

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

Mariana Fereda Dossin

**AÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS SOB *Pratylenchus brachyurus*
E *Meloidogyne javanica* EM PLANTAS DE SOJA E TOMATE**

Santa Maria, RS
2020

Mariana Ferneda Dossin

**AÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS SOB *Pratylenchus brachyurus* OU
Meloidogyne javanica EM PLANTAS DE SOJA E TOMATE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Ciência do Solo**.

Orientador: Prof^a. Dra. Zaida Inês Antonioli

Santa Maria, RS
2020

Ferneda Dossin , Mariana
AÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS SOB *Pratylenchus*
brachyurus E *Meloidogyne javanica* EM PLANTAS DE SOJA E
TOMATE / Mariana Ferneda Dossin .- 2020.
112 p.; 30 cm

Orientadora: Zaida Inês Antonioli
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2020

1. Nematóide-das-galhas 2. Nematóide-das-lesões
radiculares 3. Compostos orgânicos 4. *Glycine max* 5.
Solanum lycopersicum I. Antonioli, Zaida Inês II.
Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

© 2020

Todos os direitos autorais reservados a **Mariana Ferneda Dossin**. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito da autora.

Endereço: Rua Benjamin Constant, Nº 930, Apto 308, Santa Maria, RS, Brasil.

CEP: 97.050-020

Fone (55) 9 9717 5454; E-mail: marianadossin@yahoo.com.br

Mariana Ferneda Dossin

**AÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS SOB *Pratylenchus brachyurus* E
Meloidogyne javanica EM PLANTAS DE SOJA E TOMATE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau **de Doutora em Ciência do Solo.**

Aprovada em 21 de fevereiro de 2020:

Zaida Inês Antonioli, Dra. (UFSM)
(Presidente/Orientadora)

Cristiano Bellé, Dr.
(Phytus)

Jansen Rodrigo Pereira Santos, Dr.
(UFSM)

Gerusa Pauli Kist Steffen, Dra.
(DDPA)

Maiara Figueiredo Ramires, Dra.
(UERGS)

Santa Maria, RS
2020

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Herenia Maria Ferneda Dossin e Milton Carlos Dossin, às minhas irmãs Francielly R. Dossin e Camila F. Dossin pelo amor incondicional, pelo cuidado, apoio e incentivo ao longo da minha formação pessoal e profissional.
Amo vocês imensamente.*

DEDICO E AGRADEÇO

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Herenia e Milton, pelo incentivo constante a batalhar pelos meus sonhos, por tornarem meus sonhos os seus, por me proporcionarem a oportunidade de estudar e me apoiarem na busca pelo conhecimento e crescimento pessoal, pelo amor, carinho e apoio incondicional em todos os momentos da minha vida. Vocês são minha base, meus exemplos de ser humano, e sem vocês nada disso seria possível. Boa parte dessa conquista devo a vocês.

Agradeço às minhas irmãs Francielly e Camila por toda atenção, carinho, paciência, conversar infinitas, ligações e suporte. Vocês são grandes exemplos na minha vida, meu amor por vocês é gigante e agradeço por ter vocês como minhas irmãs. Essa conquista tem um pedacinho de cada uma das duas. Agradecimento especial à Camila, pela nossa convivência diária, pelo suporte, carinho e incentivo.

Um agradecimento especial, ao Regis Felipe Stacke, por ser meu parceiro de vida e de trajetória. Por ser meu melhor amigo, meu incentivador, que esteve sempre presente nessa trajetória acadêmica e de crescimento pessoal intenso. Essa conquista tem um pedacinho de ti.

À professora Zaida Inês Antonioli, pela orientação e amizade, pelos ensinamentos científicos, acadêmicos, pelas trocas diárias de conhecimento, mas principalmente, pelo teu exemplo como mulher, mãe e pesquisadora. Sem dúvidas, sou uma mulher e profissional mais decidida e ciente do meu papel na sociedade. Te admiro muito.

Aos integrantes do laboratório de Biologia do Solo que estiveram presentes nesse período, Prof. Rodrigo Jacques, Antonio Bassaco, Lisiane Sobucki, Nariane de Andrade, Izabelli Romagna, Bruno Piovesan, Joice Freiberg, Maísa Wohleberg, Valdemir Bitencourt, Tiana Friederich, Leonardo Meireles, Rodrigo Ferraz, Darlyng Santos, Valeria Ortaça, Isis Siqueira, Reyllis Unfer e Isac Castro, pela convivência, ajudas, trocas de conhecimento e experiências. Um agradecimento especial ao Antonio, Lisiane, Joice e Nariane pela amizade, pelo apoio e carinho ao longo desses anos.

Ao Cristiano Bellé, Álvaro Berghetti Camila Tarouco, Natielo Santana, Jansen Santos, Anderson Marques e Bárbara Clasen por me auxiliarem em avaliações experimentais, análises estatísticas, revisões e contribuições do texto, para que esse trabalho fosse possível. Obrigada pelo auxílio, disponibilidade e parceria.

Também às colegas de Pós-Graduação Maiara e Elaine por disponibilizarem parte do trabalho de vocês para que o meu fosse desenvolvido.

Ao grupo de Pesquisa GEA, da Universidade de Vigo, Espanha, por me proporcionar um intercâmbio excelente, de muito conhecimento e experiências. Principalmente ao Professor Jorge Dominguez por ter me orientado, a Maria, Alberto, Hugo e Natalia, pelo aprendizado. Um agradecimento especial à Natalia pela amizade nesses 6 meses de Doutorado Sanduíche.

Às eternas chicas de la Calle Pino 108, Daniela, Dayanna e Nariane por toda amizade, companheirismo e compreensão nessa experiência que vivemos na Espanha.

Aos meus amigos, que sempre me apoiaram, me amaram e entenderam minhas ausências e faltas ao longo desse período. Agradeço imensamente ter vocês em minha vida, e sem a amizade de vocês, a minha vida seria muito vazia e sem cor. Em especial agradeço a Andrisa Balbinot, Letícia Frizzo, Elisa Gollo, Lívia Lese, Nátali Fortes, Bruna Fruet, Paula Sete, Bárbara Clasen, Débora Schreiner, Ingrid Cabreira, Taciara Horst, Daniely Vaz, Joscélina Vargas, Regina Stacke, Ivanete Batista, Regio Stacke, Daniela Godoy, Bruna Hettwer, Lethícia Neto, Olavo Palaoro, Izidora Ali, Reni e Geraldo Wobido, Leonardo Burtet, Magda Fonseca, Adriano Melo, Dayanna Nascimento, Clérison Perini, Maiquel Pes, Noly, Gómez, Julie Moriello e Ana Moriello Gómez que estiveram presentes e participaram de muitos momentos ao meu lado, me apoiando, brindando vitórias e amenizando os dias não tão bons ao longo desses anos de dedicação.

Aos meus amores de quatro patas, Belinha, Luna e Margot por todo amor sincero e inesgotável.

À amiga Estelita (*in memoriam*) por ser um exemplo de amor, força e coragem. Você jamais será esquecida. Nossa luta continua.

Aos funcionários do Departamento de Solos, principalmente Eunice e Héverton pelos serviços prestados, sempre dispostos e amigáveis.

À banca examinadora, Dr. Jansen Santo, Dr. Cristiano Bellé, Dra. Geresa Steffen, Dra. Maiara Ramires por aceitarem avaliar e colaborar com esse trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pelo conhecimento adquirido nas disciplinas, e momentos de troca de conhecimento.

À Universidade Federal de Santa Maria pela oportunidade de estudar em uma das melhores instituições de ensino desse país, que me proporcionou conhecimento, crescimento, amizades e lembranças ao longo desses 10 anos de minha formação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de Doutorado no Brasil e no Exterior.

Por fim, agradeço a Deus por todas as realizações, pela força que sempre encontrei para seguir em frente nos objetivos e sonhos, e principalmente pelas pessoas que tens colocado no meu caminho.

Muito obrigada!

“A adversidade pode ser uma benção”.

- Anne with an E

“ A vida fala coisas bonitas. Ela só precisa de bons ouvintes”.

- Autor desconhecido.

RESUMO

AÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS SOB *Pratylenchus brachyurus* OU *Meloidogyne javanica* EM PLANTAS DE SOJA E TOMATE

AUTORA: Mariana Fereda Dossin

ORIENTADORA: Prof^a Dra. Zaida Inês Antonioli

Tem-se poucas informações de pesquisa sobre a resposta agrônômica da aplicação de compostos orgânicos como fertilizantes na agricultura e na efetividade no desenvolvimento em culturas. A elucidação da ação desses compostos como potenciais agentes de supressão de fitopatógenos, como os nematoides, é de grande importância. Assim, o objetivo deste trabalho foi obter informações sobre a ação de fertilizantes orgânicos no desenvolvimento de plantas de soja e tomate, e sua ação na supressão dos fitonematoídeos *Pratylenchus brachyurus* e *Meloidogyne javanica*. Foram realizados três estudos. O Estudo 1 teve como objetivo principal caracterizar a ação de diferentes fertilizantes orgânicos na supressão do fitonematoídeo *Pratylenchus brachyurus* no desenvolvimento de plantas de soja. Foram testados os seguintes fertilizantes orgânicos em condições de casa de vegetação: esterco bovino curtido (EB), composto bovino (CB), vermicomposto bovino (VB) e composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) em relação à adubação mineral. A ação dos fertilizantes foi avaliada em relação à presença e reprodução de *P. brachyurus* na cultura da soja, e à produção de biomassa da cultura. O Estudo II, buscou determinar o efeito do composto bovino e do composto de frigorífico de abate de suínos na população de fitonematoídeos de *Meloidogyne javanica* no solo e nos danos às raízes de plantas de tomate. O Estudo III objetivou avaliar e caracterizar a ação de fertilizantes orgânicos nos parâmetros fisiológicos, trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* de plantas de soja. Para isso, foram comparados dois compostos orgânicos, composto bovino (CB) e composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) em relação à adubação mineral (AM). Foram realizadas avaliações de parâmetros de trocas gasosas e da fluorescência da clorofila *a*, além de matéria seca de parte aérea e raízes, em três estádios de desenvolvimento da cultura da soja, V4, R2 e R5. Como principais resultados, pode-se destacar que os fertilizantes orgânicos testados no estudo, promoveram incrementos de matéria seca de parte aérea e de raízes quando comparados ao adubo mineral, sendo considerados boas fontes de nutrientes e contribuíram de forma positiva para o desenvolvimento das plantas. Em relação à supressão do fitonematoídeo *P. brachyurus*, apenas os fertilizantes esterco bovino, composto bovino e vermicomposto bovino apresentaram resultados positivos. Com relação à supressão do fitonematoídeo *M. javanica*, não houve supressão pelos fertilizantes orgânicos testados em plantas de tomate.

Palavras-chave: Nematoídeo das galhas. Nematoídeo-das-lesões radiculares. Composto. Bovino. Suíno. *Glycine max*. *Solanum lycopersicum*.

ABSTRACT

ORGANIC FERTILIZERS ACTION ON *Pratylenchus brachyurus* OR *Meloidogyne javanica* IN SOYBEAN AND TOMATO PLANTS

AUTHOR: Mariana Ferneda Dossin

ADIVISOR: Prof^ª Dra. Zaida Inês Antonioli

There is little research information on the agronomic response to the application of organic compounds as organic fertilizers in agriculture and in the effectiveness of crop development. The elucidation of the action of these compounds as potential agents to suppress phytopathogens, such as nematodes, is of great importance. Thus, the objective of this work was to obtain information about the action of organic fertilizers in the development of soybean and tomato plants, and their action in the suppression of the plant parasitic nematodes *Pratylenchus brachyurus* and *Meloidogyne javanica*. Three studies were carried out. The main objective of Study 1 was to characterize the action of different organic fertilizers in suppressing the *P. brachyurus* in the development of soybean plants. The residues of cattle manure (CM), cattle compost (CC), cattle vermicompost (CV) and slaughterhouse swine compost (SSC) were tested for mineral fertilization in a greenhouse. The action of organic fertilizers was evaluated in relation to the presence and reproduction of *P. brachyurus* in the soybean crop and the production of the crop's biomass. The Study II investigated the effect of the cattle compost compound and the slaughterhouse swine compost on the population of *M. javanica* on the soil and on the damage to tomato roots. And, the Study III evaluated and characterized the action of organic fertilizers on the physiological parameters, gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence of soybean plants. For that, two organic composts were used, cattle compost (CC) and slaughterhouse swine compost (SSC) in relation to mineral fertilization. In addition evaluated to dry matter of shoots and roots, in three stages of development of soybean plants, V4, R2 and R5. The main results, it can be highlighted that the organic fertilizers tested in all studies, promoted increases in dry matter of shoots and roots when compared to mineral fertilizer, being considered good sources of nutrients and contributed positively to the development of plants. For suppression of the *P. brachyurus*, only fertilizers made from cattle manure based, cattle compost and cattle vermicompost showed positive results. In the suppression of the *M. javanica*, there was no suppression by organic fertilizers tested in tomato plants.

Key-words: Root knot nematodes. Root lesion nematode. Compost. Bovine. Swine. *Glycine max.* *Solanun liconpersycum.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1. Ciclo de desenvolvimento do nematoide das galhas, *Meloidogyne* sp. J1: juvenil de primeiro estágio (interior do ovo); J2: juvenil de segundo estágio (fase móvel); J3: juvenil de terceiro estágio; J4: juvenil de quarto estágio. (Adaptado de Castagnone-Sereno et al. (2013)).

..... 18

Figura 2. Ciclo de vida do gênero *Pratylenchus* sp. em ilustração de raiz seccionada longitudinalmente evidenciando parasitismo por espécimes no interior do córtex (Adaptado de Ferraz e Brown (2016)).

..... 21

ARTIGO 1

Figure 1. Root dry matter, number of present nematodes to root gram and reproduction factor of *Pratylenchus brachyurus* in soybean plants (NR 5909) submitted to different organic fertilizers 90 days after inoculation of *P. brachyurus* in the green house conditions. CM- cattle manure; CV- cattle vermicompost; CC- cattle compost and SSC- slaughterhouse swine compost.

..... 51

Figure 2. Soybean plants submitted to different organic fertilizers, 90 days after inoculation of *Pratylenchus brachyurus* in the green house conditions. CM- cattle manure; CV- cattle vermicompost; CC- cattle compost and SSC- slaughterhouse swine compost.

..... 52

ARTIGO 2

Figura 1. Estádios de desenvolvimento de *Meloidogyne javanica* em raízes de plantas de tomate, ao longo de 30 dias de cultivo em condições de casa de vegetação, com a adição de composto bovino e composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos e adubação mineral.

..... 72

Figura 2. Desenvolvimento de *Meloidogyne javanica* em raízes de plantas de tomate, ao longo de 30 dias de cultivo em condições de casa de vegetação, com a adição de composto bovino (CB) e composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM).

..... 73

Figura 3. Desenvolvimento de plantas de tomate, sob ação de *Meloidogyne javanica* e compostos orgânicos em condições de casa de vegetação com a adição de composto bovino (CB) e composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM).

..... 74

ARTIGO 3

Figura 1. Massa seca da parte aérea e raiz de soja (cultivar NIDERA 5909), cultivadas por 60 dias sob ação de composto orgânico bovino (CB), composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM) em casa de vegetação. Médias seguidas pela mesma letra diferem entre si pelo teste Scott-knott com $p < 0.05$.

..... 96

Figura 2. Projeção das variáveis fluorescência inicial (F_0); fluorescência máxima (F_m), rendimento quântico máximo potencial do PSII (F_v/F_m); taxa de transporte de elétrons (ETR); eficiência quântica efetiva do PSII ($Y(II)$); condutância estomática de vapores de água (G_s); taxa fotossintética (A); concentração interna de CO_2 (C_i); taxa transpiratória (E) e eficiência do uso da água (EUA); Teores de matéria orgânica (M_o) e nutrientes, Nitrogênio (N), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Ferro (Fe), Sódio (Na), Boro (B), Manganês (Mn); em função dos fertilizantes composto orgânico bovino (CB), composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM) nos estádios V4, V8 e R5.1.

..... 96

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Table 1. Chemical analysis of organic fertilizers, cattle manure (CM); cattle vermicompost (CV); cattle compost (CC); Slaughterhouse swine compost (SSC), used in this study for fertilization of soybean plants under greenhouse conditions.....50

Table 2. Presence of *Pratylenchus brachyurus* 21 days after inoculation in soybean (NR 5909, Nidera) plants treated with organic fertilizers under greenhouse conditions. 51

ARTIGO 2

Tabela 1. Análise química dos compostos orgânicos, composto bovino (CB) e composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) utilizados no experimento, em 100 gramas de amostra. 71

Tabela 2. Desenvolvimento de *Meloidogyne javanica* em tomateiro, até 30 dias após inoculação dos nematoides (DAI), sob ação de composto bovino (CB), composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM) em condições de casa de vegetação. 71

Tabela 3. Parâmetros vegetativos e nematológicos em tomateiros cultivados com composto bovino (CB), composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM), 60 dias após a inoculação de *Meloidogyne javanica*, em condições de casa de vegetação. 72

ARTIGO 3

Tabela 1. Composição química e quantidades adicionadas do composto orgânico bovino (CB), composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM) testados em relação aos valores orientadores, segundo Brasil (2016)..... 94

Tabela 2. Taxa fotossintética (A), condutância estomática (Gs), taxa de transpiração (E), concentração intercelular de CO₂ (Ci) e eficiência do uso da água (EUA) de plantas de soja (NIDERA 5909) cultivadas por 60 dias com composto orgânico bovino (CB), composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM) em casa de vegetação. 95

Tabela 3. Taxa de transporte de elétrons (ETR_m), fluorescência inicial (Fo), eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm) e eficiência quântica efetiva do fotossistema II (Y (II)), de plantas de soja (NIDERA 5909) cultivadas por 60 dias com composto orgânico bovino (CB), composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM) em casa de vegetação..... 95

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 FITONEMATOIDES	14
2.1.1 Nematóide das galhas: <i>Meloidogyne sp.</i>	16
2.1.2 Nematóide-das-lesões radiculares: <i>Pratylenchus sp.</i>	19
2.2 ALTERNATIVAS PARA O CONTROLE DE NEMATOIDES	22
2.3 POTENCIAL DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS SOBRE FITONEMATOIDES.....	25
3 ARTIGO 1	29
<i>Pratylenchus brachyurus</i> suppression by organic fertilizers and the development of soybean plants.	29
4 ARTIGO 2	53
Compostos orgânicos e reprodução de <i>Meloidogyne javanica</i> em tomateiro	53
5 ARTIGO 3	75
Eficiência fotossintética de plantas de soja pelo uso de fertilizantes orgânicos	75
6 DISCUSSÃO GERAL	97
7 CONCLUSÕES	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos orgânicos correspondem a mais de 50% do total de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil. Podem ter diversas origens, como doméstica ou urbana (restos de alimentos e podas), agrícola ou industrial (resíduos de agroindústria alimentícia, indústria madeireira, frigoríficos, entre outros), de saneamento básico (lodos de estações de tratamento de esgotos), que quando somados, geram anualmente 800 milhões de toneladas de resíduos orgânicos (PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2010).

A disposição inadequada de resíduos orgânicos no solo pode acarretar em contaminações de solo com metais pesados, com organismos patogênicos, podendo também ocorrer contaminação dos mananciais hídricos por lixiviação ou carregamento pela chuva (COSTA et al., 2012). A resolução N° 481, de 03 de outubro de 2017 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2017) estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental dos processos de estabilização de resíduos orgânicos para sua utilização como fertilizantes. Essa resolução visa à proteção do meio ambiente e busca reestabelecer o ciclo natural da matéria orgânica e seu papel natural de fertilizar os solos.

Os processos de compostagem, vermicompostagem e a biodigestão buscam criar as condições para que uma vasta gama de organismos decompositores presentes na natureza possa degradar e estabilizar os resíduos orgânicos, em condições controladas e seguras para a saúde humana. A adoção desses processos de tratamento resulta na produção de fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo, que promovem desde a reciclagem de nutrientes, a proteção do solo contra erosão, diminuindo a necessidade de fertilizantes minerais (COTTA et al., 2015).

A nutrição das plantas é um fator de extrema importância. Se um dos elementos químicos essenciais ao desenvolvimento vegetal não estiver disponível em quantidade suficiente ou estiver presente em combinações químicas de difícil absorção, a deficiência desse elemento causará interrupções nos processos metabólicos das plantas (SANTANA-GOMES et al., 2013). A ocorrência de deficiências nutricionais, bem como os efeitos fitotóxicos de concentrações excessivas de certos nutrientes/elementos, destacam a importância do manejo da nutrição para o metabolismo vegetal (TAIZ; ZEIGHER, 2017). De maneira geral, a incidência de doenças e pragas está intimamente relacionada ao estado nutricional das plantas (AGRIOS, 2005).

No Brasil, o clima tropical associado à agricultura basicamente intensiva, fundamentada na sucessão e no monocultivo de culturas suscetíveis, como a cultura da soja, tem colaborado para o agravamento de problemas fitossanitários, limitando a produção agrícola de diversas

culturas anualmente. Grande parte dessa problemática está associada à degradação do solo, à ausência de rotação de culturas e a desequilíbrios nutricionais, propiciando ambientes mais favoráveis à incidência de pragas e patógenos (FIGUEIREDO, 2013) gerando consideráveis perdas de produtividade.

Dentre os problemas fitossanitários, os fitonematoides se destacam como prioritários, representando um grande desafio para a pesquisa, a assistência técnica e os produtores (FERRAZ et al., 2010). A dificuldade no manejo de fitonematoides está atrelada à ampla gama de hospedeiros, somado à ausência de cultivares resistentes, e aos métodos de controle pouco eficientes. Também, a grande diversidade de fitonematoides adaptados aos diferentes climas, culturas e solos dificultam o controle, resultando em elevadas perdas de produtividade. As espécies dos gêneros *Meloidogyne* sp. e *Prathylenchus brachyurus* ocupam o primeiro e o segundo lugar em relação à impactos econômicos nacionais e mundiais. Estas espécies têm ocasionado perdas estimadas de mais de 20% a 80% na produção de grandes culturas conforme relatado por diversos autores (MOENS et al., 2009; FERRAZ et al., 2010; NAZARENO et al., 2010; BELLÉ et al., 2017; SCHMITT et al., 2018; DEBIA et al., 2019).

O controle químico é o método mais frequentemente empregado para o manejo de fitonematoides, o qual além de não apresentar a desejada eficiência, traz inconvenientes, visto o alto custo dos produtos, a extrema toxicidade e persistência no ambiente. Ainda, possuem amplo espectro de ação, representando, assim, altos riscos a outros organismos e ao ambiente, podendo contaminar águas subterrâneas e ainda prejudicar a saúde do aplicador (MC SORLEY et al., 1998). Por essas razões, os atuais nematicidas químicos vêm apresentando grandes restrições de uso em muitos países. Assim, torna-se necessário o desenvolvimento de métodos alternativos de controle dos fitonematoides, menos prejudiciais aos agroecossistemas, mais viáveis economicamente, com maior facilidade de implementação.

Existem diversos métodos de controle alternativo de fitonematoides em estudo, com base em resistência genética, em métodos físicos, biológicos e culturais (AKHTAR, 2000). Porém, muitas destas alternativas apresentam uma eficiência relativamente baixa e/ou possuem dificuldade de implementação, devido principalmente à degradação do solo, estabilidade no manejo e altos custos de produção. Dentre os métodos supracitados, a adubação orgânica tem se apresentado como um método de grande potencial para o controle alternativo de nematoides, pois apresenta, na sua grande maioria, facilidade de implementação, viabilizando a reutilização de subprodutos, além de preservar os recursos naturais e reduzir os custos da produção.

Anualmente, são gerados grandes volumes de subprodutos agrícolas e agroindustriais, considerados resíduos, muitos dos quais podem ser reutilizados como fertilizantes orgânicos. A

adubação orgânica apresenta-se, como uma alternativa viável do ponto de vista ambiental e econômico, quando comparada a adubação química. Sabe-se que muitas das alterações que ocorrem no solo após a adubação orgânica, proporcionam além do aumento da disponibilidade de nutrientes, mudanças no ambiente que promovem a redução da densidade populacional de fitonematoides (ABAWI; WIDMER, 2000; LAZAROVITS et al., 2001; OKA, 2010; SANTANA-GOMES et al., 2013).

