta podem inferir que a incorporação dos resíduos ao solo atue de forma mais eficaz na supressão dos fitonematoides.

4.2 Comunidades de nematoides em área de solo textura arenosa

Das amostras coletadas de solo e raízes da cana-de-açúcar no experimento em UV de solo de textura arenosa, foram identificados 4 táxons de nematoides fitoparasitas até o nível de espécie e 3 táxons até o nível de gênero, sendo:

- i) família Heteroderidae: Meloidogyne javanica Treub (Chitwood);
- ii) família Longidoridae: Xiphinema sp. Cobb;
- iii) família Trichodoridae: Paratrichodorus porosus, Paratrichodorus sp.;
- iv) família Pratylenchidae: Pratylenchus zeae Graham, 1951;
- v) família Hoplolaimidae: Helicotylenchus dihystera (Cobb, 1893) Sher, 1961;
- iv) família Criconematidae: Mesocriconema sp.

A abundância dos nematoides do solo, gêneros e vida livre, pode ser observada na Tabela 5.

Espécies como estas também foram encontradas em culturas de cana na Austrália, onde as espécies mais importantes foram *P. zeae* e *M. javanica*, pois muitas vezes elas foram encontradas em altas densidades e sua patogenicidade na cana-de-açúcar é bem conhecida. (BLAIR et al., 1999). A ocorrência predominante de *M. javanica* em amostras de cana-de-açúcar também foi observada por Dinardo-Miranda et al. (2003) em Piracicaba-SP. A espécie *Meloidogyne javanica* é a mais frequente em canaviais no Brasil (INOMOTO, 2016).

A estatística foi realizada a partir dos dados de contagens ao nível de gênero onde se constatou diferenças entre os mesmos (Figura 7a). Nematoides do gênero *Pratylenchus* e nematoides de vida livre tiveram as maiores populações em relação aos demais.

Tabela 5 - Abundância absoluta de nematoides em 200 cm³ de solo, ao nível genérico, da área UV

Gêneros	Local de coleta do	Quantidade de palha (Mg ha ⁻¹)						
Generos	solo	0	4,0	10,2	12,5	16,4	13,2	
Pratylenchus	Linha	427,0†	346,0	514,8	444,8	470,5	642,3	
		(±257,6)‡	(±111,2)	(±181,8)	(±200,9)	(±450)	(±316,1)	
	Entrelinha	462,5	332,8	244,0	349,5	409,8	397,8	
		(±198,5)	(±221,4)	(±121,5)	(±100,4)	(±210,9)	(±124,3)	
Helicotylenchus	Linha	361,5	231,5	476,8	256,3	415,5	362,5	
		(±99,8)	(±158)	(±200,6)	(±75)	(±270,1)	(±205)	
	Entrelinha	147,8	59,3	244,0	279,3	413,0	271,3	
		(±35,9)	(±65,6)	(±254,1)	(±303,2)	(±417,4)	(±285,4)	
Meloidogyne	Linha	107	176,8	66,8	57,8	168,5	120,3	
	Linha	(±26,4)	(±242,9)	(±51,2)	(±39,5)	(±164)	(±159,4)	
	Entrelinha	129,3	242,5	401,3	308,3	148,0	182,0	
	Entremna	(±50,6)	(±162,2)	(±184,9)	(±347)	(±211,6)	(±138,2)	
Mesocriconema	Linha	14,3	23,0	39,3	28,0	24,8	7,5	
		(±17,3)	(±31,2)	(±46,8)	(±33)	(±29,1)	(±15)	
	Entrelinha	65,8	15,0	28,0	9,0	30,0	7,5	
		(±24,7)	(±30)	(±32,5)	(±18)	(±7,6)	(±15)	
Paratrichodorus	Linha	60,0	68,8	53,3	17,3	42,5	62,0	
		(±61,8)	(±99,2)	(±38,9)	(±20)	(±13,3)	(±33,1)	
	Entrelinha	49,5	48,3	184,5	120,0	61,8	110,3	
		(±18,2)	(±18,9)	(±94,8)	(±84,1)	(±20,7)	(±117,3)	
Xiphinema	Linha	29	51,25	53,75	63,75	9,75	21,25	
		(±58)	(±45,3)	(±15,6)	(±74,8)	(±19,5)	(±28,4)	
	Entrelinha	32,5	10,5	13,0	25,0	33,8	14,8	
		(±27,8)	(±21)	(±26)	(±29,3)	(±25,5)	(±17,8)	
Vida livre*	Linha	433,8	499,5	698,8	467,8	653,5	384,3	
		(±275,9)	(±142,5)	(±137,8)	(±248,3)	(±222,9)	(±164,7)	
	Entrelinha	472,8	372,3	526,3	396,8	663,8	415,8	
		(±268,2)	(±231,4)	(±38)	(±153,2)	(±571,9)	(±185,2)	

^{*}Vida livre: grupo de nematoides que pertencem a diversos gêneros, os quais não foram identificados nesse trabalho; † Valor médio (n = 48); ‡ Desvio padrão.