Diferentes fontes de matéria orgânica têm sido testadas, visando o controle de fitonematoides como resíduos da atividade leiteira como esterco bovino, da criação de aves como a cama de aviário, de atividades agroindustriais como resíduos de frigoríficos de suínos ou curtumes (OKA et al., 2010; NAZARENO et al., 2010; BERNARDO et al., 2011; ASMUS; NUNES, 2014; DEBIA et al., 2019). A adição de matéria orgânica fornece aos habitantes do solo uma nova fonte de energia que resulta em um aumento da diversidade e atividade microbiológica no solo. Muitos destes organismos e/ou seus metabólitos são benéficos para o crescimento das plantas (SCHIPPERS et al., 1988; OKA et al., 2010; SANTANA-GOMES et al., 2013) e/ou agentes de biocontrole, como fungos, bactérias, nematoides de vida livre, que controlam fitopatógenos, incluindo nematoides (VIAENE; ABAWI, 1998; AKHTAR; MALIK, 2000; CHEN et al., 2004).

As alterações provocadas no solo pela adição de material orgânico são muito complexas, e variam ao longo do tempo, devido as numerosas substâncias químicas formadas, e suas diferentes composições (STIRLING, 1991). As inúmeras reações que ocorrem podem desencadear alterações químicas, físicas e biológicas podendo ser promissoras para o controle biológico de microrganismos patogênicos no ambiente edáfico. Diante do exposto, há necessidade de elucidação do comportamento de diferentes resíduos orgânicos, adicionados ao solo como fertilizantes, para o entendimento das suas ações sobre e efeitos inibitórios em fitonematoides. Ainda, tem-se poucas informações sobre a resposta agrônômica da aplicação desse método de adubação e da sua efetividade em diferentes culturas, bem como sobre a indução da resistência aos estresses causados por fitopatógenos e as respostas fisiológicas promovidas na planta.

O entendimento do metabolismo vegetal é importante para a avaliação da sanidade e nutrição das plantas, e muitas alterações verificadas na parte aérea vegetal podem estar relacionadas distúrbios nutricionais. Estas avaliações são possíveis de medição por meio de estudos dos parâmetros da fluorescência da clorofila *a* e da fotossíntese. Essas análises permitem mensurar possíveis alterações no metabolismo vegetal, antes mesmo da observação de alterações nos atributos morfológicos ou perdas na produtividade (BAKER, 2008). A

compreensão dos mecanismos envolvidos no controle de fitonematoides em solos agrícolas é essencial para o aprimoramento de estratégias mais dinâmicas, visando à obtenção da máxima eficiência de controle. A atividade nematicida da matéria orgânica no solo necessita de estudos específicos para a compreensão dos efeitos nematicidas e/ou nematostáticos, bem como do monitoramento das mudanças promovidas no solo e nos parâmetros fisiológicos vegetais.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Obter informações da ação de fertilizantes orgânicos, esterco bovino, composto bovino, vermicomposto bovino e composto de resíduos de frigorífico de suínos, no desenvolvimento de plantas de soja e tomate e na supressão dos fitonematoides *Pratylenchus brachyurus* e *Meloidogyne javanica*.

1.2.2 Objetivos específicos

Caracterizar a ação de fertilizantes orgânicos, esterco bovino, composto e vermicomposto bovino e composto de resíduos de frigorífico de suínos na supressão do fitonematoide *Pratylenchus brachyurus* no desenvolvimento de plantas de soja e na composição química do solo.

Determinar o efeito do composto bovino e do composto de frigorífico de abate de suínos na população de fitonematoides *Meloidogyne javanica* no solo e nos danos as raízes de plantas de tomate.

Avaliar e caracterizar a ação de fertilizantes orgânicos composto bovino e composto de resíduos de frigorífico de suínos nos parâmetros fisiológicos, trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*, de plantas de soja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FITONEMATOIDES

Os nematoides são animais invertebrados e constituem o mais abundante grupo de animais multicelulares em número de indivíduos no universo, estimado em um milhão de

espécies (VIGLIERCHIO, 1991). A grande maioria dos nematoides tem formato filiforme, são animais aquáticos, e podem ser encontrados em oceanos e rios, e em qualquer tipo de solo, desde que exista umidade suficiente para sua sobrevivência. Tem-se uma estimativa de que exista mais de um milhão de espécies, contudo, até o momento, somente cerca de 20 mil espécies foram descritas. Os nematoides podem ser divididos em quatro grandes grupos, sendo parasitas de plantas (10%), nematoides parasitas de animais (15%), nematoides de vida livre de solo e de água doce (25%) e nematoides de vida livre marinhos (50%) (FERRIS et al., 2001).

Os fitonematoides, são seres microscópicos, geralmente de formato filiforme, medindo de 0,2 mm a 12 mm de comprimento (*Tubixaba tuxaua*), e como dificilmente podem ser vistos a olho nu, são frequentemente denominados “inimigos invisíveis das plantas”. Os nematoides são capazes de colonizar praticamente todos os tipos de ambientes que apresentem saturação mínima de água. Embora apresentem certa dependência hídrica, muitas espécies desenvolveram mecanismos ou estruturas de resistência que os capacitam a tolerar perdas graduais de água e a preservar seus fluidos corporais mesmo quando expostos a condições bastante adversas por tempo prolongado (DIAS et al., 2010; FERRAZ; BROWN, 2016).

Estes microrganismos são altamente diversificados, incluindo formas, hábitos alimentares e diferentes papéis ecológicos no solo, sendo separados em dois grandes grupos: os nematoides de vida livre e parasitas. Os nematoides de vida livre, desempenham papel de biocontroladores, podendo se alimentar de fungos, bactérias, protozoários, algas e outros nematoides (FERRAZ; BROWN, 2016). Por outro lado, os nematoides parasitas causam doenças em animais e vegetais. Na agricultura, os nematoides parasitas de plantas ou fitonematoides, representam aproximadamente 15% das espécies de nematoides descritas (FERRIS et al., 2001), causando danos em culturas agrícolas de grande importância econômica.

Os fitonematoides parasitam preferencialmente órgãos subterrâneos como raízes, tubérculos, rizomas ou frutos hipógeos. Entretanto, algumas espécies podem parasitar órgãos aéreos da planta, como caule, folhas, frutos/sementes. A alimentação destes parasitas ocorre por meio do estilete bucal, em que, de modo geral, injeta secreções produzidas por glândulas esofagianas no citoplasma das células da planta hospedeira, objetivando degradação e solubilização do conteúdo celular para posterior ingestão. As secreções enzimáticas, injetadas pelo nematoide, induzem alterações químicas no conteúdo citoplasmático das células da planta hospedeira.

Estes eventos traduzem-se em várias respostas nas plantas parasitadas, muitas das quais de caráteres fisiológico e morfológico, como o aumento de tamanho das células do córtex (hipertrofia celular) acompanhado, algumas vezes, do aumento do número de células

(hiperplasia celular). Assim, os danos causados pelo parasitismo resultam no desenvolvimento inadequado da parte aérea das plantas, decorrentes de dificuldades na absorção e no transporte de água e nutrientes disponíveis no solo (DIAS et al., 2010; FERRAZ et al., 2010; FERRAZ; BROWN, 2016), promovendo a redução do dossel vegetativo. Frequentemente são observadas manchas, ditas como “reboleiras” de plantas subdesenvolvidas, geralmente exibindo acentuadas cloroses e até necroses de raízes, tornando-se mais predispostas ao ataque de outras pragas e doenças (GOULART, 2008).

Estima-se que as perdas econômicas na produção agrícola mundial, devido ao ataque de fitonematoides, são próximas a US\$ 150 bilhões (SINGH et al., 2013). No Brasil, de acordo com a Sociedade Brasileira de Nematologia, as perdas atingem mais de 35 bilhões de reais. Com base nestes dados, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), no ano de 2015, inseriu quatro espécies de fitonematoides na lista de pragas consideradas de maior risco fitossanitário para o agronegócio, *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne incognita*, *Pratylenchus brachyurus* e *Heterodera glycine*, evidenciando a importância da busca por alternativas mais modernas e sustentáveis, visando a redução da resistência genéticas desses fitopatógenos, devido ao uso repetido dos mesmos mecanismos de ação.

2.1.1 Nematóide das galhas: *Meloidogyne* sp.

As espécies do gênero *Meloidogyne* constituem o grupo economicamente mais relevante dentre os fitonematoides, em função do alto grau de polifagia, principalmente devido à grande variedade de hospedeiros, que podem exceder 3.000 espécies de plantas silvestres e cultivadas (HUSSEY; JANSSEN, 2002; MOENS; PERRY, 2009) e da ampla distribuição geográfica. A presença e interferência desses fitonematoides nas áreas agrícolas é responsável por causar limitações aos sistemas de cultivo, refletindo em perdas de produtividade e qualidade dos produtos resultantes (DIAS et al., 2010; BELLÉ et al., 2019). Nas áreas de plantio do Brasil, espécies do gênero *Meloidogyne* encontram-se amplamente disseminadas devido a condições de umidade e temperatura ideais para sua reprodução e alimentação (BRUINSMA, 2013). Apresentando difícil controle, tem causado danos severos tanto em culturas anuais quanto em perenes, incluindo soja, café, tomate, videira, cana-de-açúcar e pepino (MOENS; PERRY, 2009; BELLÉ et al., 2017; SCHMITT et al., 2018). Mais de 100 espécies de *Meloidogyne* spp. foram descritas até o momento (JONES et al., 2013), dentre estas, as espécies *M. arenaria*, *M. hapla*, *M. incognita* e *M. javanica* se destacaram como as mais cosmopolitas, polífagas e

daninhas à agricultura, sendo que as duas últimas são consideradas as mais importantes do ponto de vista econômico em todo o mundo (BRITO et al., 2008; FERRAZ; BROW, 2016).

Os danos causados por esse gênero são severos e intensos. O parasitismo provoca redução na translocação de solutos para a parte aérea, desencadeando distúrbios fisiológicos na planta. Ao penetrarem no sistema radicular, os nematoides induzem a formação de estruturas denominadas de galhas, que são respostas fisiológicas da planta (hipertrofia/hiperplasia). A intensidade e a severidade dos danos relacionam-se com a densidade populacional dos nematoides, condições de cultivo (cultura, cultivares), interação com outros patógenos e também do ambiente edafoclimático, especialmente umidade, densidade e temperatura do solo (MOENS; PERRY, 2009; FERRAZ et al., 2010; FERRAZ; BROW, 2016).

A habilidade de sobrevivência/persistência do nematoide no solo, é uma característica fundamental para alta incidência do gênero, que devido ao estado de dormência permanece viável frente à inexistência da planta hospedeira. Estudos relatam que na ausência de plantas hospedeiras o nematoide-das-galhas pode sobreviver de 6 a 12 meses no solo, devido ao processo conhecido por diapausa ou dormência (GALBIERI et al., 2016). A agregação, ou formação da larva 'dauer', confere relativa resistência às diferentes variações climáticas. Sob estresse ambiental, os nematoides podem sobreviver em estado de quiescência temporária e entrar em anidrobiose ou outros estados extremos que permitem sua prolongada sobrevivência. Uma proporção substancial de nematoides possui esses estádios inativos para sobrevivência diante de condições adversas (McSORLEY, 2003). Essa capacidade de sobrevivência dos nematoides é de extrema importância para entender fenômenos de epidemias e dispersão de nematoides sob condições de adversidade ambiental e vegetal.

A duração do ciclo biológico é dependente de fatores como umidade, temperatura, planta hospedeira, textura do solo, entre outros. Sob condições favoráveis, para a maioria das espécies, um ciclo é completado a cada três e quatro semanas, ou até menos, como ocorre comumente no Brasil (FERRAZ et al., 2010; FERRAZ; BROW, 2016). O ciclo completo do desenvolvimento desse nematoide encontra-se esquematizado na figura 1. O ciclo tem início com a oviposição das fêmeas em aglomerados gelatinosos (de composição glicoproteica), protegendo-os contra estresses ambientais e predadores (MOENS et al., 2009). Cada fêmea deposita de 400 a 500 ovos, sendo que as massas de ovos são geralmente encontradas na superfície das galhas radiculares, embora possam também ser encontradas dentro do tecido radicular.

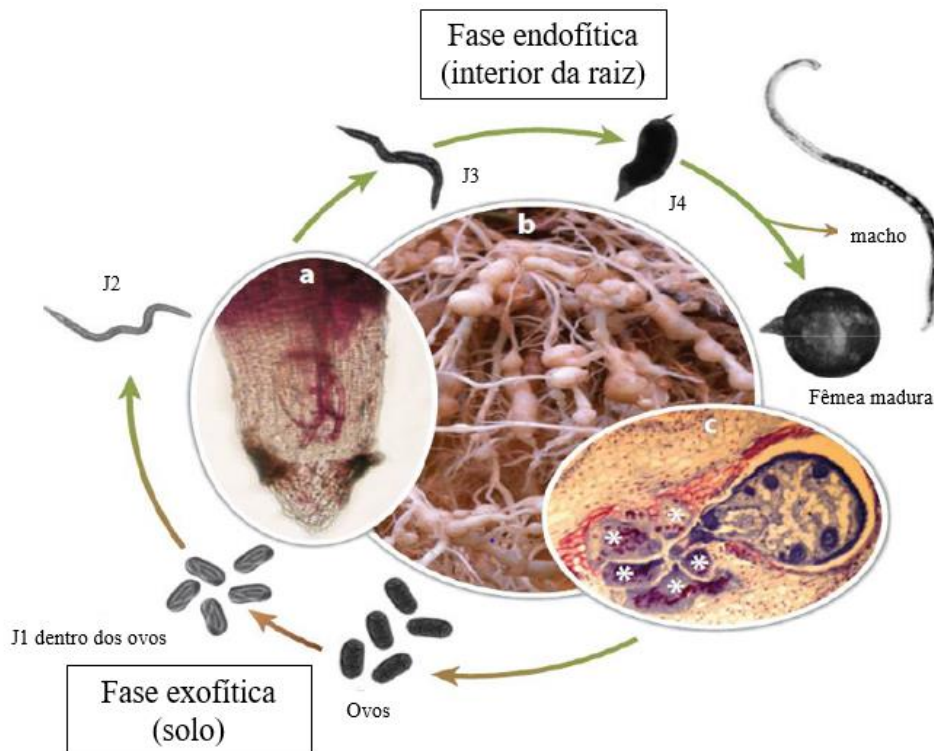


Figura 1. Ciclo de desenvolvimento do nematoide das galhas, *Meloidogyne* sp. J1: juvenil de primeiro estágio (interior do ovo); J2: juvenil de segundo estágio (fase móvel); J3: juvenil de terceiro estágio; J4: juvenil de quarto estágio. (Adaptado de Castagnone-Sereno et al. (2013)).

A fase de ovo é engloba um estágio juvenil (J1) e após a eclosão é seguida por tr estádios juvenis (J2 a J4) até a maturidade sexual, fêmea e macho (em algumas espécies). Na fase de ovo, o nematoide sofre a primeira ecdise, sendo um juvenil de primeiro estágio (J1) ainda dentro do ovo. Atraídos por exsudatos radiculares das plantas (sinais químicos), os juvenis de segundo estágio (J2) eclodem, com ajuda do estilete. A fase de J2 é caracterizada por juvenis de alta mobilidade, sendo considerada a fase infestante do nematoide (ABAD et al., 2009). Os J2 penetram nas raízes de plantas hospedeira, geralmente pelas extremidades, e atravessam o parênquima cortical, migrando em direção à região do córtex (TIHOHOD, 2000). O hábito sedentário inicia após formação de um sítio de alimentação, geralmente junto à endoderme ou ao periciclo denominado sincítio. Após estabelecimento no sincítio, injetam secreções esofagianas nas células através do estilete. Essas secreções induzem a processos de hipertrofia nas células do vegetal. Devido a essas alterações de tamanho, essas células são denominadas de células gigantes e são essenciais à alimentação e ao desenvolvimento dos nematoides. Após a formação da célula gigante, os nematoides permanecem injetando continuamente toxinas para sua alimentação do material exsudado pelas células (MONTEIRO et al., 1995; MOENS, et al., 2009; FERRAZ; BROWN, 2016). Ainda concomitantemente à formação das células gigantes, as substâncias injetadas pelos nematoides, promovem processos de hiperplasia, onde ocorre

aumento no número e no tamanho das células. Então, as células do córtex aumentam e consequentemente as raízes engrossam, formando a galha, que é o sintoma amplamente conhecido pelos nematoides do gênero *Meloidogyne* (LORDELLO, 1984; MOENS et al., 2009; FERRAZ; BROWN, 2016; GALBIERI et al., 2016).

Esse gênero de nematoides apresenta dimorfismo sexual acentuado, em que as fêmeas adultas apresentam corpo globoso, periforme ou em forma de saco, e hábito de parasitismo sedentário. Os machos apresentam corpo vermiforme e habitam o solo. As diferenças no formato corporal ocorrem durante o desenvolvimento pós-embriônico (MOENS et al., 2009). Em relação à reprodução desse gênero, dois modos são conhecidos, a anfimixia e partenogênese. Nas espécies anfimíticas, os machos são frequentes e ativos sexualmente, ou seja, se movem na busca de fêmeas e copulam ao encontrá-las. Já nas espécies que se reproduzem por partenogênese mitótica obrigatória, machos normais (com um só testículo) são bem raros. Entretanto, sob condição de superpopulação devido a algum tipo de estresse, machos atípicos – apresentando dois testículos - podem se tornar numerosos em tais espécies, sendo resultantes de processo de reversão sexual ocorrente em juvenis femininos ainda não completamente desenvolvidos (TIHOHOD, 2000; MOENS et al., 2009; FERRAZ; BROWN, 2016).

2.1.2 Nematóide-das-lesões radiculares: *Pratylenchus* sp.

O gênero de nematóide-das-lesões radiculares, *Pratylenchus* sp, ocupa o segundo lugar em relação à impactos econômicos nacionais e mundiais. Esse gênero de fitonematóide é reconhecido mundialmente como uma das principais restrições de culturas de importância econômica, incluindo soja, banana, cereais, café, milho, hortaliças e frutíferas (CASTILLO; VOVLAS, 2007). O sucesso do parasitismo e desenvolvimento dessa espécie de fitonematóides não se deve apenas à ampla variedade de hospedeiros, mas também à distribuição em quase todos os ambientes, desde as zonas temperadas até as tropicais (GOULART, 2008). A espécie de nematoides *Pratylenchus brachyurus* tem ocasionado perdas estimadas de mais de 20% na produção de soja no Brasil, superado apenas pelos nematoides de galhas (*Meloidogyne* sp.) que podem promover perdas de 30% a 80% em casos mais severos (SASSER et al., 1987; TIHOHOD, 2000; ANTONIO et al., 2012).

A importância *P. brachyurus* para as culturas agrícolas é devido ao grande número de plantas hospedeiras e da falta de cultivares resistentes, aliados ao modo de parasitismo, dificultando o manejo para o controle efetivo. Esta espécie é classificada como endoparasita

migrador, normalmente encontrado no interior das raízes e entre as raízes e o solo (CASTILLO; VOVLAS, 2007). Ao migrar para o interior das raízes da cultura hospedeira, onde completará grande parte de seu ciclo de vida, acaba necrosando os tecidos parasitados. Seu parasitismo promove lesões no sistema radicular da cultura hospedeira, devido à liberação de enzimas tóxicas, tornando a planta suscetível a infecções secundárias causadas por fungos e bactérias (TIHOHOD, 2000; GOULART, 2008; FERRAZ, 2010).

São nematoides menores que 1 mm de comprimento, onde os machos e as fêmeas são vermiformes, não apresentando dimorfismo sexual. As fêmeas são monodelfas e a reprodução pode ser por anfimixia ou partenogênese do tipo mitótica ou meiótica. São facilmente reconhecíveis pela região labial esclerotizada, sobreposição ventral das glândulas esofagianas e, geralmente, pelo conteúdo intestinal escuro. O estilete é bem desenvolvido com largos bulbos basais. A maioria das espécies é polífaga, mostrando habilidades em parasitar tanto plantas cultivadas (perenes, semi-perenes ou anuais) quanto as plantas daninhas (LORDELLO, 1992; CASTILLO; VOVLAS, 2007; FERRAZ; BROWN, 2016).

O ciclo de vida do *P. brachyurus* é considerado curto, podendo variar de três a seis semanas, dependendo de fatores como temperatura, umidade e, principalmente, da planta hospedeira (CASTILLO; VOVLAS, 2007). O ciclo de vida que compreende o ovo (J1), e três estádios juvenis, J2, J3 e J4, e a forma adulta pode ser visualizado na figura 2. O primeiro estágio juvenil ocorre apenas no interior do ovo, deste eclodindo o J2, o qual é atraído pelos exsudados radiculares (sinais químicos). Todos os estádios juvenis (exceto o J1 que está dentro do ovo) e adultos podem ser infectivos e são migradores, movendo-se livremente dentro das raízes e entre as raízes e o solo (FERRAZ, 1999; CASTILLO; VOVLAS, 2007).

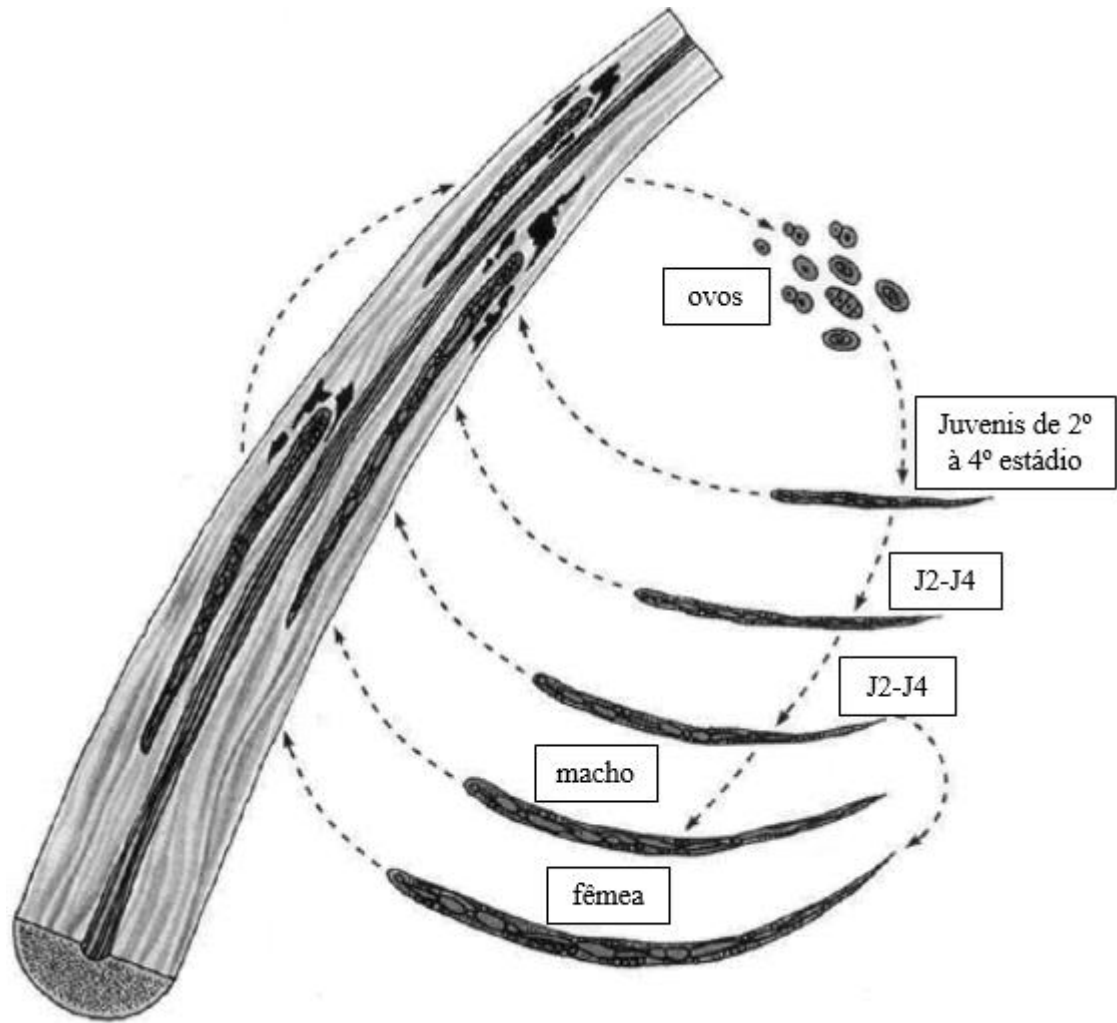


Figura 2. Ciclo de vida do gênero *Pratylenchus* sp. em ilustração de raiz seccionada longitudinalmente evidenciando parasitismo por espécimes no interior do córtex (Adaptado de Ferraz e Brown (2016)).

Ao entrar nas raízes, os nematoides movimentam-se por entre as células e também por dentro das células, promovendo o rompimento de muitas delas, formando túneis e galerias no córtex das raízes (MONTEIRO et al., 1995; FERRAZ; BROWN, 2016). A infestação, no geral, restringe-se ao parênquima cortical, que fica bastante desorganizado devido à destruição de um grande número de células durante a movimentação dos nematoides. Para se alimentar, os nematoides posicionam-se paralelamente ao cilindro central, secretam enzimas no interior das células e sugam seu conteúdo. As células atingidas se degeneram e acabam morrendo pouco tempo depois da saída do nematoide. Devido aos danos mecânicos decorrentes do deslocamento dos nematoides e à ação tóxica das substâncias esofágicas por eles excretadas, muitas células morrem e são invadidas por fungos e bactérias do solo, resultando no aparecimento de lesões

necróticas típicas do parasitismo de fitonematoides do gênero *Pratylenchus*, de coloração escura (MONTEIRO et al., 1995; CASTILLO; VOVLAS, 2007; FERRAZ; BROWN, 2016).

O aparecimento de adultos maduros, machos e fêmeas, ocorre em média em 30 dias, porém, em baixas temperaturas o ciclo de vida pode ser retardado. Na ausência do hospedeiro podem sobreviver em solo úmido por mais de oito meses. Os ovos são mais comumente colocados no interior dos tecidos vegetais parasitados e todo o ciclo biológico pode ocorrer na planta. Contudo, questões de natureza ecológica do local, tais como textura do solo, temperatura, umidade, pH, estação do ano e profundidade do perfil do solo, são decisivas para o aumento populacional e estabelecimento do nematoide em uma área (CASTILLO; VOVLAS, 2007; GOULART, 2008). Quando as condições são desfavoráveis ao parasitismo, os nematoides abandonam facilmente o sistema radicular, migrando para o solo, onde permanecem até a próxima condição favorável (TIHOHOD, 1997; FERRAZ, 1999; AGRIOS, 2005).

Entre as muitas espécies de *Pratylenchus*, *P. brachyurus* e *P. zae* são muito comuns, sendo que *P. brachyurus* é a mais polífaga, enquanto *P. zae* é importante especialmente para as gramíneas. Em *P. brachyurus* e em *P. zae*, os machos são raros e a reprodução ocorre por partenogênese. Há, entretanto, outras espécies, como *P. coffeae*, nas quais a reprodução é sexuada e os machos abundantes. A duração do ciclo varia em virtude de fatores ambientais (temperatura e umidade) e do hospedeiro, sendo, geralmente, de três a seis semanas (CASTILLO; VOVLAS, 2007, FERRAZ et al., 2010).

2.2 ALTERNATIVAS PARA O CONTROLE DE NEMATOIDES

O controle de nematoides no solo é bastante complexo, pois demanda a identificação da espécie causadora do dano, a determinação do nível populacional e ainda da interação deste patógeno com outras espécies, dificultando o controle e potencializando o dano causado (FERRAZ, 2010; KANTOLIC, 2012).

O método de controle via nematicidas químicos foi largamente utilizado pelos agricultores durante décadas. Porém, a busca por alimentos seguros e a conservação do solo e do ambiente, fez com que muitos desses produtos fossem retirados do mercado, como por exemplo, o brometo de metila em 2005 (OKA, 2010). Atualmente, os produtos utilizados na grande maioria das culturas são os nematicidas dos grupos químicos organofosforados e os carbamatos e, ainda, alguns fumigantes. Estes também apresentam vários inconvenientes tais como alteração da microflora do solo, problemas de contaminação de fontes de água, intoxicação dos agricultores pela exposição contínua aos produtos (MC CAULEY et al., 2006),

grande período de carência e alto poder residual, podendo deixar resíduos nos alimentos de consumo direto (PESTICIDE DATA PROGRAM, 2006), além do alto custo dos produtos.

O controle por meio da resistência genética é muitas vezes limitado pela escassez de cultivares resistentes em grande parte das culturas, sendo que a ocorrência de infestações por mais de uma espécie de fitonematoide é também um fator de importância (RITZINGER; FANCELLI, 2006; MACHADO et al., 2015). Além disso, o uso contínuo de variedades resistentes é desaconselhável em muitos casos, em razão do surgimento de novas raças do patógeno ou populações virulentas, devido à grande pressão de seleção que essas variedades impõem sobre a população dos fitonematoídeos.

Muitos métodos vêm sendo testados, desde muito tempo, como os métodos físicos (LORDELLO, 1992; SILVA, 2001). Práticas como o revolvimento do solo e a solarização, podem reduzir drasticamente as populações de fitonematoídeos devido às condições desfavoráveis para a sobrevivência de ovos e juvenis. Contudo, essas práticas podem apresentar algumas desvantagens para a qualidade do solo, já que o revolvimento do solo pode favorecer a erosão hídrica e eólica, problemas relacionados à estruturação (compactação, desagregação do solo, etc.), desequilíbrio da fauna edáfica, o que, do ponto de vista ambiental e econômico, não é recomendável.

Assim, a busca por métodos menos nocivos ao ambiente vem desafiando os pesquisadores da área, os quais tem se concentrado em métodos que apresentem eficiência de controle, sejam ecologicamente corretos e apresentem ainda viabilidade econômica. Desse modo, os métodos de controle biológico têm se apresentado como uma excelente alternativa. Das alternativas de controle biológico já estudadas, são vários os grupos de organismos que tem apresentado controle de fitonematoídeos, através de predação, parasitismo e competição. Destes, destacam-se a utilização de fungos, bactérias, nematoídeos predadores, tardígrados, vírus e ácaros (SIDDIQUI; AKHTAR, 2009; ESTRELLA et al., 2016; INOMOTO, 2018; WILLE et al., 2019). Dentre os organismos supracitados, os fungos e as bactérias são os mais pesquisados já que apresentam maiores possibilidades de utilização prática.

Os fungos parasitas de nematoídeos dividem-se em quatro grandes grupos: endoparasitas, predadores, produtores de metabólitos tóxicos e parasitas de ovos e fêmeas. Alguns fungos produzem metabólitos tóxicos aos nematoídeos, exercendo efeito sobre eclosão, mobilidade e capacidade de penetração dos nematoídeos no hospedeiro. Também podem alterar a fisiologia da planta, tornando-a menos atrativa ao nematoídeo (KHAN et al., 1997), entre eles, espécies de *Trichoderma*, como *T. harzianum*, *T. virens*, *T. viride*, *T. asperellum*, *T. atroviride* e *T. longibrachiatum* (HERMOSA et al., 2000). Os fungos parasitas de ovos e fêmeas podem

suprimir grande número de nematoides de uma só vez (KERRY, 1981), colonizando apenas formas imóveis dos patógenos (ovos e fêmeas). Dentre esses fungos destaca-se *Pochonia chlamydosporia* (Goddard) Zare & Gams (sin= *Verticillium chlamydosporium* Goddard).

O uso de rizobactérias na supressão de fitonematoides tem sido frequentemente estudado, principalmente com o uso de bactérias dos gêneros *Bacillus* e *Pseudomonas* (BURKETT-CADENA et al., 2008; SIDDIQUI; MAHMOOD, 1999; TIAN et al., 2007). Os gêneros *Bacillus* e *Pseudomonas* pertencem ao grupo das bactérias saprófitas. *Bacillus* spp. produzem proteases que destroem a cutícula dos nematoides, confirmando a atividade nematicida (NIU et al., 2006). E algumas espécies de *Pseudomonas*, como *P. fluorescens* (Chao), são capazes de destruir a massa gelatinosa de ovos de nematoides e também diminuir significativamente a eclosão dos juvenis (TAVAKOL-NORABADI et al., 2013).

A rotação ou sucessão de plantas não susceptíveis e que apresentam ainda efeito nematicida e/ou nematostático, como por exemplo a *Crotalaria* sp. e o *Tagettes* sp. que podem suprimir a reprodução de *P. brachyurus* após um período de cultivo (SILVA et al., 1989; GARRIDO, 2008; SANTOS et al., 2009), bem como a utilização de óleos essenciais, extratos aquosos, adubos verdes.

Existe ainda a possibilidade de se utilizar resíduos (animais, vegetais, agroindustriais) e materiais transformados ou estabilizados por meio dos processos de compostagem e vermicompostagem (MELLO et al., 2006; NAZARENO et al., 2010; BERNARDO et al., 2011; DE MELO SANTANA-GOMES et al., 2013). A utilização da adubação orgânica apresenta-se como uma alternativa viável, já que a incorporação de resíduos orgânicos é uma prática cultural tradicional e de fácil acesso, utilizada amplamente para fornecimento de nutrientes para as plantas e melhorias na qualidade do solo, possibilitando como efeito adicional o controle de patógenos do solo, incluindo nematoides.

Essa forma de adubação pode ser aplicada em sistemas de agricultura orgânicos e convencionais. Neste segundo caso, a adição de resíduos orgânicos permite que os agricultores convencionais reduzam ou não se faça necessário o uso de fertilizantes e nematicidas químicos (OKA, 2010). Ainda, permite que exista um ambiente favorável ao desenvolvimento de processos naturais e interações biológicas positivas no solo, por meio da diversificação espacial e temporal dos organismos, permitindo a redução natural da população de organismos patogênicos (LOSS et al., 2010).

Em um sistema de manejo integrado de pragas e doenças, a manipulação de nutrientes, por meio de adubações orgânicas, apresenta-se como um método cultural complementar, dando suporte e permitindo a otimização dos mais diversos métodos de controle existentes. Quando

os elementos minerais, necessários ao bom desenvolvimento da planta, estão em quantidade e formas adequadas, a planta poderá reagir a patógenos, aumentando sua tolerância a pragas e doenças devido à influência nas reações de defesa vegetal (OKA et al., 2010; FERRAZ et al., 2010).

Diversas são as fontes de adubação orgânica que são utilizadas para nutrição vegetal e que, ainda, apresentam efeitos secundários como efeito nematicida e/ou nematostático. Contudo, a composição química desses resíduos é muito variada. Muitos desses, são ricos em alcalóides, ácidos graxos, isotiocinatos, glicosídeos, acinogênicos, terpenóides, compostos fenólicos, compostos carboxílicos e outros (DALLEMOLE-GIARETTA, 2009), substâncias de alta complexidade química, que podem promover efeitos inibitórios ou supressivos destes patógenos. Porém, os níveis de controle alcançados variam em função das condições edafoclimáticas, do nível de infestação e da origem do resíduo orgânico (DIAS; FERRAZ, 2001; NAZARENO et al., 2010; FERRAZ et al., 2010; FERREIRA et al., 2018).

2.3 POTENCIAL DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS SOBRE FITONEMATOIDES

As alterações que ocorrem no solo após adição de compostos orgânicos são muito complexas, exercendo efeitos desde a produção vegetal e alteram a composição da microbiota do solo, incluindo bactérias, fungos e nematoides de vida livre (OKA, 2010). Muitos destes organismos ou os seus metabólitos, são benéficos para o crescimento das plantas ou antagônicos em relação aos agentes patogênicos como os fitonematoides (DIAS-ARIEIRA et al., 2018; LOPES et al., 2019).

A supressão destes, por meio da adubação orgânica pode ser devido a diferentes mecanismos, incluindo a) a liberação de compostos nematicidas presentes no adubo orgânico, por exemplo, ácidos orgânicos, compostos fenólicos e amônio, b) disponibilidade de nutrientes favorecendo melhorias para o desenvolvimento vegetal, c) melhoria das propriedades físicas e químicas do solo, que podem ter influência adversa na eclosão de ovos, mobilidade e sobrevivência dos nematoides, d) produção de aleloquímicos, por exemplo, antibióticos ou quitinases pela microfauna do solo (WIDMER et al., 2002; OKA, 2010), e e) alterações do ambiente edáfico que podem não ser adequadas ao ciclo de vida dos nematoides (AKHTAR et al., 2000), como o favorecimento de microrganismos antagônicos aos nematoides.

A elucidação dos mecanismos envolvidos no controle de fitonematoides em solos agrícolas pode conduzir ao desenvolvimento de estratégias de controle mais eficazes. Diante do exposto, diferentes resíduos orgânicos têm sido testados para a redução da densidade

populacional de nematoides parasitas de plantas e no aumento da produtividade de diversas culturas. Dentre eles cabem destacar o esterco animal, compostos e vermicompostos de origem animal e vegetal, bem como materiais com altos teores de tanino e compostos fenólicos como hastes de plantas, e algumas tortas oleaginosas, que por apresentar diversidade em suas composições químicas, desempenham diferentes mecanismos de supressão de nematoides (NAZARENO et al., 2010; FERRAZ et al., 2010; BERNARDO et al., 2011; ASMUS et al., 2014; DIAS-ARIEIRA et al., 2018; LOPES et al., 2019).

Diversos adubos orgânicos vêm sendo testados no controle de fitonematoides. Resíduos do tratamento de esgoto, restos vegetais, serragens e esterco de origem animal, bem como compostos e vermicompostos produzidos com dejetos de animais (NAZARENO et al., 2010; BERNARDO et al., 2011; ASMUS et al., 2014), a parte aérea de leguminosas (LOPES et al., 2007; FERREIRA et al., 2017; FERREIRA et al., 2018; CARDOSO et al., 2019), todos utilizados como adubos orgânicos. Tais resíduos podem reduzir a população de fitonematoides, com concomitante aumento da tolerância vegetal ao ataque desses fitopatógenos (DIAS-ARIEIRA et al., 2018; TONINATO et al., 2019; LOPES et al., 2019).

O efeito supressor de adubos animais e vegetais sobre nematoides tem sido atribuído às altas concentrações de amônio e ácidos graxos voláteis (RODRÍGUEZ-KABANA et al., 1981; CHITWOOD, 2002; OKA, 2010). No entanto, sabe-se que a atividade nematicida da amônia e do amônio no solo é de curta duração (alguns dias a semanas) (TENUTA; LAZAROVITS, 2002). Portanto, outros mecanismos de supressão podem estar envolvidos em conjunto na redução populacional destes fitopatógenos. O esterco curtido ou efluente de biodigestor é largamente utilizado como adubo orgânico em muitas propriedades, o qual tem sido relacionado a efeitos nematicidas e/ou nematostáticos no solo onde é adicionado. Um composto orgânico incorporado ao solo pode atuar como supressivo ou condutivo em função da sua relação C:N, sendo a faixa ótima compreendida entre 14:1 e 20:1 (PEREIRA et al., 1996). Neste contexto o esterco bovino bem como os seus subprodutos formados após os processos de compostagem e vermicompostagem, por apresentarem relação C:N média de 15:1 apresentam-se como resíduos de alto potencial no controle de nematoides devido às substâncias de alto peso molecular produzidas após os processos.

Adubos orgânicos produzidos a partir de resíduos de matadouros e de curtume têm sido testados para avaliação dos índices de reprodução de *Rotylenchus reniformis*. Foi observado que o composto orgânico apresentou potencial para controle de *R. reniformis*, mas os mesmos requerem ajustes em sua composição para redução do risco de fitotoxicidade para as plantas (ASMUS; NUNES, 2014), contaminação de alimentos, solo e lençol freático. Esses dados

salientam a importância do manejo deste tipo de resíduo o qual pode representar um risco significativo de lixiviação de nitrato, bem como a contaminação do lençol freático e alimentos. Assim, tem-se buscado reduzir problemas ambientais relacionados à saúde alimentar e eficiência de adubos orgânicos, bem como nas suas propriedades físico, químicas e biológicas. O processamento destes resíduos por meio de técnicas como a compostagem e a vermicompostagem tem apresentado bons resultados frente a essa problemática.

A utilização de resíduos compostados e vermicompostados tem sido bem documentada, pois, além de promover incrementos consideráveis na matéria orgânica do solo, a alteração realizada pela compostagem promove aumento da população microbiana do solo (PERUCCI et al., 2008; DOMINGUEZ et al., 2019; KOLBE et al., 2019), o que leva a uma melhoria da qualidade do solo e das atividades supressoras em relação aos agentes patogênicos das plantas, (SANCHEZ-HERNANDEZ et al., 2019; DOMINGUEZ et al., 2019), como os fitonematoides (DIAS-ARIEIRA et al., 2019; TONIATO et al., 2019). O uso de vermicomposto, material processado biologicamente por meio da ação das minhocas, aumenta cerca de 20 vezes a atividade microbiana do solo (EDWARDS, 1995; ADHIKARY, 2012). O principal efeito do processamento da compostagem e da vermicompostagem é a multiplicação de populações de inimigos naturais dos fitonematoides, com concomitante liberação de compostos tóxicos de ação nematicida, derivadas das frações humificadas do material orgânico processado (GÓMEZ-BRANDÓN et al., 2019).

A adubação orgânica eleva a porosidade e a retenção de água do solo, (DOMÍNGUEZ et al., 2010), além de liberar ácidos húmicos e hormônios, compostos com possíveis propriedades nematicidas que possibilitam o desenvolvimento das plantas, mesmo que na presença de fitonematoides (FERRAZ; BROWN, 2016). Também, o aumento ou a adição de microrganismos antagonistas aos fitonematoides resulta em aumento de atividades enzimáticas no solo e acúmulo de compostos de produtos finais específicos, os quais podem ser nematicidas. A magnitude desse estímulo e a natureza da qualidade microbiana obtida, dependem da natureza da matéria orgânica adicionada. A efetividade de uma dada matéria orgânica para supressão de nematoide depende de sua composição química e das espécies de microrganismos que se desenvolvem (BADRA et al., 1979). Ainda, é interessante que a ação seja seletiva sem causar impacto sobre as populações de nematoides de vida livre e de microrganismos benéficos ao solo.

O modo de ação das substâncias orgânicas e os fatores que os levam a desempenhar/apresentar efeitos nematicidas ou nematostáticos são bastante complexos e variáveis, e ainda desconhecidos na literatura. Diante do exposto, o conhecimento de diferentes

fontes de matéria orgânica e dos potenciais agentes de controle presentes em fertilizantes orgânicos é de fundamental importância para o aprimoramento dos processos biotecnológicos, e para identificação de substâncias específicas ativas contra fitonematoides.

3 ARTIGO 1

***Pratylenchus brachyurus* suppression by organic fertilizers and the development of soybean plants.**

Artigo submetido ao Journal of invertebrate pathology.

Qualis - A1

Mariana F. Dossin^a; Nariane de Andrade^a; Regis F. Stacke^b; Cristiano Bellé^c; Lisiane Sobucki^a;
Jansen R.P. Santos^b; Zaida Inês Antonioli^a

^aDepartment of Soils, Federal University of Santa Maria (UFSM), Roraima Avenue 1000, Santa Maria, Rio Grande do Sul 97105-900, Brazil (marianadossin@yahoo.com; narianedeandrade@hotmail.com; lisiane_sobucki@hotmail.com;; zantonioli@gmail.com)

^bDepartment of Plant Protection, Federal University of Santa Maria (UFSM) (regis_felip@hotmail.com; jansen.santos@ufsm.br)

^cPhytus Group, Duque de Caxias Street, 2319 1st stage, Ns^a. Sr^a. Medianeira, 97060-210, Santa Maria/RS (crbelle@gmail.com)

Corresponding author: marianadossin@yahoo.com.br

Highlights

- We tested the action of organic fertilizers on *Pratylenchus brachyurus* in soybeans.
- The tested organic fertilizers promoted growth in soybeans.
- The incidence of *Pratylenchus brachyurus* is impaired with the use of organic fertilizers of bovine origin.
- The presence of *Pratylenchus brachyurus* in soybean roots is favored by the slaughterhouse swine compost.

Abstract

The root lesion nematode, *Pratylenchus brachyurus* (Filipjev), has been caused significant losses in soybean crops in Brazil. The addition of organic fertilizers may suppress the population of these plant-parasitic nematodes. The objective of this work was to evaluate the action of cattle manure, cattle vermicompost, cattle compost, and slaughterhouse swine compost on the reduction of *P. brachyurus* population in soybean plants. Two studies were performed using soybean plants (cv. NR 5909). The first, to evaluate the initial presence of nematodes in the roots, that 1200 *P. brachyurus* specimens were inoculated. The second was for nematode reproduction and plant development, that 8000 *P. brachyurus* specimens were inoculated. The number of the nematode per root gram at 21 days after the inoculation was higher in slaughterhouse swine cattle, differing significantly from the all treatments. At 90 days after the inoculation, all the organic fertilizers promoted the increase of shoot dry matter and root fresh mass in relation to control. The slaughterhouse swine compost and the control presented $RF > 1$ differing from the other treatments. The fertilizers that promoted plant development and suppressive action on *P. brachyurus* population were cattle manure, cattle compost and cattle vermicompost.

Key words: root lesion nematodes, *Glycine max*, nematode alternative control.

1 Introduction

The root lesion nematode, *Pratylenchus brachyurus* (Filipjev), has caused great losses in the most diverse crops of economic interest, and may be associated with soybean cultivation. The urgent need to search for alternative root lesion nematode control methods that are less environmentally toxic is a demanding challenge to secure the increasing global food demand. *P. brachyurus* has caused significant losses in several crops in Brazil, presenting a wide geographical distribution and large number of host plants, including soybean (Dias et al., 2010; Santana-Gomes et al., 2015; Costa et al., 2014). The edaphoclimatic conditions and intensive cultivation of susceptible crops provide for these nematode favorable conditions for the development, dissemination and survival in the soil and roots of plants (Asmus et al., 2003; Goulart, 2008; Inomoto et al., 2011; Costa et al., 2012).

In Rio Grande do Sul, *P. brachyurus* occurs in association with other nematode species such as *Meloidogyne javanica* (Chitwood), *Meloidogyne incognita* (Chitwood) and *Heterodera glycines* (Ichinohe). However, the occurrence and the quantification of *P. brachyurus* in crops areas at the state is not yet accurate (Kantolic et al., 2012). This genus of nematode has migratory endoparasitic habit and, due to the feeding, movement and injection of toxins inside the root tissues, results in the reduction of vegetative canopy and grain yield (Goulart, 2008; Santana-Gomes et al. 2015; Ferraz and Brown, 2016). In the case of soybean cultivation, production losses can reach 30% (Dias et al., 2010; Franchini et al., 2014). In order to reduce losses and achieve the sustainability of agricultural production, it is necessary to use a set of strategies that aim to reduce population levels, and stimulating crop production and root development in coexistence with these parasites (Costa et al., 2012). These strategies mainly include cultural practices, resistant cultivars, biological control and chemical control. Therefore, due to the absence of resistant cultivars linked to the inconsistency of the results achieved with the use of chemical nematicides, the alternative control with the addition of

organic material to the soil has been presented as a promising strategy for *P. brachyurus* management (Silva, 2016; Santana-Gomes et al., 2015).

Organic material added to the soil can perform several functions, mainly acting in fundamental processes such as nutrient cycling and availability, fertilizer solubilization, toxic metal complexation, soil buffering power, gas flow into the atmosphere and soil aggregation (Stevenson, 1994; Soares et al., 2008). This material can be a source of energy for biological activity (Bayer and Mielniczuk, 2008) and is often used in the integrated management of plant pests and diseases, with positive effects on the environment (Watson, 1922; Rodriguez-Kàbana, 1986; Brown, 1987; Stirling, 1991; Costa et al., 2014).

The suppression of nematodes by the addition of organic fertilizers may be possible by different mechanisms. These include the release of nematicidal compounds such as organic acids, phenolic compounds and ammonium (Oka, 2010) that directly affect the juvenile hatching and nematode mobility and survival (Dias et al., 1999; Ferraz and Freitas, 2008; Borges et al., 2013; Ribeiro et al., 2012). Furthermore, studies have reported that the production of allelochemicals, e.g, antibiotics or chitinase, by soil microfauna, often degrade soil nematode eggs (Widmer et al., 2002; Oka, 2010, Galbieri et al., 2016). Finally, changes in the edaphic environment that do not favor the plant-parasitic nematodes development (Akhtar et al., 2000; Oka, 2010; Galbieri et al., 2016), such as favoring the presence of antagonistic microorganisms, e.g, bacteria and fungi, are fundamental for the management of these plant pathogens (Oka, 2010).