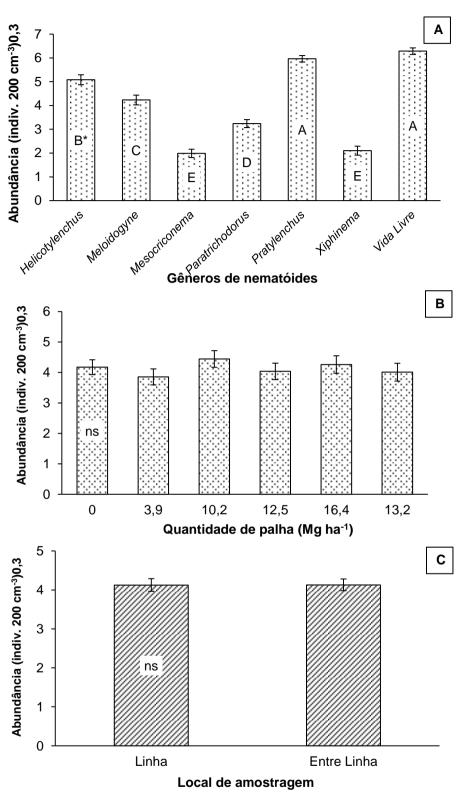


Figura 7 — Comparação da abundância de nematoides (indivíduos 200 cm⁻³)^{0,3} do solo entre gêneros e vida livre (A), entre diferentes quantidades de palha mantidas sobre o solo (B) e local de coleta (C), encontrados em área cultivada com cana-de-açúcar da unidade Univalem. *Médias seguidas por mesma letra não diferiram entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). Barras de erros representa o erro padrão em relação à média.

O gênero *Helicotylenchus* apresentou a segunda maior abundância de indivíduos, seguido pelo gênero *Meloidogyne*. A quarta maior abundância de indivíduos se deu pelo gênero *Paratrichodorus*, e a última posição em termos de abundância foi composta pelo *Mesocriconema* e *Xiphinema*. Arieira et al. (2013) também encontraram, assim como neste estudo, em áreas de cana-de-açúcar no estado do Paraná a dominância dos fitoparasitas *Pratylenchus* e *Helicotylenchus* nas amostras.

Ao analisar a comunidade de nematoides do solo que compunha cada tratamento de palha não se constatou diferença significativa entre eles (Figura 7 b). Ao contrário do que se era esperado que em maiores quantidades de palha houvesse uma supressão dos fitoparasitos e um incremento na população dos nematoides de vida livre.

Materiais com alta relação C/N deixados no solo contendo altos teores de lignina e de polifenóis, tornam o processo de decomposição lento, contribuindo para um acúmulo de matéria orgânica no solo. A decomposição da palha da cana-deaçúcar se degrada em carboidratos estruturais como celulose, hemicelulose e lignina, e em nutrientes N, P, K, Ca e Mg com uma relação C/N alta, de acordo com OLIVEIRA (1999). A partir das proteínas vegetais, de onde se originam o N presente nos tecidos, quando se decompõem produzem entre outras substâncias aminoácidos, que se degradam ainda mais produzindo íons inorgânicos de amônio (NH₄+), nitrato (NO₃-) e sulfato (SO₄²-) (BRADY; WEIL, 2013). Estas substâncias posteriormente podem se transformar no solo em compostos fenólicos, nitrito e amônia os quais têm efeito nematicida (RITZINGER; FANCELLI, 2006).

De acordo com Oka (2010) ao se adicionar compostos orgânicos/resíduos vegetais ao solo, reações acontecem envolvendo vários mecanismos que estão ligados à supressão de nematoides. Dentre estas destacam a liberação de substâncias nematicidas já existentes no próprio solo; degradação dos materiais depositados no solo em amônia, por exemplo; aumento de microrganismos antagonistas aos nematoides; incremento na resistência das plantas suscetíveis aos nematoides e por fim pode haver alterações no solo que não são adequadas a sobrevivência dos nematoides.