Brazil is among the world's largest producers and exporters of beef, poultry and pork meat, with projected increased demand in the coming years (FAO, 2017). This scenario of expansion in the sector is reflected in the emergence of an increasing number of slaughterhouses and organic waste generated. There is the use of residues in agriculture as biofertilizers; however, there is a great lack of studies on the suppressive potential in the soil and on the

quality of these residues in agriculture, whether they are used for composting (Alvarenga et al., 2008) and/or vermicomposting (Anjos et al., 2015; Steffen et al., 2017). Thus, there is a need to evaluate the waste management about their potential for use in agriculture, especially in the suppression of plant-parasitic nematodes. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of organic fertilizers, fresh, composted and vermicomposted, in reducing the population of *P. brachyurus* in soybean plants.

2 Material and methods

2.1 Organic fertilizers, soil and inoculum used in experiments

The treatments tested in the study were four organic fertilizers: cattle manure (CM); cattle vermicompost (CV) (Vione et al., 2018), cattle compost (CC) (Ramires et al., 2019) and slaughterhouse swine compost (SSC). The cattle manure residue was obtained from the dairy cattle sector of the Federal University of Santa Maria and the slaughterhouse swine residue (consisting of the material that comes out of the intestines, feed remains, water, blood, hair, among others) was obtained from a slaughterhouse located in the northern region of Rio Grande do Sul. In this study, for use as organic fertilizers, the cattle manure residue was previously dried and chemically analyzed, and the other fertilizers were previously treated, stabilized by aerated composting (CC and SSC) and by vermicomposting (CV). Organic fertilizers were chemically characterized and are described in Table 1.

The soil used in the experimental units, classified as typical Ultisol (Soil Survey Staff, 2014), was chemically characterized and autoclaved for one and a half hours at 120°C, together with the sand used in the mixture (2:1) for the experiments. The values obtained in the chemical analysis of the soil are: pH (1:1) 4.9, Ca²⁺ (cmol_c dm³) 1.7, Mg²⁺ (cmol_c dm³) 0.5, Al³⁺ (cmol_c

dm³) 23.3, H+Al (cmol_c dm³) 6.9, CTC pH7 (cmol_c dm³) 9.2, base saturation (%) 25.3, SMP Index 5.6, SOM (%) 1.5, P-Melich (mg dm⁻³) 13.1, and K (mg dm⁻³) 44.0.

The inoculum of the nematode (*P. brachyurus*) used in the experiments, was constituted by pure population obtained from the species-specific isolation carried out by the company Agrolab/GO. Nematode multiplication was performed continuously in a greenhouse using sorghum (*Sorghum bicolor*) and soybean (NR 5909, Nidera) plants in 5 L pots containing 5kg of previously autoclaved soil (120°C for 1.5h). After three months (period required for nematode population increase), the nematodes were extracted from the roots according to Coolen and D'Herde (1972) and the nematode suspension was calibrated for inoculation of the experiments.

2.2 Liming and organic fertilization of the soil

The fertilization and liming of the experimental units were performed to obtain the maximum yield of soybean, following preliminary analysis of soil and organic fertilizers, according to the Liming and Fertilization Manual for Rio Grande do Sul and Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2016). To satisfy the nutritional needs of soybean crop, according to soil analysis, it was necessary 0, 95 and 105 kg ha⁻¹ of N, P and K, respectively. The amounts of organic fertilizer required for each treatment were converted to grams per kilogram of soil. The dose of each organic fertilizer was calculated by the equation 1:

$$X = \frac{A}{\frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \frac{D}{100}} \quad (1)$$

Where: X = amount of solid organic fertilizer applied or to be applied (kg/ha; g/plant); A = amount of the nutrient element (example: potassium or nitrogen) applied or to be applied (kg/ha;

g/plant); B = Fertilizer dry matter content (%); C = Dry matter nutrient content (%); D = Nutrient efficiency index (CQFS-RS/SC, 2016).

2.3 Evaluation of *Pratylenchus brachyurus* presence in soybean plants

To evaluate the presence of *P. brachyurus* in soybean (NR 5909, Nidera) roots under greenhouse conditions, were used experimental units with a capacity of 500 mL (plastic cups) containing a mixture of 500 g of soil and sand (2:1). Each organic fertilizer tested was added to the soil and sand mixture according to soil analysis and calculated for soybean crop according to equation 1 (CQFS-RS/SC, 2016), considering the size of the experimental unit and the most limiting nutrient for crop growth (potassium). Thus, the experimental units were composed of soil and sand mixture (500g), and the respective treatments containing the organic fertilizers in the doses of 4.1, 4.0, 13.4 and 10.7 grams of CM, CV, CC and SSC, respectively. The control treatment received 30 milligrams of mineral fertilizer (K_2HPO_4), calculated according to CQFS-RS/SC (2016) from the soil analysis and to supply the soybean crop needs (0, 95 and 105 Kg ha⁻¹ of N, P and K, respectively).

The experiment was conducted in a completely randomized design with five treatments and six replications. The seeds used were previously inoculated with *Bradyrhizobium japonicum* and sown in the cups containing a mixture of soil and fertilizer. Fifteen days after germination, about 1200 *P. brachyurus* specimens were inoculated per cup, through three holes near the plant. The suspension containing nematode specimens was obtained by the methodology of Coolen and D'Herde (1972).

To quantify the number of nematodes present in soybean roots at 21 days after *P. brachyurus* inoculation (DAI), six plants were collected per treatment. The roots were separated from the soil to determine the fresh root mass and to quantify the nematodes in root and soil.

Fresh root mass was determined by direct weighing. To quantify the presence of nematodes in the roots, we used the nematode staining in plant tissues methodology by acid fuchsin (Byrd et al., 1983). To count the nematodes under a microscope, glycerin was added to the roots, which were placed on glass slides and the number of nematodes per gram of root was obtained.

2.4 Evaluation of *Pratylenchus brachyurus* reproduction in soybean plants

To evaluate *P. brachyurus* reproduction factor under greenhouse conditions, were used soybean plants (NR 5909, Nidera). The experimental units were 3 L pots containing 3 kg of a soil/sand mixture (2:1). The seeds used were previously inoculated with *B. japonicum* and sown in the pots containing the mixture of soil and fertilizer. Each organic fertilizer tested was added to the experimental unit according to soil analysis and calculated for the need for soybean cultivation according to the Liming and Fertilization Manual to Rio Grande do Sul and Santa Catarina by equation 1 (CQFS-RS/SC, 2016). The quantities of organic fertilizers were balanced according to the most demanding nutrient from the crop, in this case potassium (CQFS-RS/SC, 2016) and the amount of soil in the experimental unit. Thus, the experimental units were composed of soil and sand mixture (3 kg), and the respective treatments containing the organic fertilizers in the doses of 24.5, 24.0, 80.6 and 64.0 grams of CM, CV, CC and SSC, respectively. The control treatment received 0.2 grams of mineral fertilizer (K_2HPO_4), calculated according to CQFS-RS/SC (2016) from the soil analysis and to supply the soybean crop needs.

The experiment was conducted in a completely randomized design with five treatments and six replications. Fifteen days after germination of soybean plants, about 8000 *P. brachyurus* specimens were inoculated per pots, through three holes near the plant. The suspension

containing nematode specimens was obtained by the methodology of Coolen and D'Herde (1972), from roots of sorghum plants kept in a greenhouse.

The experiment was conducted for 90 days after *P. brachyurus* inoculation (DAI) in the pots. At 90 DAI, shoots, roots and soil were collected from all experimental units to determine shoot dry matter, root fresh mass and quantification of nematodes present in roots and soil. The shoot dry matter was determined by weighing, after drying in an oven at 65°C for 24h. Fresh root mass was determined by direct weighing immediately after sample collection. To quantify the number of nematodes present in soybean roots was used the methodology of Coolen and D'Herde (1972).

The Reproduction Factor (RF) of the nematode was calculated according to the proposed by Oostenbrink (1966), where $RF = FP / IP$ (final population)/IP (initial population). As the evaluated nematode is considered a migratory endoparasite (present in both roots and soil), the total number of nematodes found in both roots and soil of each treatment was used to calculate the FP. In addition, the number of nematodes per gram of root was calculated.

2.5 Statistical analysis

The data were submitted to the Shapiro-wilk normality test (5% probability). The data considered non-normal were transformed by the formula $\sqrt{x + 1}$. Subsequently, the analysis of variance was performed and, when the effects were significant, the means were compared by the Scott-Knott test at 95% probability. The analysis of variance was performed using the ExpDes.pt package (Ferreira et al., 2018) in the software R (R CORE TEAM, 2019).

3 Results

3.1 Evaluation of *Pratylenchus brachyurus* presence in soybean plants

In the evaluation of the presence of *P. brachyurus* in soybean plants 21 DAI (Table 2), no significant differences were observed in fresh root mass between the organic fertilizers treatments and the mineral fertilization. Regarding the number of nematodes at 21 DAI, the SSC presented the highest average (110), differing significantly from the other treatments, and exceeding the mineral fertilization (68) with about 40% more nematodes. Treatments with CM, CV and CC presented the lowest number of nematodes (13, 33 and 9, respectively), showing no significant differences between them, but they differed from the mineral fertilization (68) with 52 to 87% fewer nematodes. The number of nematodes per gram of root (NNGR) was higher in SSC (76), which differed significantly from the other treatments and the mineral fertilization, presenting NNGR 90% higher than CC (6) and CM (8), 70% higher than CV (23) and 30% higher than the mineral fertilization (48).

3.2 Evaluation of *Pratylenchus brachyurus* reproduction in soybean plants

Regarding the development of *P. brachyurus* in soybean plants (Figure 1), the NNGR was higher in the treatment with mineral fertilization (8,979), which differed significantly from the other treatments. In the treatments from cattle manure-based (CM= 935, CV= 631 and CC= 503) was observed about 90% less NNGR in relation to the mineral fertilization. The SSC (3,500) differed significantly from the other treatments, with NNGR 60% lower than mineral fertilization and 80% higher than cattle manure-based treatments. In the evaluation of RF of *P. brachyurus*, which occurred at 90 DAI, it was observed that the treatments with mineral fertilization and the SSC presented values higher than 1 ($FR > 1$). Mineral fertilization presented the highest RF (2.7), differing significantly from other treatments, followed by SSC (1.9). The

cattle manure-based treatments presented RF values lower than 1 ($FR < 1$) and no significant differences were observed between these treatments.

In relation to the vegetative parameters of soybean plants at 90 DAI (Figure 1 and 2), the cattle manure-based fertilizers provided higher values of shoot dry mass, differing significantly from other treatments (Figure 2). The CM, CV and CC treatments were, on average, 40% higher than SSC and about 50% higher than mineral fertilization treatment. For fresh root mass, the treatments with cattle manure-based also presented the highest averages. The CC (8.6g) and CV (9.5g), differed significantly from the other treatments, showing an increase of fresh root mass around 20% compared to CM (7.3g), 40% compared to SSC (5.8g) and 70% compared to the mineral fertilization (2.9g).

4 Discussion

All treatments with organic fertilizers promoted an increase of shoot dry matter and fresh root mass in relation to the mineral fertilization after 90 DAI in soybean plants. However, the organic fertilizers cattle manure-based promoted higher root development and higher shoot growth, concomitant with the suppression of *P. brachyurus* in soybean plants (Figures 1 and 2). This effect on plant development is possibly related to the presence of humic and fulvic acids in the organic fertilizers used. The humic substances are related to the increase in nutrient absorption, due to the influence on cell membrane permeability and chelating power, as well as photosynthesis, ATP formation, amino acids and proteins (Vaughan et al., 1985). These affect directly the biochemical metabolism of plants and, consequently, may influence their growth and development (Façanha et al., 2002; Ferdous et al., 2018).

The cattle manure-based fertilizers presented superior performance than SSC and mineral fertilization in the suppression of *P. brachyurus* in soybean plants. It was known that

the addition of organic matter to soil has been positively related to plant-parasitic nematodes suppression (Stirling, 1991). This suppression of plant pathogens generally occurs indirectly due to improvements in the chemical, physical and biological properties of soils (Castillo and Vovlas, 2007; Coutinho et al., 2009). These improvements include changes in pH, nutrient availability, and release of compounds during decomposition, moisture, aeration, and soil structure, resulting in addition or increased of antagonist microorganisms (Oka, 2010). Furthermore, higher levels of organic matter and potassium in the soil were related to reduce the number of root-penetrated *P. brachyurus* in soybean plants and the possible increase of plant resistance (Freitas et al., 2017). In addition, potassium increases the thickness of the epidermal cell wall, and in this case, a greater stiffness of the plant root tissue may have hampered nematode action (Rocha et al., 2007). Thus, the most significant effect of cattle manure-based fertilizers in the suppression of *P. brachyurus* in relation to the SSC may be due to differences in the origin of humic substances and the potassium amounts of each organic fertilizer added to the soil.

The SSC favored the reproduction of *P. brachyurus* in soybean roots ($FR > 1$), but promoted significantly higher shoot dry matter and fresh root increment of soybean plants in relation to mineral fertilization. Demonstrating that a well-nourished plant with a suitable substrate for good development can withstand certain levels of *P. brachyurus* infestations. According to these results, the influence of organic material added to the soil is dependent on the composition of the material used. This can favor the growth and development of antagonistic species in the soil (e.g, fungi, bacteria, free-living nematodes, etc...), and the supply of different metabolites released by their decomposition, either for the suppression of phytoparasites or for plant nutrition (Akhtar et al., 2000). Therefore, well-nourished plants generally have greater root system development, which may enable them to be more tolerant to

pathogen attack, reducing the impact of yield losses (McSorley and Gallaher, 1995; McSorley, 1998, Bridge, 2000; Ritzinger et al., 2006).

The SSC has large amounts of N in its composition, about 75% more N than cattle manure-based fertilizers. Ammonia, one of the major substances released during N microbial decomposition, has often been associated with plant-parasitic nematode control due its relationship in inducing plasmolysis (Ferraz et al., 2010). The amount of ammonia produced varies according to the N content of the residue (Rodriguez-Kábana, 1986). However, SSC showed no reduction in the incidence of *P. brachyurus* in soybean plants. The results observed in this study may be related to SSC C/N ratio ($C/N = 7$). According to Stirling (1991), the carbon content must be sufficient to allow soil microorganisms to metabolize N in proteins and other nitrogen compounds. This is because insufficient amounts of carbon for N metabolization may favor soil N accumulation, causing phytotoxicity to plants and losses by leaching and volatilization. In addition, organic compounds of animal origin, when incorporated into the soil, may have a suppressive or conductive effect depending on its C/N ratio, with the optimum range being between 14/1 and 20/1 (Pereira et al., 1996). Thus, treatments containing cattle manure fertilizers have better action potential in the plant-parasitic nematode complex, due the C/N ratio to be considered optimal for production of nematode suppressing substances and also beneficial to plant development ($C/N = 14/1$).

The efficiency of organic materials in suppressing the soil plant-parasitic population, found in our study, corroborates with previously reported results in the literature. The production of nematode-toxic substances can be evidenced in the study by Dias et al (1999), which evaluated the effect of cattle manure fractions on hatching of juveniles of *Meloidogyne* spp, in which they observed that humic acid present in cattle manure decomposition may be a factor in the inhibition of juveniles hatching of these nematodes. In addition, Almeida (2008) found, in treatments with cattle manure, that the suppression of plant-parasitic nematodes was

possibly promoted by the presence of organisms such as fungi, bacteria and other nematodes that are antagonist or predators. Moreover, cattle manure fertilization promoted yield increases and interferences in the life cycle of *M. javanica* and *M. incognita* in lettuce crop (Nazareno et al., 2010).

Therefore, knowledge of the nutritional and pollutant potential of organic materials is extremely important for the sustainability of the production system. In addition, it is known that after the establishment of a population of nematodes in a given area, its eradication is practically impossible. Finally, the use of combined strategies, such as integrated management, from the use of resistant cultivars, crop rotation, biological control, and the reuse of organic materials, among others, is necessary within the production system where there is a presence of plant-parasitic nematodes. According to the results obtained in this work, further studies should be carried out regarding the effect of SSC on *P. brachyurus* population dynamics in soybean plants. In summary, the organic fertilizers, cattle manure, cattle compost, cattle vermicompost and slaughterhouse swine compost, promoted the increase of shoot dry matter and root fresh mass in relation to conventional mineral fertilization. However, the fertilizers that promoted suppressive effect on *P. brachyurus* population were only cattle manure, cattle compost and cattle vermicompost.

Acknowledgements

We are grateful for the support provided by National Council for the Improvement of Higher Education (CAPES), National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), the Soil Department and the Graduate Program in Soil Science in the Federal University of Santa Maria for the infrastructure.

References

- Aahtar M, Malik A. 2000. Roles of organic soil amendments and soil organisms in the biological control of plant-parasitic nematodes: a review. *Bioresource Technology*. 74, 35-47. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00154-6](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00154-6).
- Alvarenga P, Palma P, Gonçalves AP, Baião N, Fernandes RM, de Varennes A, Vallini G, Duarte E, Cunha-Queda AC. 2008. Assessment of chemical, biochemical and ecotoxicological aspects in a nime soil amended with sludge of either urban or industrial origin. *Chemosphere*. 72 (11), 1.774-1. <https://doi.org/781.10.1016/j.chemosphere.2008.04.042>.
- Anjos JL, Aquino AM, Schiedeck G. 2015. *Minhocultura e Vermicompostagem: interface com sistema de produção, meio ambiente e agricultura de base familiar*. Brasília, DF. Embrapa. pp. 231.
- Asmus GL. 2003. Distribuição quali-quantitativa de nematoides fitoparasitos em áreas de produção de algodão em Mato Grosso do Sul. In: Congresso Brasileiro do Algodão, 4, Goiânia. Anais. Goiânia: EMBRAPA, 2003. pp. 142-143.
- Bayer C, Mielniczuk J. 2008. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Santos, GA, Silva, LS, Canellas, LP, Camargo, FAO. (Eds.) *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2ª Ed, Porto Alegre, pp 654.
- Borges FG, Batisttus AG, Muller MA, Mioranza TM, Kuhn OJ. 2013. Manejo alternativo de nematoides de galha (*Meloidogyne incognita*) em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). *Scientia Agraria Paranaensis*, 12, 425-433. <http://dx.doi.org/10.1818/sap.v12i0.9573>.
- Bridge J. 2000. Nematodes of bananas and plantains in Africa: research trends and management strategies relating to small-scale farmer. *Acta Horticulturae*. 540, 391 – 408. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.540.44>.

- Brown RH. 1987. Control strategies in low-value crops. In: Brown, RH, Kerry, BR. (Eds.), Principles and practice of nematode control in crops. Academic Press, New York and Londres, pp. 351-387.
- Byrd Jr DW, Kirkpatrick T, Barker K. 1983. An improved technique for clearing and staining plant tissues for detection of nematodes. Journal of nematology. 15(1), 142-143.
- Castillo P, Vovlas N. 2007. *Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): Diagnosis, biology, pathogenicity and management, vol.6, Brill, Leiden, Netherlands.
- Coolen WA, D'Herde CJ. 1972. A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue. Ghent State Agriculture Research Centre Merelbeke, Belgium, 77p.
- Costa MJN. 2012. Nematoides: consorciação e rotação de culturas. In: Paterniani, MEAG, Duarte AP, Tsunehiro A (Eds.). Diversidade e inovações na cadeia produtiva de milho e sorgo na era dos transgênicos. Campinas: Instituto Agrônomo, Associação Brasileira de Milho e Sorgo pp. 367-378.
- Costa MJN, Pasqualli RM, Prevedello R, 2014. Efeito do teor de matéria orgânica do solo, cultura de cobertura e sistema de plantio no controle de *Pratylenchus brachyurus* em soja. Summa Phytopathologica, 40, 63-70. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-54052014000100009>.
- Coutinho MM, Freitas LG, Dallemole-Giaretta R, Neves WS, Lopes EA, Ferraz S, 2009. Controle de *Meloidogyne javanica* com *Pochonia chlamydosporia* e farinha de sementes de mamão. Nematologia Brasileira. 33(2), 169-175.
- CQFS-RS/SC – Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 376p.
- Dias CR, Ribeiro RCF, Ferraz S, Vida JB, 1999. Efeito de frações de esterco bovino na eclosão de juvenis de *Meloidogyne incognita*. Nematologia Brasileira. 23(2), 34-39.

Dias WP, Asmus GL, Silva JFV, Garcia A, Carneiro GES. 2010. Nematoides, in: Almeida, AMR, Seixas, Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura. Embrapa Soja, Londrina, pp. 173-206.

Embrapa. 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 3, 319p.

Façanha AR, Façanha ALO, Olivares FL, Guridi F, Santos G.A, Velloso ACX, Rumjanek VM, Brasil F, Schripsema J, Braz-Filho R, Oliveira MA, Canellas LP. 2002. Bioatividade de ácidos húmicos: efeitos sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 37(9), 1301-1310.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000900014>

FAO. World Health Organization. 2017. The state of food security and nutrition in the world 2017: building climate resilience for food security and nutrition. Food and Agriculture Org. <http://www.fao.org/3/a-i7695e.pdf>.

Ferdous J, Mannan M. A, Haque M. M, Mamun M. A. A, Alam M. S. 2018. Chlorophyll content, water relation traits and mineral ions accumulation in soybean as influenced by organic amendments under salinity stress. *Australian Journal of Crop Science*, 12(12), 1806.

Ferraz LCCB, Brown DJ.F, 2016. Nematologia de plantas: fundamentos e importância. Ferraz, LCCB, Brown, e DJF. (Orgs.). Norma Editora, Manaus, 251p.

Ferraz S, Freitas LGO, 2008. Controle de fitonematoides por plantas antagonistas e produtos naturais. Departamento de Fitopatologia- UFV.1-17.

Ferraz S, Freitas LG de, Lopes EA, Dias-Arieira CR, 2010. Manejo sustentável de fitonematoides. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 245.

Ferreira EB, Cavalcanti PP, Nogueira DA. 2018. ExpDes. pt: Experimental Designs package. R package version 1.2. 0. Retrieved Sept. 11, 2018.

Franchini JC, Debiassi H, Dias WP, Ramos Junior EU, Silva JFV. 2014. Perda de produtividade da soja em área infestada por nematoide-das-lesões radiculares na região médio norte do Mato Grosso. Embrapa Soja-Capítulo em livro científico (ALICE).

Freitas JRB, Moitinho MR, De Bortoli D, Bicalho E, da Silva JF, Siqueira DS, Pereira GT. 2017. Soil factors influencing nematode spatial variability in soybean. *Agronomy Journal*, 109(2), 610-619.

Galbieri R, Vaz CMP, Asmus GL, Crestana S, Matos ES, Magalhães C AS. 2016. Influência de parâmetros de solo na ocorrência de fitonematoides. *Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: Biologia e medidas de controle*. Galbieri, R, Belot JL (Eds). Instituto Mato-grossense do Algodão–IMAmt, Cuiabá, 37-89.

Goulart AMC, 2008. Aspectos gerais sobre nematoides-das-lesões-radiculares (gênero *Pratylenchus*), first ed. Embrapa Cerrados, Planaltina. 30p (Documentos).

Inomoto MM, Siqueira KMS, Machado ACZ. 2011. Sucessão de cultura sob pivô central para controle de fitonematoides: variação populacional, patogenicidade e estimativa de perdas. *Tropical Plant Pathology*, 36, 178-185. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-56762011000300006>.

Kantolic AG, Carmona MA. 2012. Bases ecofisiológicas para geração do rendimento: relação com o efeito de doenças foliares e com uso de fungicidas em soja. In: Reis, EM, Casa, RT. *Doenças da soja: etiologia, sintomatologia, diagnose e manejo integrado*. Passo Fundo: Berthier, p. 436.

Nazareno GG, Junqueira AMR, Peixoto JR, 2010. Utilização de matéria orgânica para o controle de nematoides das galhas em alface sob cultivo protegido. *Bioscience Journal*, Uberlândia. 26(4), 579-590.

McSorley RR, Gallaher RN. 1995. Cultural practices improve crop tolerance to nematodes. *Nematropica*. 25(1), 53–60.

- McSorley R. 1998. Alternative practices for managing plant-parasitic nematodes. *American Journal of Alternative Agriculture*. 13, 98–104. <https://doi.org/10.1017/S0889189300007761>.
- OKA Y. 2010. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments – A review. *Applied Soil Ecology*. 44, 101-115. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.11.003>.
- Oostenbrink R. 1966. Major characteristics of the relation between nematodes and plants. *Mededeelingen der Landbouw-Hoogeschool*. 66(4), 1-46.
- Pereira JC, Zambolim L, Vale FXR, Chaves GM. 1996. Compostos orgânicos no controle de doenças de plantas. *Revisão Anual de Patologia de Plantas, Viçosa*. 4, 353-380.
- Ramires MF, de Souza EL, Fontanive DE, Bianchetto R, Krynski AM, Cezimba JCG, Antonioli ZI. 2019. Ecotoxicology of Pig Slaughterhouse Waste Using *Lactuca sativa* L, *Raphanus sativus* L, and *Oryza sativa* L. *Revista Brasileira de Ciência do Solo (Online)*, Viçosa. 43, 1p. <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcs20180119>.
- Ribeiro HB, Ribeiro RCF, Xavier AA, Campos VP, Dias-Arieira CR, Mizobutsi EH. 2012. Resíduos de frutos de pequi no controle do nematoide-das-galhas em tomateiro. *Horticultura Brasileira*, Brasília. 30(3), 453-458.
- Ritzinger CHS, Fancelli M. 2006. Manejo integrado de nematóides na cultura da bananeira. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 28(2), 331-338.
- Rocha MR, De Carvalho Y, Corrêa GC, Cunha MG, Chaves LJ. 2007. Efeito da calagem e da adubação potássica sobre o nematóide *Heterodera glycines* (Ichinohe, 1952). *Agrociencia*. 11, 31–38.
- Rodriguez-Kabana R. 1986. Organic and inorganic nitrogen amendments to soil as nematode suppressants. *Journal of Nematology*, Lakeland. 18, 129-135.
- Santana-Gomes SDM, Dias-Arieira CR, Biela F, Cardoso MR, Fontana LF, Puerari HH. 2015. Sucessão de culturas no manejo de *Pratylenchus brachyurus* em soja. *Nematropica*. 44(2), 200-206.

Silva FJ, Ribeiro RC, Xavier AA, Santos Neto JA, Souza MA, Dias Arieira CR. 2016. Rhizobacteria associated with organic materials in the control of root-knot nematode in tomato. *Horticultura Brasileira*, 34(1), 59-65.

Soares EMB, Silva CA, Dias BO, Bettiol W, Belizário MH. 2008. Frações da matéria orgânica de Latossolo sob influência de doses de lodo de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 43(9), 1231-1240. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008000900018>.

Steffen GPK, Schiedeck G, Steffen RB, Antonioli ZI. 2017. Vermicompostagem de resíduos orgânicos - Guia prático de perguntas e respostas, first ed. Gráfica e Editora RJR, Porto Alegre. 1. 74.

Stevenson FJ. 1994. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*, second ed. John Wiley and Sons, Inc, New York.

Stirling GR. 1991. *Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes: Progress, Problems and Prospects*. Wallingford : CAB International, pp. 282.

Soil Survey Staff, 2014. *Keys to Soil Taxonomy*, 12th ed. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C.

TEAM RC. 2012. *A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. URL <https://www.R-project.org>, 2019.

Vaughan, D, Malcom, RE, ORD, BG, 1985. Influence of humic substances on biochemical processes in plants, in: Vaughan, D, Malcom, RE (Eds). *Soil organic matter and biological activit*. Dordrecht, Martinus Nijhoff/Junk W. 77-108. https://doi.org/10.1007/978-94-009-5105-1_3.

Vione ELB, da Silva LS, Cargnelutti FA, Aita NT, Morais AF, Silva AAK. 2018. Caracterização química de compostos e vermicompostos produzidos com casca de arroz e dejetos animais. *Revista Ceres*, 65(1), 65-73. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201865010009>.

Watson JR. 1922. Bunch velvet bean to control root-knot. Gainesville: University of Florida Agricultural Experiment Station. (Bulletin, 163).

Widmer TL, Mitkowski NA, Abawi GS. 2002. Soil organic matter and management of plant-parasitic nematodes. *Journal of Nematology*. 34(4), 289-295.

Table 1. Chemical analysis of organic fertilizers, cattle manure (CM); cattle vermicompost (CV); cattle compost (CC); Slaughterhouse swine compost (SSC), used in this study for fertilization of soybean plants under greenhouse conditions.

Variables	CM	CV	CC	SSC
pH - H ₂ O	7.1	7.2	6.5	4.4
C-organic (g.Kg ⁻¹)	174	170	120	320
N (g.Kg ⁻¹)	12	11	11	47
C/N	140	154	110	70
P (g.Kg ⁻¹)	7	16	8	16
K (g.Kg ⁻¹)	12	3	7	3
Ca (g.Kg ⁻¹)	11	41	12	41
Mg (g.Kg ⁻¹)	15	5	6	5
Na (g.Kg ⁻¹)	1	0,4	1	2

Table 2. Presence of *Pratylenchus brachyurus* 21 days after inoculation in soybean (NR 5909, Nidera) plants treated with organic fertilizers under greenhouse conditions.

Treatments	Shoot dry mass(g)	NPN	NNGR
Cattle manure (CM)	1.6 a	13 b	8 d
Cattle vermicompost (CV)	1.4 a	33 b	23 c
Cattle compost (CC)	1.5 a	9 b	6 d
Slaughterhouse swine compost (SSC)	1.4 a	110 a	76 a
Mineral fertilizer (control)	1.4 a	68 c	48 b
<i>P</i> anova	0,75	0,0001	0,03
Psk	<0.05	<0.05	<0.05
Psw	0,92	0,86	0,19
CV%	21,3	35	48

NPN: number of present nematodes; NNGR: number of nematodes in root gram. The values are means of 6 replicates, different letters in different columns indicate significant difference using one-way ANOVA with post-hoc Skott-Knott test ($P < 0.05$). Psk: *P* value of the Scott-Knott test; Psw: *P* value of the Shapiro-Wilk test. CV: coefficient of variation.

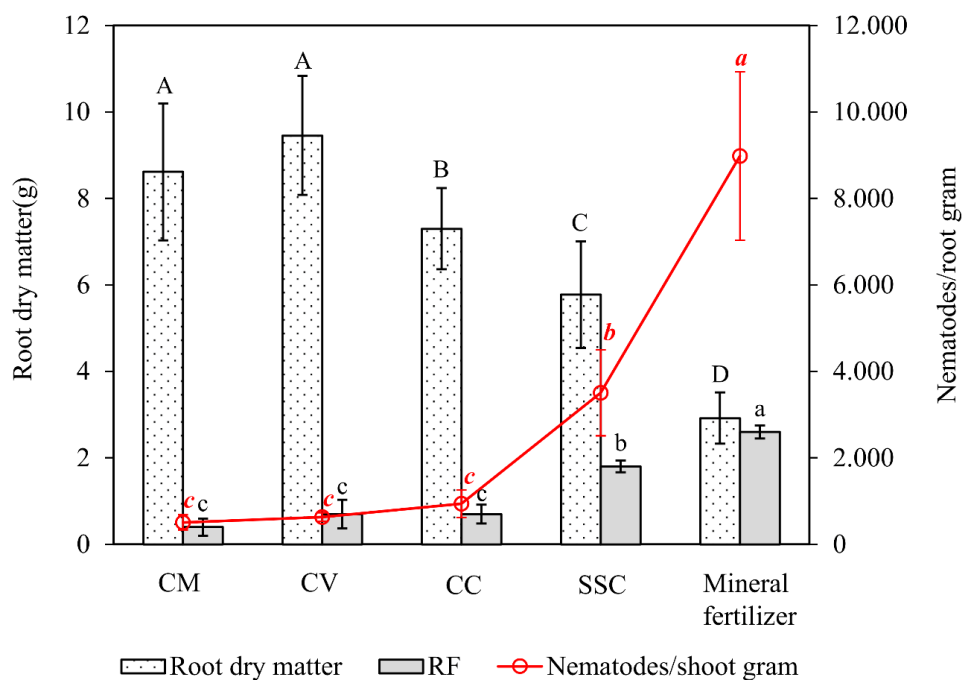


Figure 1. Root dry matter, number of present nematodes to root gram and reproduction factor of *Pratylenchus brachyurus* in soybean plants (NR 5909) submitted to different organic fertilizers 90 days after inoculation of *P. brachyurus* in the green house conditions. CM- cattle manure; CV- cattle vermicompost; CC- cattle compost and SSC- slaughterhouse swine compost.

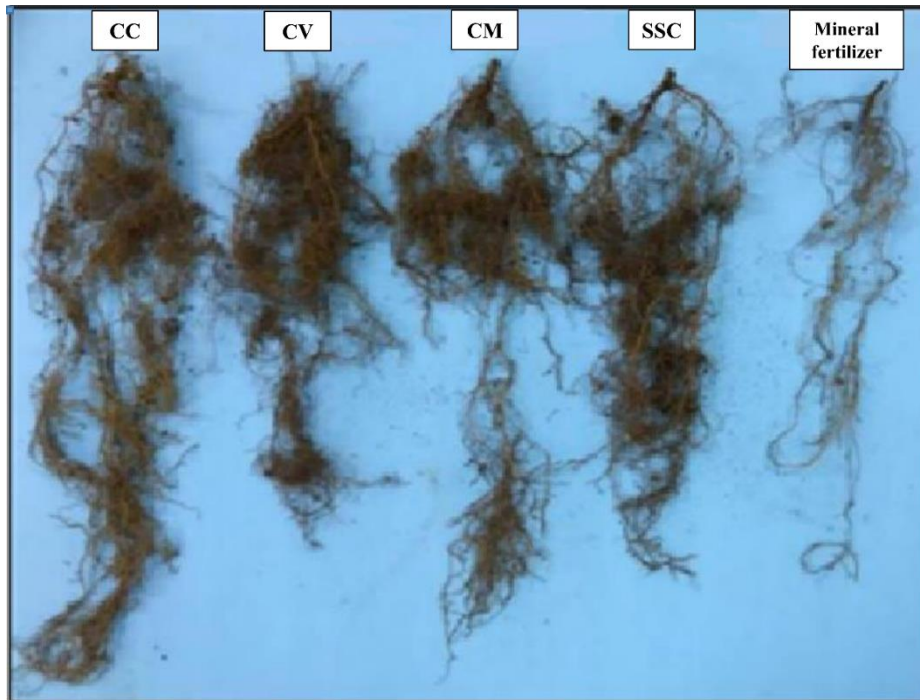


Figure 2. Soybean plants submitted to different organic fertilizers, 90 days after inoculation of *Pratylenchus brachyurus* in the green house conditions. CM- cattle manure; CV- cattle vermicompost; CC- cattle compost and SSC- slaughterhouse swine compost.

4 ARTIGO 2

Compostos orgânicos e reprodução de *Meloidogyne javanica* em tomateiro

Artigo submetido a revista Nematropica.

Qualis – B2

Mariana Fereda Dossin*¹; Cristiano Bellé²; Nariane de Andrade¹; Priscila Amaro³; Rodrigo Ferraz Ramos¹; Zaida Inês Antonioli¹.

¹ Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Solos, Avenida Roraima 1000, 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

² Phytus Group, Estação experimental de Itaara, 97185-000, Itaara, Rio Grande do Sul, Brasil.

³ Agrum – Agrotecnologias integras Ltda. Caixa Postal 2015, Bairro Camobi, 97110-970, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

*Autor para correspondência: marianadossin@yahoo.com.br. Telefone: (+55 55 997175454).

RESUMO

Dossin, M.F, Bellé, C, de Andrade, N, Amaro, P, Ramos, R.F, Antonioli, Z.I. Compostos orgânicos e reprodução de *Meloidogyne javanica* em tomateiro. Nematropica 41: 00-00.

O nematoide das galhas, *Meloidogyne javanica*, tem causado perdas significativas em uma grande diversidade de culturas vegetais no Brasil. A adição de compostos orgânicos no solo pode reduzir a população desses fitonematoides. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de um composto bovino (CB) e um composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) sobre desenvolvimento de *M. javanica* em tomateiro. Foram inoculados 2000 ovos e juvenis de segundo estágio de *M. javanica* em mudas de tomate. As avaliações foram realizadas a cada 5 dias após a inoculação dos nematoides (DAI), utilizando-se seis plantas de cada tratamento. As avaliações de desenvolvimento do nematoide foram realizadas até o 30º

DAI, quando houve o aparecimento de massas de ovos. Aos 60 DAI outro conjunto de plantas foi avaliado quanto à massa fresca de raízes, massa seca de parte aérea, ao número de galhas, a população final e ao fator de reprodução. Os tratamentos testados não apresentaram ação de controle sobre o desenvolvimento de *M. javanica*. O CFS promoveu incrementos na biomassa vegetal do tomateiro. O CB não diferiu da adubação mineral. Todos os tratamentos testados promoveram a reprodução de *M. javanica* ($FR > 1$) em raízes de tomateiro.

Palavras-chave: nematoide das galhas, *Solanum lycopersicum*, fertilizante orgânico.

ABSTRACT

Dossin, M.F, Bellé, C, de Andrade, N, Amaro, P, Ramos, R.F, Antonioli, Z.I. Organic compounds and reproduction of *Meloidogyne javanica* in tomato. Nematropica 41: 00-00.

The root-knot nematode, *Meloidogyne javanica*, has caused significant losses in a great diversity of vegetable cultures in Brazil. The addition of organic compounds could reduce the population of these phytonematoids. The objective of this work was to evaluate the performance of a bovine compost (BC) and a slaughterhouse swine compost (SSC) residue compound on *M. javanica* development in tomato. We inoculated 2000 eggs + specimens of *M. javanica* in tomato seedlings. The evaluations were performed every 5 days after inoculation of the nematodes (DAI), using six plants from each treatment. The nematode development evaluations were carried out until the 30th DAI, when egg masses appeared. At 60 DAI, another set of plants was evaluated for fresh root weight, dry shoot weight, number of galls, final population and reproduction factor. CB and CFS did not show any action on the development of *M. javanica*. The CFS promoted increases in tomato biomass. CB did not differ from mineral fertilization. All tested treatments promoted the reproduction of *M. javanica* ($FR > 1$) in tomato roots.

Key-words: root-knot nematode, *Solanum lycopersicum*, organic fertilizer.

INTRODUÇÃO

Os fitonematoides do gênero *Meloidogyne* Goeldi, estão entre os patógenos mais prejudiciais, com mais de 2000 espécies vegetais hospedeiras, causando grandes perdas na produção, principalmente na agricultura tropical e subtropical (Luc et al., 2005). Este grupo de fitoparasita biotrófico obrigatório é adaptável aos mais diversos ambientes, e apresenta comportamento endoparasítico sedentário, sendo amplamente conhecido como nematoides-das-galhas (Ferraz e Brown, 2016). Há registros de redução de 14,6% na produção total de alimentos nos países subtropicais na presença de nematoides desse grupo (Nicol et al., 2011).

No Brasil, as espécies mais comuns são *Meloidogyne incognita* (Kofoid e White) Chitwood, *M. javanica* (Treub) Chitwood e *M. arenaria* (Neal) Chitwood (Terra et al., 2018). Estas espécies encontram-se distribuídas em diferentes regiões do país, causando injúrias e apresentando difícil controle em culturas anuais e perenes, como soja, café, tomate, videira, cana-de-açúcar e pepino (Moens et al., 2009; Ferraz et al., 2012; Nazareno et al., 2010; Bellé et al., 2017; Schmitt et al., 2018; Debia et al., 2019). Plantas parasitadas por nematoides do gênero *Meloidogyne*, apresentam desenvolvimento inadequado da parte aérea pela formação das galhas. Isto ocorre devido à ação dos nematoides nas raízes, pela dificuldade na absorção e no transporte de água e nutrientes do solo, resultando em redução do dossel vegetativo e redução da produtividade vegetal (Ferraz et al., 2010).

Os danos causados pelos nematoides-das-galhas variam de acordo com a espécie de vegetal, com a espécie do nematoide, com as condições edafoclimáticas (temperatura e umidade), textura do solo, teor de matéria orgânica e nível populacional no solo (Ferraz e Brown, 2016). O manejo sustentável de fitonematoides inclui um conjunto de práticas de manejo, desde o uso de cultivares resistentes, rotação de culturas, condicionamento do solo, agentes de biocontrole e controle químico (Ferraz et al., 2010; Costa et al., 2014).

Dentre as estratégias de controle, a adição de materiais orgânicos apresenta grande potencial, visto que além de proporcionar fornecimento de nutrientes para as plantas e melhorias na qualidade do solo, tem sido amplamente estudada para supressão de patógenos do solo, incluindo nematoides (Akhtar e Mahmood, 1996; Oka, 2010; Mc Sourley, 2011; De Melo Santana-Gomes et al., 2013). A adição de material orgânico pode ser realizada em sistemas de agricultura orgânicos e convencionais. Neste segundo caso, a adição destes permite que os agricultores convencionais reduzam ou não se faça necessário o uso de adubações e nematicidas químicos (Oka, 2010). Ainda, permite que exista um ambiente favorável ao desenvolvimento de processos naturais e interações biológicas positivas no solo, por meio da diversificação espacial e temporal dos organismos, permitindo uma redução natural da população de organismos patogênicos (Loss et al., 2010).

Sabe-se que as alterações provocadas pelo incremento de matéria orgânica interferem na comunidade microbiana do solo, incluindo bactérias, fungos e nematoides de vida livre (Oka, 2010). Muitos destes organismos, ou os seus metabólitos, podem ser benéficos para o crescimento das plantas ou predadores em relação aos agentes patogênicos como os fitonematoides. Diferentes resíduos orgânicos têm efeitos comprovados na redução da densidade populacional de fitonematoides e no aumento da produtividade de diversas culturas. Dentre eles cabem destacar o esterco animal, produtos de processos de compostagem e vermicompostagem de origem animal, tortas vegetais, que por apresentarem diversidade em suas composições químicas, proporcionam diferentes mecanismos de supressão de nematoides (Nazareno et al., 2010; Bernardo et al., 2011; Asmus e Nunes, 2014; Carvalho, 2017; Ferreira et al., 2017; Ferreira, J. C. A et al., 2018). Esses materiais têm tipicamente baixa relação C/N e alto conteúdo de proteína ou aminoácidos (Rodriguez-Kàbana et al., 1987), sendo que no processo de decomposição da matéria orgânica, poderá haver liberação de subprodutos como compostos nitrogenados e ácidos orgânicos.

Em trabalhos realizados por Bernardo et al. (2011) os autores observaram redução de *M. javanica* em tomateiro e maior desenvolvimento das plantas com a adição de compostos orgânicos. Resultados semelhantes foram observados na redução de *Rotylenchulus reniformis* em plantas de algodão verificados por Asmus e Nunes (2014) devido à adição de compostos orgânicos obtidos de resíduos de frigoríficos e de curtumes. Também, em trabalhos realizados por Freitas et al. (2017), os autores observaram que o aumento dos teores de matéria orgânica e de potássio promoveram a redução do número de *Pratylenchus brachyurus* e *Meloidogyne* sp. por grama de raízes, devido ao engrossamento das raízes, dificultando a ação dos fitoparasitas.

A elucidação dos mecanismos envolvidos na supressão de fitonematoides em solos agrícolas pode conduzir ao desenvolvimento de estratégias de controle mais eficazes. Assim, o trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de um composto bovino e um composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos em relação à adubação mineral convencional sobre o desenvolvimento de *M. javanica* em plantas de tomate.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa de vegetação e o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC). O inoculo utilizado foi obtido de uma população pura de *M. javanica*, multiplicada em plantas de tomate “Santa Cruz Miss Brasil”, em vasos com capacidade de cinco litros, contendo solo autoclavado (120°C, 1,5h), cultivados em casa de vegetação. Os ovos e juvenis de segundo estágio (J2) utilizados foram extraídos das raízes das plantas de tomate, conforme técnica descrita por Hussey e Barker (1973) modificada por Bonetti e Ferraz (1981). Para obtenção dos compostos orgânicos, os resíduos orgânicos, esterco bovino e o resíduo de frigorífico de abate de suínos (constituído pelo material residual do intestino de suínos, como restos de ração, água, sangue, pelos e outros) foram processados por meio de compostagem aerada até a estabilização e, quimicamente analisados (Tabela 1).

Unidades experimentais, solo e compostos orgânicos

Para avaliação do desenvolvimento e da reprodução de *M. javanica* em plantas de tomate, foram utilizados copos plásticos de 750 mL, contendo substrato (mistura de areia e solo na proporção 2:1) esterilizado. As unidades experimentais contendo o substrato, receberam dose de calcário para correção da acidez e foram adubadas conforme necessidade para a cultura do tomateiro seguindo análise preliminar do solo. As recomendações foram baseadas no Manual de Calagem e Adubação para os Estados do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2016).

Foram testados três diferentes fertilizantes na supressão de *M. javanica*, sendo dois compostos orgânicos e um mineral: composto bovino (CB), composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubo mineral. O solo utilizado nas unidades experimentais é classificado pela Embrapa (2013) como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico típico e também foi caracterizado quimicamente. Os valores obtidos na análise química do solo foram: pH (1:1) 4,9, Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) 1,7, Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) 0,5, Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) 23,3, H+Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) 6,9, CTC pH7 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) 9,2, Saturação por bases (%) 25,3, Índice SMP 5,6, MO (%) 1,5, P-Melich (mg dm^{-3}) 13,1, e K (mg dm^{-3}) 44.

Assim, plantas individuais de tomate, cultivar ‘Santa Cruz Miss Brasil’, foram transplantadas para as unidades experimentais (copos plásticos), cerca de 10 dias após a emergência, e inoculadas, cinco dias após o transplante das mudas com uma suspensão de 2.000 ovos + juvenis de 2º estágio (J2) de *M. javanica*. A adubação das unidades experimentais foi realizada visando o máximo rendimento da cultura do tomate, seguindo análise preliminar do solo e dos compostos orgânicos a serem testados. Sendo assim, foram necessários 190, 150 e 180 Kg ha^{-1} de N, P e K, respectivamente. A quantidade de compostos orgânicos requerido para cada tratamento foi convertido para gramas por quilograma de solo. A dose de cada fertilizante foi obtida pela seguinte fórmula:

Equação 1:

$$X = \frac{A}{\frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \frac{D}{100}}$$

Sendo: X= Quantidade do fertilizante orgânico sólido aplicado ou a aplicar (Kg/ha; g/Kg de solo); A= Quantidade do elemento nutriente (exemplo: potássio ou nitrogênio) a ser aplicado ou a aplicar (Kg/ha; g/planta); B= Teor de matéria seca do fertilizante (%); C= Teor do nutriente na matéria seca (%); D= Índice de eficiência do nutriente (%).

Então, foram adicionados aos vasos de cultivo de tomate, 23,1 e 27 gramas de composto bovino e composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos, respectivamente, para atender as demandas do tomateiro. As quantidades de nutrientes foram balanceadas de acordo com o nutriente de maior exigência pela cultura. Para fins de comparação, utilizou-se adubação mineral convencional, na formulação 10-10-10 (N-P-K), 50 gramas por vaso, como tratamento testemunha.

Desenvolvimento e fator de reprodução de Meloidogyne javanica em tomateiro sob ação de compostos orgânicos

As avaliações do desenvolvimento de *M. javanica* em tomateiro foram realizadas aos 5, 10, 15, 20, 25, 30 dias após a inoculação (DAI), utilizando-se seis plantas de cada tratamento. Para a isso, as raízes de cada planta, foram separadas da parte aérea, lavadas e coradas, pelo método de coloração com fucsina ácida descrito por Byrd et al. (1983). Após a coloração das raízes, essas, foram posicionadas em uma lâmina de vidro com uma gota de glicerina e levadas ao microscópio óptico para serem examinadas, quantificadas e foto documentas quanto ao estágio de desenvolvimento de *M. javanica* (J2, J3/J4, fêmeas e ovos) e quanto ao número de nematoides penetrados por grama de raízes (NNGR). As avaliações foram realizadas até o 30º dia após a inoculação quando foi verificada a presença de massas de ovos nas raízes das plantas.