Aparentemente, o comportamento dos fitoparasitas e dos nematoides de vida livre foi indiferente aos tratamentos, não havendo correlação com o aumento da quantidade de palha. Todavia o fato de se deixar a palha no solo pode ter mantido

uma população de nematoides de vida livre desejável em um sistema de cultivo podendo com o tempo haver uma agregação maior do benefício da palha nesses microrganismos benéficos. Se compararmos a abundância do tratamento com remoção total (sem palha) e sem remoção (16,4 Mg ha ⁻¹ de palha), percebe-se que houve um aumento de cerca de 32% na abundância, porém os outros tratamentos não seguem esta mesma lógica (Tabela 5).

Na análise das comunidades encontradas nas amostras da linha e entrelinha não houve diferença na abundância entre elas (Figura 7 c). Diferentemente do ocorrido na outra área experimental, onde a abundância da linha foi maior do que a da entrelinha. Uma explicação provável pode estar relacionada à textura do solo das áreas, sendo que em BR com um solo de textura média está mais suscetível a compactação do que um solo arenoso.

4.2.1 Nematoides encontrados nas raízes da cana-de-açúcar em solo textura arenosa

Os nematoides das amostras de raízes foram identificados em *Pratylenchus* zeae, *Helicotylenchus sp.* e *Meloidogyne javanica*, e também foram contados os nematoides de vida livre.

A abundância dos nematoides das raízes, gêneros e vida livre, pode ser observada na tabela 6:

Tabela 6 - Abundância absoluta de nematoides/g de raiz, ao nível genérico, da área UV

Gêneros	Quantidade de palha (Mg ha ⁻¹)							
Concrete	0	4,0	10,2	12,5	16,4	13,2		
Meloidogyne	90,5†	15,75	24	72,5	166,5	114		
	(±107,62)‡	(±17,75)	(±23,62)	(±74,55)	(±7,59)	(± 142,35)		
Pratylenchus	156,75	75,25	124,75	78,75	166,5	249,25		
	(±95,87)	(±29,85)	(±62,58)	(±74,65)	(±85,78)	(±122,84)		
Helicotylenchus	49	12,25	24,75	5,75	28,25	28,25		
	(±82,70)	(±5,56)	(±13,67)	(±8,02)	(±17,73)	(±14,38)		
Vida livre*	53,25	42,25	48,5	38	42,75	58		
	(±21,48)	(±22,87)	(±32,56)	(±27,99)	(±12,50)	(±37,67)		

^{*}Vida livre é um grupo de nematoides que pertencem a diversos gêneros, os quais não foram identificados nesse trabalho; †Valor médio (n = 24) ‡Desvio padrão.

Similar ao verificado na outra área de estudo, o gênero *Pratylenchus* apresentou uma população estatisticamente superior que os demais gêneros encontrados na área. Nematoides de vida livre apresentaram população similar àquela de *Meloidogyne*, e maior do que a população de *Helicotylenchus*. Já *Meloidogyne* e *Helicotylenchus* apresentaram populações similares (Figura 8 a).

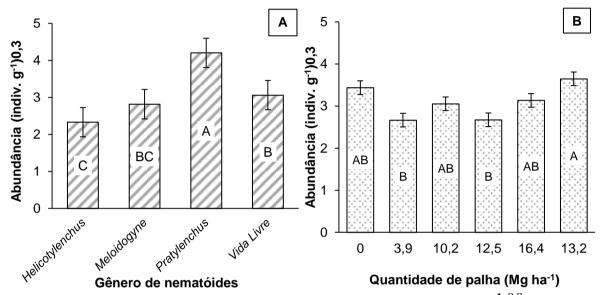


Figura 8 – Comparação da abundância de nematoides (indivíduos g⁻¹)^{0,3} das raízes de cana-de-açúcar entre os gêneros (A) e entre diferentes quantidades de palha mantidas sobre o solo (B), encontrados em área cultivada com cana-de-açúcar da unidade Univalem. *Médias seguidas por mesma letra não diferiram entre si pelo teste de Tukey (*p*<0,05). Barras de erros representam o erro padrão em relação à média.