Para a determinação do fator de reprodução (FR) e de outras variáveis nematológicas, como número de galhas, e população final de nematoides, as plantas foram conduzidas até o 60º dia após a inoculação do nematoide. Foram avaliados também parâmetros vegetativos da planta como matéria seca de parte aérea e massa fresca de raízes. O Fator de Reprodução (FR) do nematoide foi calculado de acordo com o proposto por Oostenbrink (1966), em que $FR = Pf / (população\ final) / Pi$ (população inicial).

Análise estatística

Os resultados do número de espécimes por grama de raízes, número de galhas, fator de reprodução, matéria seca de parte aérea e massa fresca de raízes foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-wilk (5% de probabilidade). Os dados considerados não normais foram transformados pela fórmula $\sqrt{x + 1}$. Posteriormente procedeu-se com a análise de variância e, quando os efeitos foram significativos, as médias foram comparadas pelo teste de agrupamento de médias, Scott-Knott a 95% de probabilidade. A análise da variância foi realizada por meio do pacote ExpDes.pt package (Ferreira, E. B. et al., 2018) no software R (R CORE TEAM, 2019).

RESULTADOS

Desenvolvimento de Meloidogyne javanica em tomateiro sob ação de compostos orgânicos

Até o 10º dia após a inoculação dos nematoides (DAI) em plantas de tomate, não foram verificadas diferenças significativas de juvenis de segundo estágio (J2) de *M. javanica* penetrados nos três tratamentos testados (Tabela 2; Figura 1 e 2). A partir do 15º DAI foram observadas diferenças significativas de J2 entre os tratamentos, em que, o tratamento contendo composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS=52) apresentou cerca de 50%

menos J2 que os tratamentos contendo composto bovino (CB=121) e adubação mineral (AM=115).

Nos três tratamentos testados, aos 15 DAI foram observados juvenis de 3º e 4º estágio (Figura 1), e não houve diferenças significativas entre os tratamentos testados. No 20º DAI houve considerável aumento de J3/J4 nas raízes do tratamento contendo CFS (845), bem como o aparecimento de fêmeas imaturas em todos os tratamentos (Tabela 2; Figura 1 e 2). Contudo, no tratamento contendo CFS o número de fêmeas imaturas foi três vezes maior que nos demais tratamentos (CFS=261; CB=87; AM=60).

Aos 25 DAI verificou-se baixa presença de J2, e aumento de J3/J4 e fêmeas imaturas em todos os tratamentos. Especialmente o tratamento contendo CB apresentou maior número de fêmeas aos 25 DAI (460) em relação ao CFS (282) e AM (277). Aos 30 DAI foi observado o aparecimento das primeiras massas de ovos (figura 1). Os tratamentos contendo compostos orgânicos, CB e CFS apresentaram maior número de J3/J4 e fêmeas em relação ao tratamento AM. Aos 30 DAI o número de J2 no tratamento contendo adubação mineral foi significativamente maior que nos tratamentos com compostos orgânicos (CB= 33; CFS=26 e AM= 56). Entretanto, houve diferenças significativas no número de J3/J4 entre os tratamentos, em que o CB e CFS apresentaram as maiores médias. Em relação ao número de fêmeas aos 30 DAI, os tratamentos CB e CFS apresentaram as maiores médias, diferindo significativamente do AM. Aos 30 DAI foram observadas as primeiras massas de ovos em todos os tratamentos testados e as avaliações de desenvolvimento foram cessadas, visto que iniciaria outro ciclo do nematoide (Tabela 2; Figura 1 e 2).

*Parâmetros vegetativos de plantas de tomate e variáveis nematológicas de *Meloidogyne javanica* em tomateiro sob ação de compostos orgânicos*

Para avaliação de parâmetros vegetativos das plantas de tomate e de parâmetros nematológicos, a avaliação prosseguiu até os 60 DAI. Aos 60 DAI, foram avaliadas a massa fresca de raízes e massa seca de parte aérea de plantas de tomate e também parâmetros nematológicos, como o número de galhas por planta, população final do nematoide, número de nematoides por grama de raiz e por fim, fator de reprodução dos nematoides nos tratamentos testados.

Para todas as variáveis analisadas foram observadas diferenças significativas em todos os tratamentos (Tabela 3). Em relação à massa fresca de raízes, o tratamento contendo o composto suíno (CFS), apresentou maior incremento de peso (CFS=12,9 g), o dobro comparado ao composto bovino (CB=5,1 g) e a adubação mineral (AM=5,1 g). A massa seca de parte aérea também diferiu de forma significativa entre os tratamentos testados, sendo que o CFS apresentou a maior média (5,8 g), duas vezes maior que os demais tratamentos (CB=2,1 g; AM=2,7 g) (Tabela 3; Figura 3).

Em relação ao número de galhas, o tratamento CFS apresentou o maior número de galhas (509), seguido da AM (273) e do CB (191) os quais não diferiram estatisticamente. Todos os tratamentos testados aumentaram o número de nematoides nas raízes de tomateiro, em que o CFS apresentou o maior número de nematoides (117.000), seguido de AM (93.000), os quais diferiram estatisticamente do tratamento CB (30.300), que apresentou três vezes menos nematoides ao final dos 60 DAI. Todos os tratamentos testados nesse estudo, permitiram reprodução dos nematoides ($FR > 1$). Entretanto, o tratamento CB apresentou o menor fator de reprodução ($FR = 15$), sendo três vezes menor do que o observado nos tratamentos CFS (58) e AM (46) (Tabela 3).

DISCUSSÃO

Todos os tratamentos testados nesse estudo promoveram o aumento populacional de *M. javanica* em plantas de tomate e possibilitaram o desenvolvimento do primeiro ciclo do nematoide, trinta dias após a inoculação (DAI). A visualização de juvenis de segundo estágio (J2) já foi possível aos 5 DAI, demonstrando não haver interferência dos compostos no desenvolvimento inicial de *M. javanica*. Na fase exofítica (solo), os J2 apresentam-se extremamente vulneráveis e precisam encontrar rapidamente uma planta hospedeira para poder sobreviver. Na presença de um hospedeiro suscetível e de condições favoráveis ao parasitismo, penetram nas raízes com facilidade. Na fase endofítica (raízes), iniciam sua alimentação, movendo-se para células próximas aos feixes vasculares, onde podem desenvolver o sítio de alimentação (Moens et al., 2009). Aos 10 DAI observou-se a formação de deformidades nas raízes em todos os tratamentos testados. Isso porque com a presença dos nematoides nas raízes das plantas, ocorrem respostas fisiológicas na planta, com hipertrofia e hiperplasia das células, originando a célula gigante (Moens et al., 2009), que ocorre paralelamente à formação das galhas que são os sintomas típicos causados por nematoides desse gênero.

Aos 15 DAI foi visualizado elevado número de J3/J4 de *M. javanica* nas raízes de tomate, principalmente nos tratamentos CB e CFS. Aos 20 DAI o número de J3 e J4 foram ainda maiores nos tratamentos CB e CFS, em que o CFS apresentou maiores médias. Isso pode estar relacionado ao incremento de MFR que o CFS promoveu nas plantas de tomate, pela qualidade química dos compostos orgânicos, possibilitando uma maior área para a penetração dos nematoides. Quando as condições são favoráveis ao parasitismo, ocorrem ecdises para o terceiro e quarto estágio juvenil (J3 e J4) em aproximadamente 14 dias e, por fim, adultos (Moens et al., 2009). As condições para o parasitismo foram favoráveis em todos os tratamentos, visto que aos 20 DAI foi observada a presença de fêmeas. Em condições ótimas para o parasitismo, a espécie *M. javanica* pode completar um ciclo em até 30 dias (Moens et al., 2009).

Aos 30 DAI foram observadas as primeiras massas de ovos e a presença de J2 reinfestantes. Essa reinfestação foi possível devido à presença de fêmeas maduras, as quais ovipositaram, dando origem a uma nova geração de espécimes de *M. javanica* (Freire et al., 2007). O desenvolvimento e sucesso de parasitismo de *M. javanica* frente aos tratamentos orgânicos propostos, foi confirmado, ao final do 60 DAI, quando as plantas foram novamente avaliadas para determinação dos parâmetros vegetativos, e do número de galhas (NG), do número de nematoides por grama de raízes (NNGR), população final (PF) e fator de reprodução (FR). O CFS apresentou o maior NG, o qual relaciona-se diretamente com o resultado encontrado para NNGR e PF. O FR foi maior que um ($FR > 1$) em todos os tratamentos testados, no entanto o FR encontrado tanto no CFS quanto no AM foi em média quatro vezes maior em relação ao FR do CB.

Nesse estudo, o CFS apresentou-se como uma alternativa viável de nutrição de plantas, resultando em maior aporte de MSPA e MFR (Figura 3). Contudo, o CFS apresentou o maior FR de *M. javanica*, bem como maior NG e NNGR. Esses resultados demonstram que uma planta bem nutrida, com o substrato adequado para seu desenvolvimento, pode suportar o parasitismo de *M. javanica*. Contudo, em relação à supressão de *M. javanica*, os compostos orgânicos estudados, divergem dos resultados reportados na literatura, em que a adição de materiais orgânicos promoveu redução de fitonematoides (Nazareno et al., 2010; Bernardo et al., 2011; Almeida et al., 2012; Asmus e Nunes, 2014; Silva et al., 2016). Salienta-se, que a influência do material orgânico adicionado ao solo é dependente da composição do mesmo. O efeito de qualquer material orgânico sobre a população de fitonematoides é variável. Ainda que os materiais orgânicos aumentem a produtividade e forneçam nutrientes para as culturas, o efeito sobre os nematoides pode variar com as espécies de nematoide e os tipos de matéria orgânica utilizada (Mc Sorley e Gallaher, 1996, 1997).

Os compostos orgânicos, quando adicionados ao solo podem apresentar efeito supressivo ou condutivo em função da sua relação C/N, sendo a faixa ótima compreendida entre 14:1 e 20:1 (Pereira et al., 1996). Estes, podem favorecer o crescimento e desenvolvimento de espécies predadoras existentes no solo (fungos, bactérias e nematoides de vida livre), e o fornecimento de diferentes metabólitos liberados por meio de sua decomposição, seja para a supressão do fitoparasita, seja para a nutrição vegetal (Akhtar et al., 2000). No caso do CFS, a relação C/N é muito baixa (C/N=7), estimulando apenas grupos limitados de microrganismos decompositores, reduzindo a competitividade a fitonematoides e o incremento de microrganismos predadores (Dias-Arieira et al., 2015).

Portanto, os resultados obtidos nesse estudo se relacionam apenas ao efeito promotor de crescimento/desenvolvimento das plantas de tomate pelo CFS, e não para o controle de *M. javanica*, visto que a densidade populacional aumentou consideravelmente no período avaliado. Pensando num sistema produtivo, onde há sucessão de cultivos, e a maioria das culturas são suscetíveis, esse aumento populacional pode afetar negativamente o desenvolvimento das plantas, podendo inviabilizar a produção. Dessa forma, o manejo integrado, que engloba um conjunto de práticas que permitem uma convivência sustentável com o patógeno, deve ser utilizado. Esse conjunto de práticas de manejo, leva em consideração desde ações preventivas, como o levantamento populacional das espécies de nematoides presentes na área e o uso de cultivares resistentes, até a utilização de práticas que reduzam os níveis populacionais dos fitonematoides, como a utilização de plantas antagonistas, adubação verde, rotação de culturas, pousio, controle biológico e, em casos mais severos o controle químico.

O manejo sustentável de fitonematoides em sistemas de cultivo de culturas suscetíveis apresenta-se como um desafio à pesquisa atual, pois sabe-se que após o estabelecimento de populações de fitonematoides, sua erradicação na área é praticamente impossível e inviável economicamente. Devido à grande variabilidade da composição dos materiais orgânicos, da

variabilidade da eficiência de controle de nematoides, da variabilidade da ação em diferentes espécies, o emprego deste método deve ser analisado de forma integrada com outras estratégias de manejo. Todas as variáveis devem ser consideradas dentro do manejo integrado e sustentável de fitonematoídeos, a fim de reduzir os custos de produção e proporcionar melhoria e conservação da qualidade do solo e do sistema produtivo.

CONCLUSÃO

O composto bovino, o composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos e a adubação mineral favorecem o desenvolvimento e a reprodução de *Meloidogyne javanica*.

O composto de resíduo de frigorífico de abate de suínos favorece o incremento de biomassa vegetal do tomateiro.

O composto bovino e a adubação mineral apresentam ação semelhante quanto ao desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea do tomateiro.

AGRADECIMENTOS

Pelo apoio prestado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Apoio de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo/UFES (PPGCS) e pelo Laboratório de Biologia do Solo, Departamento de Solos/CCR da Universidade Federal de Santa Maria pela infraestrutura.

LITERATURA CITADA

- Akhtar, M., Mahmood, I. 1996. Control of plant-parasitic nematodes with organic and inorganic amendments in agricultural soil. *Applied Soil Ecology*, 4(3): 243-247.
- Akhtar, M., Malik, A. 2000. Roles of organic soil amendments and soil organisms in the biological control of plant-parasitic nematodes: a review. *Bioresource Technology*, 74:35-47.

- Almeida, A. M, Souza, R. M, Gomes, V. M, Miranda, G. B. 2012. Avaliação em casa de vegetação e em campo de diferentes compostos orgânicos contra *Meloidogyne enterolobii*. *Bragantia*, 71(1):67-74.
- Asmus, G. L, Nunes, W. D. A. 2014. Use of slaughterhouse waste and tannery-based organic compost for the management of reniform nematodes. *Nematoda*, 1.
- Bellé, C, Kulczynski, S. M, Kuhn, P. R, Donini, L. P, Gomes, C. B. 2017. Reação de genótipos de cana-de-açúcar ao parasitismo de *Meloidogyne javanica* e *Pratylenchus zaeae*. *Revista Caatinga*, 30(2): 530-535.
- Bernardo, J. T, Freitas, L. G, Yamada, J. K, Almeida, V. S, Dallemole-Giaretta, R, Ferraz, S. 2011. Efeito de adubos orgânicos sobre *Meloidogyne javanica* em Tomateiro. *Nematologia Brasileira*, 35: 10-19.
- Boneti, J.I.S, Ferraz, S. 1981. Modificações do método de Hussey e Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* em raízes de cafeeiro. *Fitopatologia Brasileira*, 6(3): 533.
- Byrd Jr, D. W, Kirkpatrick, T, Barker, K. 1983. An improved technique for clearing and staining plant tissues for detection of nematodes. *Journal of nematology*, 15(1): 142.
- Carvalho, P. 2017. Controle biológico e alternativo de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica* em tomateiro. Dissertação de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia da Universidade de Brasília. Brasília. p.98.
- Costa, M. J. N. D., Pasqualli, R. M., Prevedello, R. 2014. Efeito do teor de matéria orgânica do solo, cultura de cobertura e sistema de plantio no controle de *Pratylenchus brachyurus* em soja. *Summa Phytopathologica*, 40(1): 63-70.
- CQFS-RS/SC- Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC .2016. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 376.

- De Melo Santana-Gomes, S., Dias-Arieira, C. R., Roldi, M., Santo Dadazio, T., Marini, P. M., De Oliveira Barizatilde, D. A. 2013. Mineral nutrition in the control of nematodes. *African Journal of Agricultural Research*, 8(21):2413-2420.
- Débia, P. J. G., Bolanho, B. C., Puerari, H. H., Dias-Arieira, C. R. 2019. Parasitismo por *Meloidogyne javanica* e seus impactos sobre os parâmetros vegetativos, a composição físico-química e o potencial antioxidante da beterraba. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 54(X):00695.
- Dias-Arieira, C. R., Mattei, D., Puerari, H. H., Ribeiro, R. C. 2015. Uso de matéria orgânica no manejo de nematoide-das-galhas em alface. *Horticultura Brasileira*, 33(4): 488-492.
- Embrapa Solos, 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro. 3º ed. p.353.
- Ferraz, L. C. C. B., Brown, D. J. F. 2016. Nematologia de plantas: fundamentos e importância. Norma Editora, Manaus-AM, p.251.
- Ferraz, S., Freitas, G. L., Lopes, S. E., Dias-Arieira, R. C. 2010. Manejo sustentável de fitonematoides. Viçosa, MG, Ed. UFV. 63-100.
- Ferreira, E. B., Cavalcanti, P. P., Nogueira, D. A. 2018. ExpDes. pt: Experimental Designs package. R package version 1.2. 0. Retrieved Sept, 11, 2018.
- Ferreira, J. C. A., Brito, O. D. C., Débia, P. J. G., de Almeida Silva, B., Tarini, G., Dias-Arieira, C. R. 2018. Crambe Cake to *Meloidogyne javanica* Control in Lettuce. *Journal of Agricultural Science*, 10(10).
- Ferreira, J. C., Hernandez, I, Brito, O. D., Cardoso, M. R., Dias-Arieira, C. R. 2017. Dosages of bokashi in the control of *Meloidogyne javanica* in lettuce, in greenhouse. *Horticultura Brasileira*, 35(2): 224-229.
- Freire, E. S., Campos, V. P., Dutra, M. R., Rocha, F. D. S., Silva, J. R. C. D., Pozza, E. A. 2007. Infectividade de juvenis do segundo estágio de *Meloidogyne incognita* em

- tomateiro após privação alimentar em solo e água em diferentes condições. *Summa Phytopathologic*, 33(3): 270-274.
- Freitas, J. R. B., Moitinho, M. R., De Bortoli Teixeira, D., da Silva Bicalho, E., da Silva, J. F., Siqueira, D. S., Pereira, G. T. 2017. Soil factors influencing nematode spatial variability in soybean. *Agronomy Journal*, 109(2):610-619.
- Hussey, R. S., Barker, K. R. 1973. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique. *Plant Disease Reporter*, 57(12).
- Loss, A., Pereira, M. G., Schultz, N., Anjos, L. H. C., Silba, E. M. R. 2010. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. *Bragantia*, Campinas, 69(4): 913-922.
- Luc M., Sikora R. A., Bridge J. 2005. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. CABI, Wallingford, UK. p.871.
- Mcsorley, R. 2011. Overview of organic amendments for management of plant-parasitic nematodes, with case studies from Florida. *Journal of Nematology*, 43(2):69.
- Mcsorley, R., Gallaher, R. N. 1997. Effect of compost and maize cultivars on plant – parasitic nematodes. *Supplement to the Journal of Nematology*, 29: 731-736.
- Mcsorley, R., Gallaher, R.N. 1996. Effect of Yard waste compost on nematode densities and maize yields. *Supplement to the Journal of Nematology*, 28:665- 660.
- Moens, M., Perry, R. N., Starr, J. L. 2009. *Meloidogyne* species – a diverse group of novel and important plant parasites. *Root-knot nematodes*, 1: 483.
- Nazareno, G. G., Junqueira, A. M. R., Peixoto, J. R. 2010. Utilização de matéria orgânica para o controle de nematoides das galhas em alface sob cultivo protegido. *Bioscience Journal*, Uberlândia, 26(4): 579-590.

- Nicol, J. M., Turner, S. J., Coyne, D. L., Den Nijs, L., Hockland, S., Maafi, Z. T. 2011. Current nematode threats to world agriculture. In *Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions*. Springer, Dordrecht, p.21-43.
- Oka, Y. Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments – A review. 2010. *Applied Soil Ecology*, 44:101-115.
- Oostenbrink, R. 1966. Major characteristics of the relation between nematodes and plants. *Mededeelingen der Landbouw-Hoogeschool* 66:1-46.
- Pereira, J. C., Zambolim, L., Vale, F. X. R., Chaves, G. M. 1996. Compostos orgânicos no controle de doenças de plantas. *Revisão Anual de Patologia de Plantas, Viçosa*, 4: 353-380.
- Rodriguez-Kabana, R. 1987. Organic and inorganic nitrogen amendments to soil as nematode suppressants. *Journal of Nematology*, 18(2): 129.
- Schmitt, J., Bellé, C., Jacques, R. J. S., Cares, J. E., Antonioli, Z. I. Detection of *Meloidogyne arenaria* in cucumber in Rio Grande do Sul state, Brazil. 2018. *Australasian plant disease notes*, 13(1): 8.
- Silva, F. J., Ribeiro, R. C., Xavier, A. A., Santos Neto, J. A., Souza, M. A., Dias-Arieira, C. R. 2016. Rizobactérias associadas a materiais orgânicos no controle de nematoides das galhas em tomateiro. *Horticultura Brasileira*, 34(1): 59-65.
- Terra, W. C., da Silva, J. C. P., Campos, V. P., de Lima Salgado, S. M. 2018. Root-knot and lesion nematodes in coffee seedlings produced in the state of Minas Gerais, Brazil. *Coffee Science*, 13(2):178-186.
- Team, R. C. 2019. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*.

Tabela 1. Análise química dos compostos orgânicos, composto bovino (CB) e composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) utilizados no experimento, em 100 gramas de amostra.

Determinações	CB	CFS
pH - H ₂ O (1:1)	65	44
C-orgânico (g.Kg ⁻¹)	120	320
Nitrogênio (g.Kg ⁻¹)	11	47
Relação C/N	110	70
Fósforo total (g.Kg ⁻¹)	8	16
Potássio total (g.Kg ⁻¹)	7	3
Cálcio total (g.Kg ⁻¹)	12	41
Magnésio total (g.Kg ⁻¹)	6	5
Sódio total (g.Kg ⁻¹)	1	2
Ferro (g.Kg ⁻¹)	11	2
Enxofre (g.Kg ⁻¹)	2	3
Manganês (mg/Kg ⁻¹)	591	320
Cobre (mg/Kg ⁻¹)	30	162
Zinco (mg/Kg ⁻¹)	167	0,1
Boro (mg/Kg ⁻¹)	8,0	5,0
Molibdênio (mg/Kg ⁻¹)	0,4	2,0

C-orgânico – combustão úmida/ Wlakey Black/ 0,01%; Nitrogênio- Kjeldhal/ 0,01%; Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Sódio, Ferro, Manganês- digestão úmida nítrico-perclórica/ ICP-OES; Boro e Molibdênio- digestão seca/ ICP-OES.

Tabela 2. Desenvolvimento de *Meloidogyne javanica* em tomateiro, até 30 dias após inoculação dos nematoides (DAI), sob ação de composto bovino (CB), composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM) em condições de casa de vegetação.

	5 DAI			10 DAI			15 DAI		
	J2	J3/J4	Fêmea	J2	J3/J4	Fêmea	J2	J3/J4	Fêmea
CB	43 a	0 a	0 a	144 a	0 a	0 a	121 a	230 a	0 a
CFS	26 a	0 a	0 a	124 a	0 a	0 a	52 b	220 a	0 a
AM	48 a	0 a	0 a	133 a	0 a	0 a	110 a	119 b	0 a
	20 DAI			25 DAI			30 DAI		
	J2	J3/J4	Fêmea	J2	J3/J4	Fêmea	J2	J3/J4	Fêmea
CB	184 a	589 b	87 b	9 b	519 a	460 a	33 b	405 a	623 a
CFS	51 b	845 a	261 a	3 b	365 b	282 b	26 b	472 a	630 a
AM	151 a	389 c	60 b	21 a	563 a	277 b	56 a	319 b	451 b

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. J2 – juvenis de segundo estágio; J3/J4- juvenis de terceiro e quarto estágio.

Tabela 3. Parâmetros vegetativos e nematológicos em tomateiros cultivados com composto bovino (CB), composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM), 60 dias após a inoculação de *Meloidogyne javanica*, em condições de casa de vegetação.

	MF raiz	MS PA	NG	PF	Nema(g)	FR
CB	5,1 b	2,1 b	191,5 b	30315,9 b	5126,3 b	15,2 b
CFS	12,9 a	5,8 a	509,2 a	117002,7 a	8750,3 ab	58,5 a
AM	5,1 b	2,7 b	273,3 b	93007,75 a	18644 a	46,5 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. MF- massa fresca de raízes; MSPA- matéria seca de parte aérea; PF- população final; Nema (g) – número de nematoides por grama de raízes; FR- fator de reprodução.