Entre outros fatores, já citados anteriormente, pode se observar que o número de nematoides de vida livre nesse caso foi menor, o que pode estar relacionado à presença de *Meloidogyne javanica* nas raízes. Anteriormente uma hipótese para o grande número de vida livre na raiz estava vinculado à necrose causada pelo *Pratylenchus* e posteriormente a atração de nematoides de vida livre para se alimentarem dos microrganismos oportunistas presentes nos tecidos necrosados. Pois agora havia outra espécie potencialmente agressiva competindo pelo sítio de alimentação, o que resultou em tecidos necrosados, mas também na formação de galhas, ainda que no solo houvesse um nível populacional menor de *Meloidogyne* em relação à *Pratylenchus*. Dados revelam que para a maioria das cultivares de cana-de-açúcar, *Meloidogyne javanica* é mais patogênica do que *Pratylenchus zeae*,

e a existência dessas duas espécies importantes na área agrava os danos à cultura (DINARDO-MIRANDA, 2014). Os endoparasitos sedentários, *Meloidogyne javanica*, por exemplo, que se alojam na célula da raiz transformando-a em uma célula nutridora afetando a fisiologia da planta, são mais avançados em termos de parasitismo do que os endoparasitos migradores (EISENBACK, 1985).

A análise de variância realizada para a comunidade de nematoides em cada tratamento mostrou efeito significativo, apresentando maior abundância no tratamento 13,2 Mg ha⁻¹ de palha, e menores nos tratamentos 3,9 e 12,5 Mg ha⁻¹ de palha (Figura 8 b). As diferenças encontradas devem-se em sua maioria pelo alto nível populacional de *Pratylenchus* nas raízes. A alta comunidade no tratamento 13,2 Mg ha⁻¹, que representa a quantidade natural de palha decaída sob o solo no momento da colheita, ou seja, 100% de palha, não foi supressivo aos fitoparasitas e nem incrementou a comunidade de vida livre, que aliás o nível populacional desses se manteve relativamente homogêneo em todos os tratamentos de palha.

Muito pelo contrário, em relação ao *Pratylenchus* suas maiores abundâncias foram nas maiores concentrações de palha e também no tratamento sem palha. Isto pode ter ocorrido entre outros fatores, devido à palha ter mantido uma boa umidade na camada superficial do solo contribuindo para a sobrevivência/reprodução dos nematoides, já que estes vivem em filmes de água.

Porém como já foi dito, o curto período em que a palha se encontra depositada no solo, e sendo esta originada de apenas um corte da cana, pode ainda não estar gerando o efeito esperado. Ou seja, a supressão dos fitoparasitas e o incremento na comunidade dos nematoides de vida livre importantes na ciclagem de nutrientes para as plantas, entre outros benefícios, não foi observada. Assim, em relação à hipótese deste trabalho não se pode afirmar que a remoção da palha aumente a abundância dos fitoparasitas, pois a comunidade presente no tratamento sem palha é semelhante a do tratamento 13,2 e 16,4 Mg ha⁻¹ de acordo com a análise de variância (Figura 8 b).

Em um experimento na Austrália Stirling et al. (2005) encontraram um fungo predatório de nematoides apenas onde se havia deixado a palha de cana-de-açúcar no solo, podendo ser responsável pela supressão dos nematoides das lesões. Os autores ainda concluíram que como o ambiente era pobre em N devido à alta relação C/N da palha, o fungo se alimentava dos nematoides para se suprir de N. Assim, para que haja uma supressão dos fitoparasitos estes resíduos deveriam

possuir uma alta relação C/N, pois assim o N estaria imobilizado pela biomassa microbiana obrigando o fungo a se alimentar dos nematoides. Todavia a matéria orgânica no solo tem efeito sobre todos os organismos ali presentes e não se pode afirmar que um microrganismo como, por exemplo, o nematoide fitoparasita se sobressaia devido a grande interação existente entre todos os microrganismos (STIRLING et al., 2005).

De acordo com a hipótese, o que se esperava era que ao retirar a palha houvesse uma redução de C lábil no solo, fonte de alimento para os nematoides de vida livre, estes por sua vez iriam estar em baixos níveis e assim haveria poucos predadores para os fitoparasitos. A falta do resíduo vegetal diminuiria ainda a quantidade de matéria orgânica resultando em menores comunidades de microrganismos que predam nematoides, e ainda a redução da produção de substâncias nematicidas.

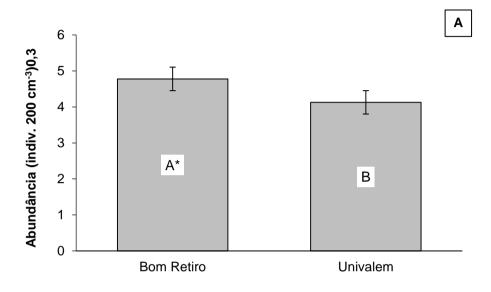
4.3 Comparações entre a comunidade de nematoide das áreas estudadas

Foi observada apenas na área experimental de solo textura arenosa a presença de *Meloidogyne javanica*. Assim como observado neste estudo, Cadet e Spaull (2003) ao compararem duas áreas de cultivos de cana-de-açúcar, encontraram como principal diferença qualitativa entre os dois locais a presença de *Meloidogyne javanica* em uma das áreas, e relacionaram este fato ao solo e ao efeito do ambiente. Os autores ainda atribuíram a maior perda de produtividade naquela área à presença de *M. javanica*. A textura, entre outros fatores, pode ter influenciado a ocorrência de *Meloidogyne javanica* na área de solo de textura arenosa em UV. Solos arenosos favoreceram o maior desenvolvimento e reprodução de *Meloidogyne javanica* em um experimento de soja (RINALDI; NUNES; MONTECELLI, 2014).

Diversos fatores bióticos e abióticos podem afetar a distribuição de nematoides em diferentes áreas, por exemplo, teor de matéria orgânica, salinidade, aeração do solo, temperatura e umidade (DINARDO-MIRANDA, 2014). Em relação às duas áreas o fator com maior potencial de afetar a distribuição e desenvolvimento está ligado à estrutura e textura do solo, pois em relação à temperatura e umidade das áreas ambos são semelhantes e estão dentro de faixas ideais (25-30°C) para

desenvolvimento e a reprodução de *Meloidogyne javanica* e *Pratylenchus zeae* (FERRAZ; BRONW, 2016).

Ao comparar a abundância de nematoides do solo entre as áreas estudadas, constatou-se que a mesma foi maior na unidade BR de solo de textura média do que na unidade UV de solo de textura arenosa (Figura 9 a).



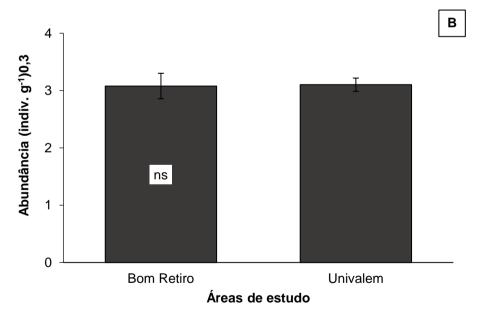


Figura 9 – Comparação da abundância de nematoides (indivíduos 200 cm⁻³)^{0,3} do solo (A) e raízes (B) entre as áreas cultivadas com cana-de-açúcar da unidade Bom Retiro e Univalem. *Médias seguidas por mesma letra não diferiram entre si pelo teste de Tukey (*p*<0,05); ns: não significativo. Barras de erros representam o erro padrão em relação à média.

Sabe-se que a densidade do solo de textura média era de 1,35 g cm⁻³ na camada de 0-20 cm e em UV, de solo de textura arenosa, a densidade na mesma

camada era de 1,57 g cm⁻³. De acordo com Miranda et al. (2012) a densidade do solo é crítica para a mobilidade e atividade dos nematoides podendo afetar a sobrevivência devido às limitações de oxigênio. Nematoides necessitam de um bom equilíbrio de macro e microporos que ofereçam umidade e oxigênio e permitam a locomoção e reprodução dos mesmos no solo.

Todavia, ao comparar a abundância de nematoides das amostras de raízes entre as áreas não foram observadas diferenças significativas (Figura 9 b). Esses resultados podem estar relacionados ao hospedeiro, uma vez que as variedades eram diferentes podendo apresentar algum tipo de tolerância e ou resistência aos nematoides. Além disso, as plantas liberam exsudatos no solo capazes de causar desorientação e/ou morte de fitonematoides. Em solos arenosos são frequentemente observadas maiores perdas sendo economicamente viável o uso de controle químico nas áreas (FERRAZ; BRONW, 2016; DINARDO-MIRANDA, 2014). Ou seja, apesar de mais baixa a densidade populacional no solo de UV a infestação nas raízes das duas áreas ainda foi semelhante.

Nematoides parasitas de plantas estavam presentes em alta densidade nos dois locais, porém espécies variaram de local para local, provavelmente porque cada espécie de nematoides tem preferência por solos de uma textura particular (BLAIR et al., 1999).

5 CONCLUSÕES

O manejo de remoção da palha de cana-de-açúcar não afetou a dinâmica populacional dos nematoides de solo. A abundância dos nematoides nas raízes de cana-de-açúcar em ambas as áreas avaliadas demonstraram diferenças significativas, todavia tal fato pode estar ligado também a outros fatores que não sejam somente a deposição de palha.

As espécies *Pratylenchus zeae* e *Meloidogyne javanica* devem ser monitoradas por se tratarem de nematoides prejudiciais à cana-de-açúcar devido à alta densidade encontrada nas áreas avaliadas.