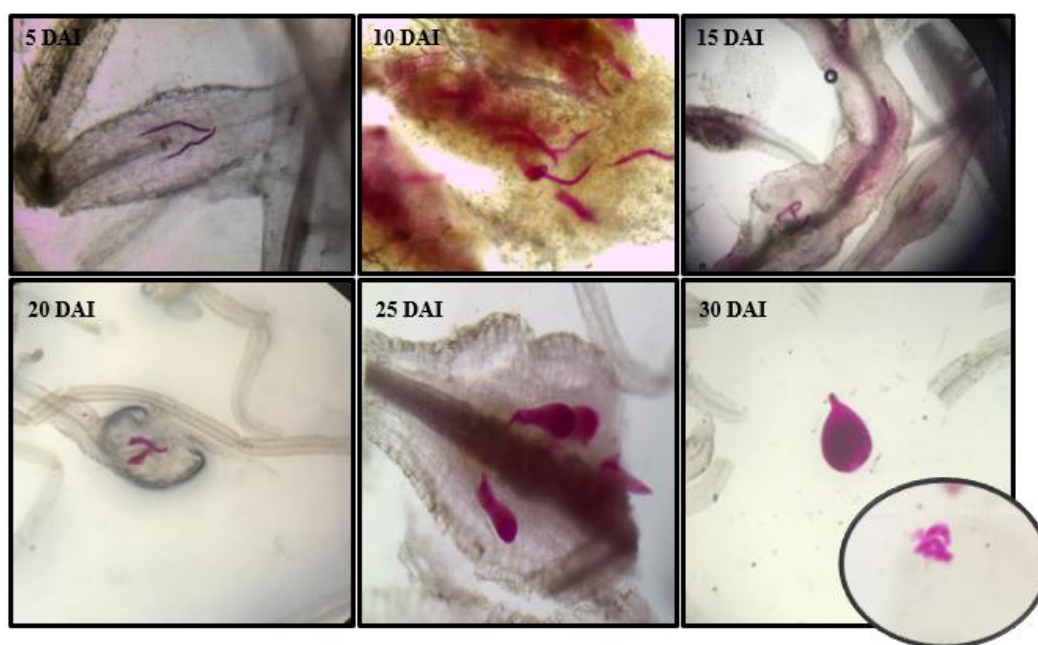


Figura 1. Estádios de desenvolvimento de *Meloidogyne javanica* em raízes de plantas de tomate, ao longo de 30 dias de cultivo em condições de casa de vegetação, com a adição de composto bovino e composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos e adubação mineral.

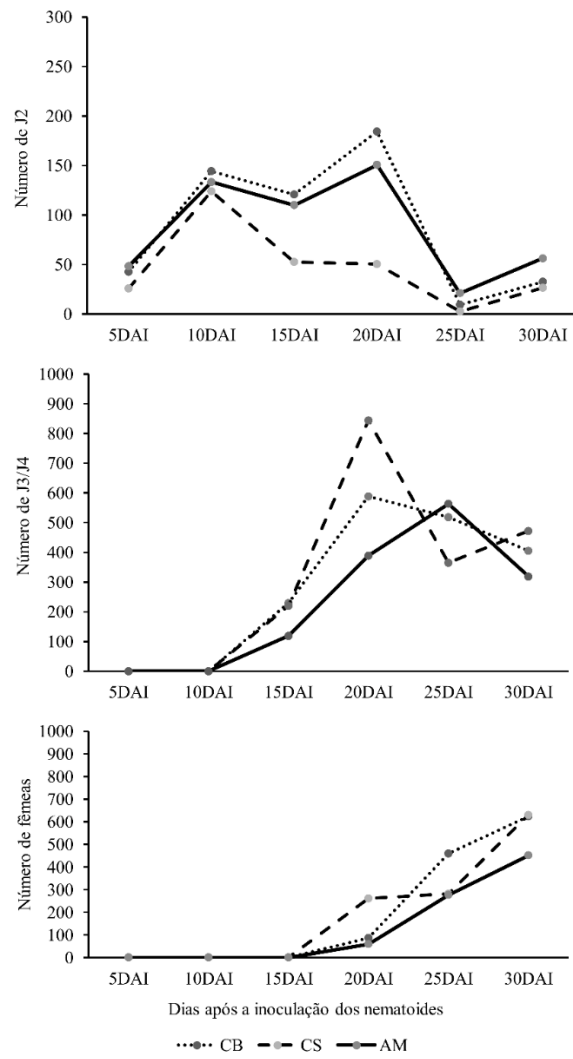


Figura 2. Desenvolvimento de *Meloidogyne javanica* em raízes de plantas de tomate, ao longo de 30 dias de cultivo em condições de casa de vegetação, com a adição de composto bovino (CB) e composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM).

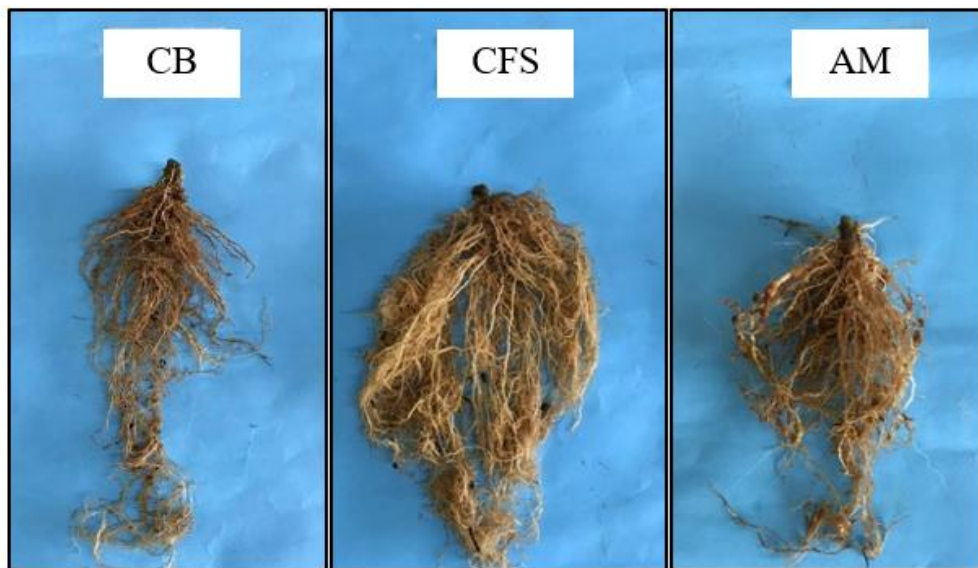


Figura 3. Desenvolvimento de plantas de tomate, sob ação de *Meloidogyne javanica* e compostos orgânicos em condições de casa de vegetação com a adição de composto bovino (CB) e composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM).

5 ARTIGO 3

Eficiência fotossintética de plantas de soja pelo uso de fertilizantes orgânicos

Artigo será submetido a revista: Anais da Academia Brasileira de Ciências
Qualis A2

Mariana Ferneda Dossin¹., Anderson Marques¹., Natielo Almeida Santana¹., Rodrigo Ferraz Ramos¹, Nariane de Andrade¹, Alvaro Pasquetti Berghetti²., Camila Tarouco³, Zaida Inês Antonioli¹.

¹Departamento de Solos, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, 97105-900 Santa Maria, RS, Brazil.

²Departamento de Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, 97105-900 Santa Maria, RS, Brazil

³Departamento de Biologia, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, 97105-900 Santa Maria, RS, Brazil

Autor para correspondência: marianadossin@yahoo.com.br

RESUMO

A cultura da soja é exigente em nutrientes e altamente responsiva à fertilização. O uso de fertilizantes orgânicos é uma alternativa para reduzir custos com fertilizantes minerais e a sustentabilidade do sistema de produção. O objetivo foi testar o composto bovino (CB) e o composto de resíduos de frigorífico de suínos (CFS) e a adubação mineral, no crescimento, nas trocas gasosas e na fluorescência da clorofila *a* em plantas de soja em condições de casa de vegetação. O experimento foi conduzido em delineamento casualizado, com 12 repetições. As avaliações dos parâmetros fotossintéticos foram realizadas por meio de medições de trocas

gasosas e pela emissão de fluorescência da clorofila *a*, em três estágios fenológicos da cultura, V4, V8 e R5.1. Os fertilizantes orgânicos CB e CFS promoveram um aumento de nutrientes no solo e favoreceram o crescimento das plantas. A atividade fotossintética, as taxas líquidas de assimilação de CO₂, a condutância estomática e a eficiência no uso da água foram favorecidas pela adição de fertilizantes orgânicos ao solo. A adição de fertilizantes orgânicos reduziu a fluorescência inicial da clorofila *a*, aumentou a taxa de transporte de elétrons, a concentração interna de CO₂, a eficiência potencial de PS (II) e a eficiência quântica efetiva de PS (II) em plantas de soja.

Palavras-chave: *Glycine max*, composto bovino, composto de resíduos de frigorífico de suínos, fotossíntese, clorofila *a*.

ABSTRACT

The soybean crop is nutrient-demanding and highly responsive to fertilization. The use of organic fertilizers is an alternative to reduce costs with mineral fertilizers and the sustainability of the production system. The objective was to test the cattle compost (CB) and the slaughterhouse swine compost (CFS) and mineral fertilization, in the growth, gas exchange changes and chlorophyll *a* fluorescence in soybean plants in greenhouse. The experiment was conducted in a randomized design with 12 replications. The evaluations of the photosynthetic parameters were by means of gas exchange measurements and by the emission of chlorophyll *a* fluorescence, in three phenological stages of the culture, V4, V8 and R5.1. The organic fertilizers CB and CFS promoted an increase in nutrients in the soil and favored the growth of plants. Photosynthetic activity, net CO₂ assimilation rates, stomatal conductance and water use efficiency were favored by the addition of organic fertilizers to the soil. The addition of organic

fertilizers reduced the initial fluorescence of chlorophyll *a*, increased the electron transport rate, internal CO₂ concentration, potential efficiency of PS (II) and effective quantum efficiency of PS (II) in soybean plants.

Key-words: *Glycine max*, cattle compost, slaughterhouse swine compost, photosynthesis, chlorophyll *a*.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma cultura de grande importância no Brasil, sendo o segundo maior produtor mundial (aproximadamente 115 milhões de toneladas) (Embrapa, 2019). É exigente em nutrientes sendo altamente responsiva à adubação (Gabriel et al., 2016). Nesse cenário, práticas e recomendações que promovam o uso mais eficiente de nutrientes em culturas como a soja, são estratégicas para garantir a racionalização dos recursos naturais não renováveis. O uso intenso de fertilizantes minerais, como o fósforo, resultou na redução de suas fontes o que remete, em um futuro próximo, à escassez destes recursos (Sattari et al., 2012). Assim, a utilização de fertilizantes orgânicos apresenta-se como uma alternativa para a redução dos custos com fertilizantes minerais, bem como para a sustentabilidade do sistema produtivo (Pavinato et al., 2008).

O Brasil é o quarto maior produtor de carne suína e de leite do mundo, com aproximadamente 4 milhões de toneladas de carne e 25 bilhões de litros de leite produzidos por ano (ABPA, 2018). Essas atividades geram anualmente um grande volume de resíduos orgânicos, os quais se não tratados adequadamente resultam em um grave problema ambiental (Scheid et al., 2020, Atienza-Martinez et al., 2020). Tais resíduos são amplamente utilizados, como adubo orgânico na agricultura, seja na sua forma *in natura* ou bioconvertida por processos de compostagem ou vermicompostagem (Anjos et al., 2015, Eckhardt et al., 2018) e tem

apresentado potencial para uso agrícola quando manejados de forma adequada (Ramires et al., 2019, Ramires et al., 2020).

Os fertilizantes orgânicos são ricos em macro e micronutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal e promovem o incremento de matéria orgânica do solo, melhorando as propriedades físicas, químicas e biológicas dos agroecossistemas (Bayer et al., 2000). A melhoria na nutrição da soja, por fertilizantes orgânicos, por exemplo, pode ter relação direta com processos essenciais da planta, como a fotossíntese e pode, portanto, ser avaliada por parâmetros fotossintéticos como os relacionados à fluorescência da clorofila *a* e às trocas gasosas (Ferdous et al., 2018; Pohare et al., 2018). No trabalho realizado por Ferdous et al. (2018) foi verificado que a adubação de soja com diferentes fertilizantes orgânicos resultou em maior taxa fotossintética da planta, aumento da concentração interna de CO₂ e da fluorescência inicial da clorofila *a*. Porém, quando a fertilização é realizada de forma inadequada, seja por deficiência ou excesso de alguns elementos (cobre, zinco, enxofre, nitrogênio, entre outros) ou pela adição de adubos não manejados adequadamente, podem ocorrer danos aos aparatos fotossintéticos e resultar em reduzido ou nulo crescimento da planta.

O uso de resíduos orgânicos na agricultura é conhecido e realizado há anos. Porém, grande parte dos fertilizantes utilizados corresponde a resíduos *in natura*, sem um manejo adequado o que pode resultar em baixa eficiência. Além disso, pouco se conhece do efeito do uso de fertilizantes alternativos, como o composto de esterco bovino e de resíduo de frigorífico de suínos em parâmetros da fotossíntese da soja. Perante isso, este artigo busca responder se o uso de resíduos bioconvertidos a fertilizantes orgânicos por compostagem resulta em melhorias na eficiência fotossintética resultando em maior crescimento da planta de soja. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar a utilização do composto de esterco bovino e do composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos sobre o crescimento e as alterações de trocas gasosas e da fluorescência da clorofila *a* em plantas de soja.

MATERIAL E MÉTODOS

Delineamento experimental e fertilizantes orgânicos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com temperatura controlada em 28 ± 3.0 ° C. As plantas de soja foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* e semeadas em número de quatro sementes por vaso deixando-se apenas uma planta por vaso aos 15 dias após a emergência. Foi utilizada a cultivar de soja NR 5909 (Nidera Sementes®) em vasos preenchidos com 3.0 kg de solo estéril. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico (Embrapa, 2013). O solo utilizado no cultivo apresentou as seguintes características: pH em água (1:1) de 5.4; Ca ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^3$) de 3.5; Mg ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^3$) de 1.7; Al ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^3$) de 0.1; H+Al ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^3$) de 4.1; CTC ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^3$) de 5.7; saturação por Al (%) de 1.6; saturação por bases (%) de 57.9; índice SMP de 6.1; matéria orgânica (%) de 1.7; $P_{\text{Mehlich-1}}$ ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) de 43.7; e K ($\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$): 112. O pH do solo foi elevado para 6.0 através da aplicação de calcário dolomítico (CaCO_3 MgCO_3). Foi realizada a manutenção diária da umidade dos vasos de cultivo em 70% da capacidade de campo com uso de água destilada.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 12 repetições. Os tratamentos testados foram: composto de esterco bovino (CB), composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM). O esterco bovino foi obtido no setor de Bovinocultura de Leite da Universidade Federal de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O resíduo de frigorífico de abate de suínos foi obtido em um frigorífico comercial localizado na região norte do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, esse resíduo era composto por materiais orgânicos de descarte (vísceras, cartilagens, pelos, resíduos de ração, sangue e água). Os fertilizantes orgânicos (i.e. CB e CFS) foram estabilizados através de compostagem aerada (Vione et al., 2018, Ramires et al., 2019), e após caracterizados quimicamente (Tabela 1).

O tratamento adubação mineral (AM) considerado o tratamento controle, consistiu do uso de K_2HPO_4 conforme recomendação para a cultura da soja (CQFS-RS/SC, 2016).

A quantidade aplicada de cada fertilizante foi ajustada visando o máximo rendimento da cultura da soja (CQFS-RS/SC, 2016). Segundo o manual de calagem e adubação (CQFS-RS/SC, 2016), a indicação de adubação foi de 0, 45 e 70 $kg \cdot ha^{-1}$ de N, P e K, respectivamente. A dose de cada fertilizante orgânico foi calculada pela Equação 1, em $g \cdot Kg^{-1}$ de solo.

$$X = \frac{A}{\frac{B}{100} X \frac{C}{100} X \frac{D}{100}} \quad (1)$$

Sendo: X= Quantidade do fertilizante orgânico sólido aplicado ($g \cdot Kg^{-1}$ de solo ¹), A= Quantidade do elemento nutriente (exemplo: potássio ou nitrogênio) a ser aplicado ($g \cdot Kg^{-1}$ de solo): B= Teor de matéria seca do fertilizante (%), C = Teor do nutriente na matéria seca (%): D = Índice de eficiência do nutriente (CQFS-RS/SC, 2016). As doses foram calculadas para as dimensões e quantidade de solo das unidades experimentais, resultando em 68 gramas de composto bovino, 85 gramas de composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos e de 0,022 mg de K_2HPO_4 .

Crescimento e parâmetros fisiológicos de plantas de soja

As avaliações dos parâmetros fotossintéticos foram realizadas por métodos não destrutivos em doze plantas por tratamento em três estádios fenológicos da cultura, V3-V4, V6-V8 e floração (R5.1), seguindo a classificação de Fehr e Caviness (1977). Essas avaliações permitiram estabelecer relações da eficiência fotossintética com a fluorescência da clorofila *a*.

A trocas gasosas foram obtidas por meio de leituras instantâneas realizadas durante o período da manhã (8:00-11:00 h) em dias ensolarados, usando folhas totalmente expandidas (SOUZA et al., 2013) do terço médio das plantas de soja, em todos os estádios fenológicos avaliados (V4, V8 e R5.1). Para as avaliações do aparato fotossintético das plantas foi utilizado

o medidor portátil de CO₂ IRGA (LI-COR, LI-6400XT, Germany). Foram determinadas a condutância estomática de vapores de água (Gs - mol H₂O m⁻² s⁻¹), a taxa fotossintética (A - μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), a concentração interna de CO₂ (Ci - μmol m⁻² s⁻¹), taxa transpiratória (E - mmol H₂O m⁻² s⁻¹) e a eficiência do uso da água (EUA - mol CO₂ mol H₂O⁻¹) obtida pela relação entre quantidade de CO₂ fixado pela fotossíntese e quantidade de água transpirada.

A emissão de fluorescência da clorofila *a* foi analisada por meio de um fluorômetro portátil de luz modulada (Junior-Pam Chlorophyll Fluorometer Walz Mess-und-Regeltechnik, Germany). Para essa avaliação, a folha foi previamente adaptada ao escuro por 30 minutos, após medições de trocas gasosas, para medição da fluorescência inicial (Fo) e, posteriormente submetidas a um pulso de luz saturante (10.000 μmol m⁻² s⁻¹) por 0,6 s, determinando-se assim a fluorescência máxima (Fm). Determinou-se através da curva de indução o rendimento quântico máximo potencial do PSII (Fv/Fm), a taxa de transporte de elétrons (ETR) e a eficiência quântica efetiva do PSII (Y (II)).

Após 60 dias de emergência as plantas foram removidas do solo, lavadas em água corrente e separadas em parte aérea e raízes. Estas foram secas em estufa com circulação forçada de ar (65° ± 2.0 °C) até atingir massa constante. Em seguida, as amostras foram pesadas em balança analítica (± 0.001g) para determinar a massa seca da parte aérea (MSPA) e a massa seca radicular (MSR).

Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-wilk (5% de probabilidade, p < 0,05). Posteriormente, procedeu-se com a análise de variância e, quando os efeitos foram significativos (p < 0,05), as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott e análise de correlação de Pearson (p < 0,01). A análise da variância e a análise de correlação foram realizadas por meio dos pacotes ExpDes.pt package (Ferreira et al., 2018) e

Hmisc.pacage. (Harrel et al., 2019) no software R (R CORE TEAM, 2019). As variáveis fotossintéticas e as quantidades de nutrientes adicionadas em cada tratamento (Tabela 1) foram analisadas usando Análise Multivariada de Componentes Principais (ACP) para entender os diferentes padrões de distribuição das variáveis em função dos tratamentos e nutrientes adicionados utilizando o software MULTIV (Pillar, 2001).

RESULTADOS

Os fertilizantes orgânicos apresentaram todos os atributos de acordo com a legislação proposta na instrução normativa Nº 5, de 10 de março de 2016, seção II, sobre a classificação dos substratos para plantas, classificados como substratos “Classe A” (Brasil, 2016).

O uso de fertilizantes orgânicos aumentou o crescimento da soja em relação ao uso do fertilizante mineral (Figura 1). A massa seca de parte aérea das plantas de soja cultivadas na presença do composto bovino (CB) e do composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) não diferiram entre si ($p > 0,05$) (29,8 e 28,2 g), no entanto foram 55% superiores ao tratamento com adubação mineral (AM) (12,7 g). O CB aumentou a massa de raiz em 5.1 g e 13.7 g em relação ao CFS e AM, respectivamente.

O CFS promoveu maior taxa fotossintética (A), exceto em relação ao CB no estágio V4, em todos os estágios da soja. Nos estágios V8 e R5.1, houve aumento médio de 15% e 10% respectivamente em relação aos demais tratamentos (Tabela 2). A condutância estomática (Gs) foi significativamente superior ($p < 0,05$) nos tratamentos CB e CFS, apresentando em média incrementos de 0,38, 0,30 e 0,39 mols $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$, nos estágios V4, V8 e R5, respectivamente em relação ao AM.

A taxa de transpiração (E) não apresentou comportamento regular de acordo com os tratamentos e estágios fenológicos (Tabela 2). As plantas de soja cultivadas com CFS e CB apresentaram taxa de transpiração média 24% superior ao AM. Porém em V8, a taxa de

transpiração decaiu em CB com redução de aproximadamente $2 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em relação à V4 e para CFS mante-se elevada, estando acima dos demais tratamentos (com $p < 0.05$). A adubação mineral além de aumentar a taxa transpiratória em R5.1, promoveu incremento na concentração interna de CO_2 nos estádios mais avançados da soja (V8 e R5.1) com cerca de 6% de aumento em relação aos compostos orgânicos (Tabela 2).

O uso dos fertilizantes orgânicos aumentou a eficiência do uso da água (EUA) (Tabela 1). Em CB e no CFS (com $p < 0.05$) houve incremento de 15% em relação à AM no estágio V4. Já em V8, o CB foi superior aos demais tratamentos, 6% maior que o CFS e 20% maior que AM. Já no estágio R5, o CFS apresentou EUA 6% superior em relação aos tratamentos CB e AM (Tabela 2).

Os parâmetros da fluorescência da clorofila *a* também foram modificados pelos diferentes fertilizantes utilizados (Tabela 3). A taxa de transporte de elétrons (ETR_m), foi maior no tratamento CFS independente do estágio fenológico da soja, não diferindo do AM em V4 e do CB em V8 e R5.1. O menor desenvolvimento das plantas cultivadas em AM foi demonstrado pelos maiores valores da fluorescência inicial (F_o), com cerca de 20% acima dos valores observados nas plantas cultivadas na presença dos fertilizantes orgânicos, independente do estágio avaliado (Tabela 3). Isso refletiu em reduzidos valores da eficiência quântica do fotossistema II, apresentando-se com valores abaixo dos demais tratamentos em todos os momentos avaliados. Já em CB e CFS foi verificado maiores valores de eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) e eficiência quântica efetiva do fotossistema II ($Y(II)$) em todos os estádios avaliados (Tabela 3).

A análise de componentes principais (ACP) considerando os tipos de fertilizantes, as variáveis fisiológicas e as características químicas dos fertilizantes explicaram 88% da variação total nos dados nos dois primeiros eixos de ordenação (Figura 1). O ACP mostrou a separação dos tratamentos em dois grupos, CB e CFS formando um grupo e AM isolado. A adubação

mineral resultou em menor crescimento da planta demonstrando provável estresse fisiológico demonstrado pelo maior F_o em todos os estádios fenológicos, assim como as elevadas C_i e E , este especialmente no final do ciclo da cultura da soja. Por outro lado, nos tratamentos CB e CFS as plantas apresentaram maior biomassa, com maior EUA, maiores ETR_m , F_v/F_m e Y (II) (Tabelas 2 e 3).

DISCUSSÃO

A resposta superior encontrada na biomassa das plantas de soja nos tratamentos com fertilizante orgânico, pode ser atribuída às propriedades químicas que levam a maior disponibilidade de nutrientes pelos mesmos em relação ao fertilizante mineral. Além disso, o uso de fertilizantes orgânicos modifica os atributos físicos e biológicos do solo como aumento na porosidade, modificações no pH, aumento na diversidade de microrganismos e atividade biológica do solo (Morales et al., 2015, Santana et al., 2018a, Santana et al., 2018b, Eckhardt et al., 2018). O efeito positivo com o uso de fertilizantes orgânicos em sistemas agrícolas já é bem conhecido, sendo que, ao serem empregados no sistema podem proporcionar redução ou até mesmo eliminar a necessidade do uso de adubos minerais (Marques et al., 2014).