Como base nos resultados obtidos, sugere-se que experimentos de mais longo prazo devem ser conduzidos para se avaliar o efeito da remoção da palha da cana-de-açúcar na comunidade de nematoides de solo e de raiz. Tais estudos poderão gerar subsídios para uma tomada de decisão integrada, considerando aspectos agronômicos, ambientais e econômicos, em relação à viabilidade do uso da palha de cana-de-açúcar para fins energéticos.

REFERÊNCIAS

- ARIEIRA, G. O. et al. Responses of free-living and plant-parasitic nematodes to sugarcane crop in two soils. **Revista Brasileira de Ciências Agrária**, Recife, v. 8, n. 4, p. 570-575, 2013.
- BELLÉ, C. et al. Fitonematoides associados à cultura da cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul, Brasil. **Nematropica**, Auburn, v. 44, n. 2, p. 207-217, 2014.
- BERNARD, E. C. Soil nematode biodiversity Ernest. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 14, n. 2, p. 99-103, 1992.
- BLAIR, B. L.; STIRLING, G. R.; WHITTLE, P. J. L. Distribution of pest nematodes on sugarcane in south Queensland and relationship to soil texture, cultivar, crop age and region. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v. 39, n. 1, p. 43-49, 1999.
- BONGERS, T.; BONGERS, M. Functional diversity of nematodes. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 10, n. 3, p. 239-251, 1998.
- BOTHA, F. C.; MOORE P. H. Biomass and Bioenergy. In: MOORE P. H.; BOTHA, F. C. **Sugarcane**: physiology, biochemistry, and functional biology. New Delhi: John Wiley & Sons, 2014. p. 521-540.
- BOX, G. E. P.; COX, D. R. An Analysis of Transformations. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B, Statistical methodology**, London, v. 26, n. 2, p. 211-252, 1964.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704 p.
- BRAUNACK, M. V.; ARVIDSSON, J.; HÅKANSSON, I. Effect of harvest traffic position on soil conditions and sugarcane (*Saccharum officinarum*) response to environmental conditions in Queensland, Australia. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 89, n. 1, p. 103-121, 2006.
- CADET, P.; SPAULL, V. W. Effect of nematodes on the sustained production of sugarcane in South Africa. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 83, n. 1, p. 91-100, 2003.
- CADET, P.; SPAULL, V. W. Nematode parasites of sugarcane. In: LUC, M.; SIKORA, R. A.; BRIDGE, J. (Ed.). **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. 2. ed. Wallingford: CABI International Publishing, 2005. p. 645-674.
- CARDOSO, M. O. et al. Comparing sugarcane fields and forest fragments: the effect of disturbance on soil physical properties and nematode assemblages. **Soil Use and Management**, Hoboken, v. 31, n. 3, p. 397-407, 2015.

- CARES, J. E.; HUANG, S. P. Nematóides de solo. In: MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL D. E. **Manual de biologia dos solos tropicais**: amostragem e caracterização da biodiversidade. Lavras: UFLA, 2010. p. 151-161.
- CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 249 p.
- CERRI, C. C. et al. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 62, n. 1, p. 23-28, 2011.
- CHEN, S. Y. et al. Plant-parasitic Nematode Communities and their Associations with Soil Factors in Organically Farmed Fields in Minnesota. **Journal of Nematology**, Hanover, v. 44, n. 4, p. 361-369, 2012.
- CHERUBIN, M. R.; KARLEN, D.L.; FRANCO, A. L. C.; TORMENA, C. A.; CERRI, C. E. P.; DAVIES, C. A.; CERRI, C.C. Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 267, p. 156-68, 2016.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana.** Safra 2016/17 Primeiro levantamento, Brasília, DF, v. 3, n. 1, p. 1-66, 2016. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_18_14_27_15_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_16.pdf. Acesso em: 06 set. 2016.
- COOLEN, W. A.; D'HERDE, C. J. A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue. Ghent: State Nematology and Entomology Research Station, 1972. 77 p.
- DINARDO-MIRANDA, L. L. Nematóides e pragas de solo em cana-de-açúcar. **Encarte do Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 110, p. 25-32, 2005.
- DINARDO-MIRANDA, L. L. et al. Efeito da torta de filtro sobre as infestações de nematoides e a produtividade da cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 27, n. 1, p. 61-67, 2003.
- DINARDO-MIRANDA, L. L. Manejo de nematóides e pragas de solo em cana-de açúcar. In: CAMPOS, A. P. et al. (Ed.). **Manejo integrado de pragas**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. p. 59-80.
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V. Sugarcane straw and the populations of pests and nematodes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 70, n. 5, p. 369-374, 2013.
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; GARCIA, V.; PARAZZI, V. J. Efeito de Inseticidas no Controle de Mahanarva fimbriolata (Stål) (Hemiptera: Cercopidae) e de Nematóides Fitoparasitos na Qualidade Tecnológica e na Produtividade da Cana-de-Açúcar. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n.4, p. 609-614, 2002.

- DINARDO-MIRANDA, L. L.; GIL, M. A.; MENEGATTI, C. C. Danos causados por nematoides a variedades de cana-de-açúcar em cana planta. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 27, n. 1, p. 69-74, 2003.
- EISENBACK, J. D. Interactions among concomitant populations of nematodes. In: SASSER, J. N.; CARTER, C. C. (Ed.). **An advanced treatise on** *Meloidogyne*. Raleigh: North Carolina State University, 1985. p. 193-213.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA EPE. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis Ano 2015**. Brasília, DF, 2016 Disponível em: http://www.epe.gov.br/Petroleo/Paginas/PaineldeBiocombust%C3%ADveis%E2%80%93Boletinsdean%C3%A1lisedeconjuntura.aspx. Acesso em: 09 set. 2016.
- FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. **Nematologia de plantas**: fundamentos e importância. Manaus: Norma Editora, 2016. 251 p.
- FRANCO, H. C. J. et al. How much trash can be removed from sugarcane field for energy production? Cali: Asociación Colombiana de Tecnicos de la Caña de Azúcar, 2012. v. 1, p. 385-396.
- FRECKMAN, D. W.; CASWELL, E. P. The Ecology of nematodes in agroecosystems. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 23, n. 1, p. 275-296, 1985.
- GÓMEZ, E. O. et al. A palha de cana-de-açúcar como matéria-prima para processos de segunda geração. In: CORTEZ, L. A. B. **Bioetanol de cana-de-açúcar**: P&D para produtividade e sustentabilidade. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2010. p. 637-659.
- GOULART, A. M. C. **Análise de dados em estudos de diversidade de nematoides**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. 46 p.
- HANDOO, Z. A. A. Key and diagnostic compendium to the species of the genus Tylenchorhynchus Cobb, 1913 (Nematoda: Belonolaimidae). **Journal of Nematology**, Hanover, v. 32, n. 1, p. 20-34, 2000.
- HANDOO, Z. A.; GOLDEN, M. A. A key and diagnostic compendium to the species of the genus Pratylenchus Filipjev. **Journal of Nematology**, Hanover, v. 21, n. 2, p. 202-218, 1989.
- HARTMAN, K. M.; SASSER, J. N. Identification of *Meloidogyne* species on the basis of differential host test and perineal-pattern morphology. In: BARKER, K. R.; CARTER, C. C.; SASSER, J. N. (Ed.). **An advanced treatise on** *Meloidogyne***.** II. *Methodology*. Raleigh: Department of Plant Pathology, North Carolina State University, 1985. p. 69-77.
- INOMOTO, M. M. Técnicas clássicas de identificação de nematoides. In: OLIVEIRA, C. M. G.; SANTOS, M. A.; CASTRO, L. H. S. (Org.). **Diagnose de fitonematoides**. Campinas: Millenium Editora, 2016. p. 255-276.

- JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, St. Paul, v. 48, p. 692, 1964.
- LORDELLO, L. G. E. **Nematóides das plantas cultivadas.** 6. ed. São Paulo: Nobel, 1981. 314 p.
- LISBOA, I. P.; CHERUBIN, M. R.; CERRI, C. C.; CERRI, D. G. P.; CERRI, C. E. P. Guidelines for the recovery of sugarcane straw from the field during harvesting. **Biomass and Bioenergy**, v. 96, p. 69-74, 2017.
- 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**, Recife, v. 7, p. 150-158, 2012.
- MOORE, P. H.; PATERSON, A. H.; TEW, T. Sugarcane: the crop, the plant, and domestication. In: MOORE P. H.; BOTHA, F. C. **Sugarcane**: physiology, biochemistry, and functional biology. New Delhi: John Wiley & Sons, 2014. p. 1-17.
- NOVARETTI, W. R. T.; TERAN, F. O. Controle de nematoides parasitos da cana-deaçúcar. In: REUNIÃO TÉCNICA AGRONÔMICA, 1983, Piracicaba. **Anais...** São Paulo: Copersucar, 1983. p. 16-24.
- NOVARETTI, W. R. T.; MONTEIRO, A. R.; FERRAZ, L. C. C. B. Controle químico de *Meloidogyne incognita* e *Pratylenchus zeae* em cana-de-açúcar com carbofuran e terbufos. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 22, n. 1, p. 60-73, 1998.
- OKA, Y. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments-A review. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 44, n. 2, p. 101-115, 2010.
- OLIVEIRA, M. W. et al. Degradação da palhada de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 803-809, 1999.
- OLIVEIRA, C. M. G.; SANTOS, M. A.; CASTRO, L. H. S. (Org.). **Diagnose de fitonematoides**. Campinas: Millenium Editora, 2016. 367 p.
- OTTO, R.; SILVA, A. P.; FRANCO, H. C. J.; OLIVEIRA, E. C. A.; TRIVELIN, P. C. O. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 117, p. 201-210, 2011.
- PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar**. Cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 431 p.
- RINALDI, L. K.; NUNES, J.; MONTECELLI, T. D. N. Efeito de texturas do solo sobre populações de *Meloidogyne javanica* e *Meloidogyne incognita* em soja. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 7, n. 1, p. 83-101, 2014.
- RITZINGER, C. H. S. P.; FANCELLI, M. Manejo integrado de nematóides na cultura da bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 331-338, 2006.

- ROMÁN, B.; HIRSCHMANN, H. Morphology and morphometrics of six species of Pratylenchus. **Journal of Nematology**, Hanover, v. 1, n. 4, p. 363-386, 1969.
- SANTOS, F. A. et al. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 5, p. 1004-1010, 2012.
- SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.
- SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 12. ed. Washington, DC: USDA Natural Resources Conservation Service, 2014. 360 p.
- SOUSA, C. C. M. et al. Influence of density of soil infested with nematode on initial growth of sugarcane. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 5, p. 475-479, 2014.
- STEVEN, A.; SUNDAY, S.; FISAYO, D. Biodiversity of plant-parasitic nematodes of sugarcane in Bacita, Nigeria. **Journal of Entomology and Nematology**, Nairobi, v. 6, n. 6, p. 71-79, 2014.
- STIRLING, G. R. et al. Factors associated with the suppressiveness of sugarcane soils to plant-parasitic nematodes. **Journal of Nematology**, Hanover, v. 43, n. 3-4, p. 135-148, 2011.
- STIRLING, G. R.; HALPIN, N. V.; BELL, M. J. A surface mulch of crop residues enhances suppressiveness to plant-parasitic nematodes in sugarcane soils. **Nematropica**, Auburn, v. 41, n. 1, p. 109-121, 2011.
- STIRLING, G. R.; MOODY, P. W.; STIRLING, A. M. The impact of an improved sugarcane farming system on chemical, biochemical and biological properties associated with soil health. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 46, n. 3, p. 470-477, 2010.
- STIRLING, G. R. et al. Amendments of sugarcane trash induce suppressiveness to plant-parasitic nematodes in a sugarcane soil. **Australasian Plant Pathology**, Melbourne, v. 34, n. 2, p. 203-211, 2005.
- SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Berkley, CA: University of California Press, 1979. 372 p. (Studies in Ecology, 5).
- TAYLOR, A. L.; SASSER, J. N. **Biology, identification and control of some root knot nematodes** (*Meloidogyne* **spp.**). Raleigh: Department of Plant Pathology, North Carolina State University, 1978. 111 p.
- TOKESHI, H. Doenças da cana-de-açúcar. In: KIMATI, H. et al. (Ed.). **Manual de fitopatologia**: Doenças das plantas cultivadas. 4. ed. São Paulo: Editora Ceres, 2005. p. 185-196.

TOPPA, E. V. B. et al. Physiology development in the vegetative stage of sugarcane. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Cascavel, v. 3, n. 2, p. 177-185, 2010.

UNIÃO DAS INDÚSTRIAS DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA. **Conquistas do setor sucroenergético na matriz energética brasileira**. São Paulo, 2016. Disponível em: http://www.unica.com.br/faq/. Acesso em: 20 ago. 2016.

YEATES, G. W. et al. Feeding-habits in soil nematode families and genera - An outline for soil ecologists. **Journal of Nematology**, Hanover, v. 25, n. 3, p. 315-331, 1993.

YEATES, G. W. Impact of historical changes in land-use on the soil fauna. **New Zealand Journal of Ecology**, Christchurch, v. 15, n. 1, p. 99-106, 1991.

YEATES, G. W.; BONGERS, T. Nematode diversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 74, n. 1-3, p. 113-135, 1999.