O aporte de quantidades adicionais de outros nutrientes, pelos fertilizantes orgânicos, além de P e K, favoreceram o crescimento das plantas resultando no aumento do processo de fotossíntese. A taxa de assimilação líquida de CO_2 (A) foi superior nos tratamentos CB e CFS nos três estádios fenológicos avaliados, V4, V8 e R5.1. Segundo Larcher (2004), a fotossíntese pode ser influenciada por muitos fatores, mas as maiores taxas fotossintéticas são alcançadas em boa disponibilidade hídrica e nutricional.

Os fertilizantes orgânicos promoveram o aumento de outros nutrientes como o Mg, Fe e Mn em comparação à adubação mineral. Estes elementos estão relacionados à maior atividade fotossintética das plantas, visto que estão envolvidos na composição da molécula de clorofila,

plastoquinonas, ferridoxinas e no processo de quebra da molécula de água durante a fotossíntese (Taiz e Zeiger, 2017). Devido a isso, ocorreram maiores valores para rendimento quântico máximo potencial do PSII (F_v/F_m), taxa de transporte de elétrons (ETR) e eficiência quântica efetiva do PSII ($Y(II)$) nos tratamentos com CB e CFS.

Considerando que a eficiência da utilização da luz por cada fotossistema (F_v/F_m) regula as reações de fixação de CO_2 e geração de ATP pelas reações luminosas (Taiz e Zeiger, 2017), fertilizantes que promovam melhoria na eficiência de fluxo de energia tendem a permitir maiores taxas de assimilação de CO_2 . O favorecimento no processo de energia na fase fotoquímica representou melhorias também na fase bioquímica, resultando em altas taxas fotossintéticas (A) e baixa taxa transpiratória (E) com alta eficiência do uso da água (EUA) nos tratamentos CB e CFS. A água é o principal fator limitante da produção, e à medida que se aumenta sua disponibilidade ou eficiência de uso, a cultura pode expressar melhor o seu potencial produtivo.

Ressalta-se que a soja é uma planta com rota fotossintética do tipo C3, em que uma maior disponibilidade de N tende a propiciar maior síntese proteica, em especial para a enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase (RUBISCO) que é a enzima mais abundante nas plantas, representando cerca da metade da proteína constituinte das folhas (Marenco e Lopes, 2009). Embora não seja recomendável o uso de fertilização nitrogenada na cultura da soja por ser uma das leguminosas mais eficientes na fixação biológica de nitrogênio, o aporte de matéria orgânica via fertilizantes orgânicos tende a elevar a disponibilidade de N para a cultura (Ferdous et al., 2018). Dessa forma, plantas fertilizadas com adubos orgânicos tendem a ter uma maior capacidade de crescimento do que plantas que recebem apenas fertilização mineral, pois os fertilizantes orgânicos além dos macronutrientes, como P e K, também disponibilizam N de forma gradual pela degradação da matéria orgânica e micronutrientes essenciais (Eckhardt et al., 2016, Ramires et al., 2020). Outros trabalhos já demonstraram o benefício da adubação

orgânica para leguminosas, com destaque para a não redução da nodulação devido ao aporte de N via fertilizantes orgânicos (Santana et al., 2015, Santana et al., 2018 a, La Menza et al., 2017).

A condutância estomática (G_s), que representa o influxo de CO_2 para o interior dos cloroplastos, também foi superior nos tratamentos CB e CFS em todos os estádios fenológicos avaliados. A maior condutância estomática está relacionada com o elevado influxo de CO_2 para o interior dos cloroplastos em resposta à elevada demanda de CO_2 pelos processos fotossintéticos em condição de melhor nutrição (Bell, 1992, Tatagiba et al., 2015), contribuindo para maior biomassa de plantas com adubação orgânica. Por outro lado, em todos os estádios avaliados as plantas de soja submetidas à adubação mineral apresentaram valores reduzidos de G_s , indicando que o fechamento estomático possa ter ocorrido (Silva, 2010).

A adubação mineral apresentou maior concentração interna de CO_2 principalmente em estádios mais avançados da cultura. Este efeito pode ser resultado da baixa assimilação de CO_2 e do conseqüente baixo uso no processo de formação de açúcares em comparação aos fertilizantes orgânicos (Silva et al., 2013). A variação da taxa de transpiração (E) entre os tratamentos nos estádios fenológicos avaliados, V4, V8 e R5.1, muito provavelmente é devido as diferentes exigências de cada período de crescimento da cultura. Mas, de modo geral as plantas de soja submetidas a CFS apresentaram médias superiores de taxa de transpiração (E), em todos os estádios avaliados. Isso esteve associado a correlações positivas entre G_s e E e entre A e E . Entretanto, a maior taxa de transpiração (E) não é necessariamente um aspecto negativo, pois para altas A existe a necessidade da entrada contínua de CO_2 pelas vias estomáticas, o que gera a saída de água. Para maiores produções de matéria seca existe a necessidade de elevada perda de água, que tende a ser minimizada por elevada eficiência do uso da água (EUA).

Embora as medidas de trocas gasosas sejam bons indicadores para determinar a eficiência fotossintética em função da variação da fertilidade, podem não ser tão eficientes para

avaliar o fluxo de energia na fase fotoquímica nos cloroplastos (Santos et al., 2010). A avaliação da fluorescência da clorofila *a* se mostrou complementar e pode ser outra estratégia para a medição da eficiência da transferência de energia na fotossíntese. Os menores valores médios da fluorescência inicial da clorofila *a* (F_o) observados nos tratamentos CB e CFS em relação ao AM, demonstram que os fertilizantes orgânicos possibilitaram melhores condições para a transferência de energia para o processo de fotossíntese, auxiliando na maior taxa fotossintética (A) em relação ao tratamento AM. Segundo Prado e Casali (2001), quanto menores os valores de F_o , menores são as perdas de energia por fluorescência, indicando que a maior parte de energia absorvida está sendo direcionada às etapas foto e bioquímica da fotossíntese.

Nas plantas de soja adubadas com AM, a baixa eficiência do aparelho fotossintético pode ser observada pela redução da quantidade máxima eficiência de PSII (F_v/F_m) e taxa de transporte de elétrons (ETR_m). Devido à redução de F_v/F_m e ETR_m , uma quantidade menor de energia absorvida pela planta é usada, através do complexo antena, para reduzir o CO_2 e produzir matéria seca, o que ajuda a explicar a baixa produção de matéria seca das plantas de soja fertilizadas com AM.

As correlações negativas observadas entre as variáveis F_o e ETR_m , F_o e $Y(II)$ e F_o e F_v/F_m são associadas a plantas com baixa A , G_s , E e EUA , estando, portanto, relacionadas à baixa taxa de assimilação de CO_2 . Sob condições de baixo fluxo de CO_2 e elevada radiação fotossinteticamente ativa, o sistema fotoquímico pode ficar sobrecarregado energeticamente. Isto porque, o fechamento estomático reduz a disponibilidade de substrato (CO_2) para a RUBISCO, reduzindo a atividade do ciclo Calvin/Benson (Taiz e Zeiger, 2006). Nesta condição do fotossistema II (PSII) ficar sobrecarregado de energia (recebendo energia luminosa sem assimilação de CO_2), o processo fotoinibitório pode acontecer em grande intensidade, e este fenômeno pode ser evidenciado pelas alterações nas variáveis da fluorescência da clorofila. Os fertilizantes orgânicos testados no estudo, promoveram incrementos de matéria seca de parte

aérea e de raízes quando comparados ao adubo mineral. Isso está relacionado com um melhor desempenho do aparato fotossintético de plantas de soja, portanto, com grande potencial como fonte alternativa de fertilização para o cultivo da cultura da soja.

CONCLUSÃO

Os fertilizantes orgânicos, composto de esterco bovino e composto de resíduos de frigorífico de suíno aumentam a quantidade de nutrientes no solo e favorecem o crescimento das plantas de soja.

A atividade fotossintética, as taxas de assimilação líquida de CO₂, a condutância estomática e a eficiência do uso da água são favorecidas pela adição de fertilizantes orgânicos ao solo.

A adição dos fertilizantes orgânicos reduz a fluorescência inicial da clorofila *a*, aumenta a taxa de transporte de elétrons, concentração interna de CO₂, eficiência potencial do PS (II) e eficiência quântica efetiva do PS (II) em plantas de soja.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. 2018 Relatório Anual. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2018.pdf>>. Acesso em: 17 de janeiro de 2019.

ANJOS JL DOS, AQUINO AM DE AND SCHIEDECK G. 2015. Minhocultura e vermicompostagem: interface com sistema de produção, meio ambiente e agricultura de base familiar. Brasília: Embrapa, 231 p.

ATIENZA-MARTÍNEZ M, ÁBREGO J, GEA G AND MARÍAS F. 2020. Pyrolysis of dairy cattle manure: evolution of char characteristics. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 145: 104724.

BAKER N AND ROSENQVIST E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany* 55: 1607-1621.

BAYER C, MIELNICZUK J AND MARTIN-NETO, L. 2000. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 24:599-607.

BEL VAJE. 1992. Mechanism of sugar transfer. In: BAKER NR AND THOMAS H. (Ed.). *Crop photosynthesis*. Amsterdam: Elsevier Science p.177-211.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). 2016. Instrução normativa Nº 5, de 10 de março de 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumosagropecuarios/insumosagricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-remineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf>>. Acesso em 28 de novembro de 2019.

CAMARGO MC. 2012. A importância do uso de fertilizantes para o meio ambiente. *Pesquisa e Tecnologia* 9(2):1-4.

DE QUÍMICA, CQFS-COMISSÃO., DO SOLO, FERTILIDADE. 2016. Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo 376 p.

ECKHARDT D P, REDIN M, JACQUES RJS, LORENSINI F, SANTOS MLD, WEILER DA AND ANTONIOLLI Z I. 2016. Mineralization and efficiency index of nitrogen in cattle manure fertilizers on the soil. *Ciência Rural* 46(3): 472-477.

ECKHARDT DP, REDIN M, SANTANA NA, CONTI LD, DOMINGUEZ J, JACQUES RJS AND ANTONIOLLI ZI. 2018. Cattle Manure Bioconversion Effect on the Availability of Nitrogen, Phosphorus, and Potassium in Soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42: e0170327.

EMBRAPA SOJA. Soja em números (safra 2018/19) disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2020.

EMBRAPA. 2013 Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro 353 p.

FEHR WR AND CAVINESS CE. 1977. Stages of soybean development 11p.

FERDOUS J, MANNAN MA, HAQUE MM, MAMUN MAA AND ALAM MS. 2018. Chlorophyll content, water relation traits and mineral ions accumulation in soybean as influenced by organic amendments under salinity stress. Australian Journal of Crop Science, 12(12):1806.

FERREIRA EB, CAVALCANTI PP, AND NOGUEIRA DA. 2018. ExpDes. pt: Experimental Designs package. R package version 1.2. 0. Retrieved Sept, 11, 2018.

GABRIEL SG, BUENO AC AND DOS SANTOS RF. 2016. Resposta da soja (*Glycine max*) à duas diferentes fontes de potássio. Revista Uningá Review 25(1).

HARRELL JR AND FRANK E. 2019. Maintainer Frank E. Package 'Hmisc'. Version 4.2-0.

LA MENZA NC, MONZON JP, SPECHT JE AND GRASSINI P. 2017. Is soybean yield limited by nitrogen supply?. Field Crops Research, 213:204-212.

LARCHER W. 2004. Ecofisiologia vegetal. São Carlos: RiMa, Arte e Textos. 531p.

MARENCO RA AND LOPES NF. 2009. Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações Hídricas, nutrição Mineral. 3ª Edição. Editora UFV. 486 p

MARQUES ACR, KROLOW RH, RIGODANZO EL, BASSO LJ, BOTTA R AND MISSIO E. 2014. Desempenho da mistura de aveia preta e azevém em função da adubação orgânica e mineral. Revista Ceres 61:112-120.

MORALES-VIDAL M, BOJ PG, VILLALVILLA JM, QUINTANA JA, YAN Q, LIN NT AND NAKAMURA E. 2015. Carbon-bridged oligo (p-phenylenevinylene) s for photostable

and broadly tunable, solution-processable thin film organic lasers. *Nature communications*, 6, 8458.

PAVINATO OS AND ROSOLEM CA. 2008. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:911-920.

PILLAR VD. 2001. Multivariate exploratory analysis, randomization testing and bootstrap resampling. User's Guid. 1-41. <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Software/Multiv/MultivManual.pdf>.

POHARE VB, THAWAL DW AND KAMBLE AB. 2018. Physiological response of soybean (*Glycine max*) as influenced by integrated nutrient management practices. *Journal of Agrometeorology* 20 (3):202-205.

PRADO CHBA AND CASALI CA. 2006. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em folhas de ramos destacados de eucalipto. *Fisiologia vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral*. Barueri: Manole, p. 1-18.

RAMIRES MF, SOUZA EL, FONTANIVE DE, BIANCHETTO R, KRYNSKI AM, CEZIMBRA JCG AND ANTONIOLLI Z I. 2019. Ecotoxicology of Pig Slaughterhouse Waste Using *Lactuca sativa* L, *Raphanus sativus* L, and *Oryza sativa* L. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* (online) 43: 1.

RAMIRES MF, DE SOUZA EL, DE CASTRO VASCONCELOS M, CLASEN BE, FONTANIVE, D. E, BIANCHETTO, R, CEZIMBRA, J. C. G., ANTONIOLLI, Z. I. 2020. Enzyme assays and toxicity of pig abattoir waste in *Eisenia andrei*. *Environmental Pollution*, 113928.

SANTANA NA, MORALES CAS, SILVA DAAD, ANTONIOLLI ZI AND JACQUES, RJS. 2018b. Soil biological, chemical, and physical properties after a wildfire event in a Eucalyptus forest in the Pampa Biome. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42.

SANTANA NA, RABUSCKE CM, SOARES VB, SORIANI HH, NICOLOSO FT AND JACQUES RJS. 2018^a. Vermicompost dose and mycorrhization determine the efficiency of copper phytoremediation by *Canavalia ensiformis*. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(13):12663-12677.

SANTOS CM, GONÇALVES ER, ENDRES L, GOMES TCA, JADOSKI CJ, NASCIMENTO LA, SANTOS ED. 2010. Atividade Fotossintética em alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais. *Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia*, 3: 95-102

SATTARI SZ, BOUWMAN AF, GILLER KE, VAN ITTERSUM MK. 2012. Residual soil phosphorus as the missing piece in the global phosphorus crisis puzzle. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109:6348-6353.

SCHEID DL, SILVA RFD, SILVA VRD, ROS COD, PINTO MAB, GABRIEL M AND CHERUBIN MR. 2020. Changes in soil chemical and physical properties in pasture fertilised with liquid swine manure. *Scientia Agricola* 77(5).

SILVA AC, LEONEL S, SOUZA AP, DOMINGOS JR AND DUCATTI, C. 2010. Trocas gasosas e ciclo fotossintético da figueira 'Roxo de Valinhos'. *Ciência Rural* 40(6):1270-1276.

SILVA ARAD, BEZERRA FML, LACERDA FILHO CFD, PEREIRA FILHO JV AND FREITAS CASD. 2013. Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. *Revista Ciência Agronômica* 44(1): 86-93.

SOUZA TC, MAGALHÃES PC, DE CASTRO EM, DE ALBUQUERQUE PEP AND MARABESI MA. 2013. The influence of ABA on water relation, photosynthesis parameters, and chlorophyll fluorescence under drought conditions in two maize hybrids with contrasting drought resistance. *Acta physiologiae plantarum* 35(2): 515-527.

TAIZ L AND ZEIGER E. 2006. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed. 719p

TAIZ L, ZEIGER E, MOLLER, IM AND MURPHY A. 2017. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 858p.

TATAGIBA SD, PEZZ OPANE JEM, REIS EF. 2015. Fotossíntese em *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. Engenharia na Agricultura, Viçosa 23(4):336-345.

TEAM RC. 2013. R: A language and environment for statistical computing.

VIONE ELB, DA SILVA LS, CARGNELUTTI FILHO A, AITA NT, DE MORAIS ADF AND DA SILVA AAK. 2018. Caracterização química de compostos e vermicompostos produzidos com casca de arroz e dejetos animais. Revista Ceres, 65(1): 65-73.

Tabela 1. Composição química e quantidades adicionadas do composto orgânico bovino (CB), composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM) testados em relação aos valores orientadores, segundo Brasil (2016).

Atributos	Composição química			
	CB	CFS	Legislação	
Umidade (g.Kg ⁻¹)	530	590		*
pH - H ₂ O	6,5	4,4		*
Densidade (Kg.m ⁻³)	590	642		*
C-orgânico (g.Kg ⁻¹)	120	320		-
Nitrogênio (g.Kg ⁻¹)	11	47		-
Relação C/N	110	70		-
Fósforo total (g.Kg ⁻¹)	10	16	1,00	**
Potássio total (g.Kg ⁻¹)	7	3		-
Cálcio total (g.Kg ⁻¹)	12	41		-
Sódio total (g.Kg ⁻¹)	1	2		-
Magnésio (g.Kg ⁻¹)	6	2		-
Ferro (g.Kg ⁻¹)	11	02	0,10	**
Manganês (mg.Kg ⁻¹)	591,0	123,0	0,10	**
Enxofre total % (m/m)	0,2	0,3		-
Cobre (mg.Kg ⁻¹)	30,0	162,0	0,05	**
Zinco (mg.Kg ⁻¹)	167,0	0,1	0,10	**
Cádmio total (mg.Kg ⁻¹)	<0,2	<0,2	10,00	***
Cromo total (mg.Kg ⁻¹)	16,0	23,0		-
Níquel total (mg.Kg ⁻¹)	6,0	13,0	0,005	**
Chumbo total (mg.Kg ⁻¹)	5,0	25,0	200,00	***
Arsênio total (mg.Kg ⁻¹)	<2,0	<2,0	15,00	***
Selênio total (mg.Kg ⁻¹)	<4,0	<4,0	0,03	**
Boro (mg.Kg ⁻¹)	8,0	5,0	0,03	**
Molibdênio (mg.Kg ⁻¹)	0,4	2,0	0,005	**
Mercúrio (mg.Kg ⁻¹)	<0,1	<0,1	0,10	***

*Valores absolutos exigidos, segundo Brasil (2016)., **Valores mínimos de macronutriente fósforo e de micronutriente segundo que devem ser declarados, segundo Brasil (2016)., ***Valores máximos de elementos potencialmente tóxicos, segundo Brasil (2016).

Tabela 2. Taxa fotossintética (A), condutância estomática (Gs), taxa de transpiração (E), concentração intercelular de CO₂ (Ci) e eficiência do uso da água (EUA) de plantas de soja (NIDERA 5909) cultivadas por 60 dias com composto orgânico bovino (CB), composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM) em casa de vegetação.

Tratamento	A (CO ₂ mmol m ⁻² s ⁻¹)	GS (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	E (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	Ci (CO ₂ mmol m ⁻¹)	EUA (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)
Estádio Fenológico V4					
CB	22,20 ± 0,6 A	0,86 ± 0,1 A	7,10 ± 0,2 A	309,30 ± 3,6 ns	3,10 ± 0,1 A
CFS	21,70 ± 0,6 A	0,86 ± 0,1 A	6,80 ± 0,3 A	310,70 ± 4,6 ns	3,20 ± 0,1 A
AM	14,90 ± 0,9 B	0,48 ± 0,1 B	5,30 ± 0,2 B	311,80 ± 5,0 ns	2,80 ± 0,1 B
CV (%)	10,5	22,8	11,3	4,5	15,3
Estádio Fenológico V8					
CB	18,20 ± 0,7 B	0,75 ± 0,1 A	5,44 ± 0,3 C	289,5 ± 9,3 B	3,4 ± 0,2 A
CFS	20,40 ± 0,5 A	0,74 ± 0,1 A	6,63 ± 0,1 A	307,9 ± 5,5 A	3,1 ± 0,1 B
AM	17,10 ± 0,2 C	0,48 ± 0,1 B	6,26 ± 0,1 B	323,4 ± 3,3 A	2,7 ± 0,1 C
CV (%)	7,73	28,9	4,0	6,23	10,6
Estádio Fenológico R5.1					
CB	22,80 ± 1,1 C	0,86 ± 0,04 A	6,03 ± 0,2 B	281,30 ± 4,4 B	3,76 ± 0,1 B
CFS	25,60 ± 0,7 A	0,86 ± 0,04 A	6,50 ± 0,2 A	282,30 ± 3,1 B	3,95 ± 0,2 A
AM	23,80 ± 0,9 B	0,47 ± 0,02 B	6,40 ± 0,2 A	290,20 ± 3,1 A	3,74 ± 0,1 B
CV (%)	10,7	22,8	8,62	3,53	8,6

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. ns: não significativo. CV (%) = coeficiente de variação.

Tabela 3. Taxa de transporte de elétrons (ETRm), fluorescência inicial (Fo), eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm) e eficiência quântica efetiva do fotossistema II (Y (II)), de plantas de soja (NIDERA 5909) cultivadas por 60 dias com composto orgânico bovino (CB), composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM) em casa de vegetação.

Tratamento	ETRm	Fo	Fv/Fm	Y (II)
Estádio Fenológico V4				
CB	157,30 ± 15,2 b	231,10 ± 7,2 b	0,58 ± 0,01 a	0,48 ± 0,02 a
CFS	567,70 ± 66,2 a	194,10 ± 11,5 c	0,59 ± 0,03 a	0,47 ± 0,02 a
AM	495,10 ± 108,1 a	263,40 ± 4,5 a	0,49 ± 0,01 b	0,45 ± 0,02 b
CV (%)	47,9	9,3	8,8	11,5
Estádio Fenológico V8				
CB	132,0 ± 4,4 a	281,2 ± 9,7 c	0,49 ± 0,02 a	0,52 ± 0,003 a
CFS	134,6 ± 10,8 a	305,5 ± 7,9 b	0,48 ± 0,01 a	0,51 ± 0,003 a
AM	76,2 ± 9,3 b	341,1 ± 16,5 a	0,46 ± 0,01 b	0,44 ± 0,008 b
CV (%)	20,5	9,1	9,9	2,5
Estádio Fenológico R5.1				
CB	214,0 ± 11 a	133,5 ± 11,2 b	0,67 ± 0,02 a	0,55 ± 0,005 a
CFS	212,7 ± 6,8 a	124,4 ± 6,4 b	0,69 ± 0,01 a	0,54 ± 0,007 a
AM	179,8 ± 16,6 b	143,6 ± 13,8 a	0,56 ± 0,02 b	0,55 ± 0,007 a
CV (%)	17,3	24,6	8,8	3,7

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. CV (%) = coeficiente de variação.

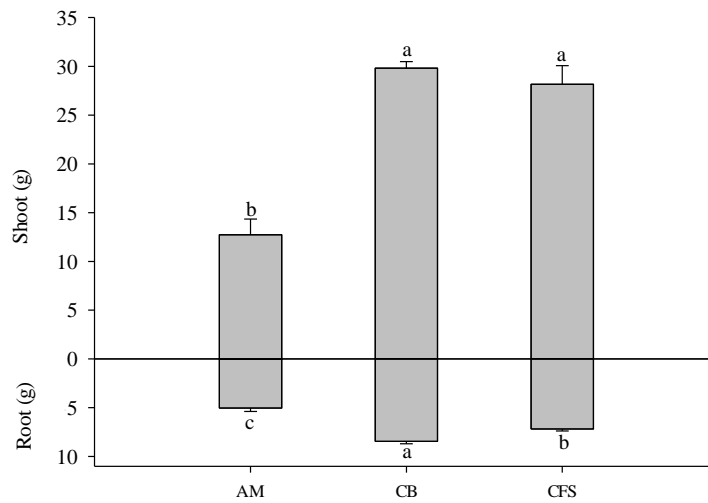


Figura 1. Massa seca da parte aérea e raiz de soja (cultivar NIDERA 5909), cultivadas por 60 dias sob ação de composto orgânico bovino (CB), composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM) em casa de vegetação. Médias seguidas pela mesma letra diferem entre si pelo teste Scott-knott com $p < 0.05$.

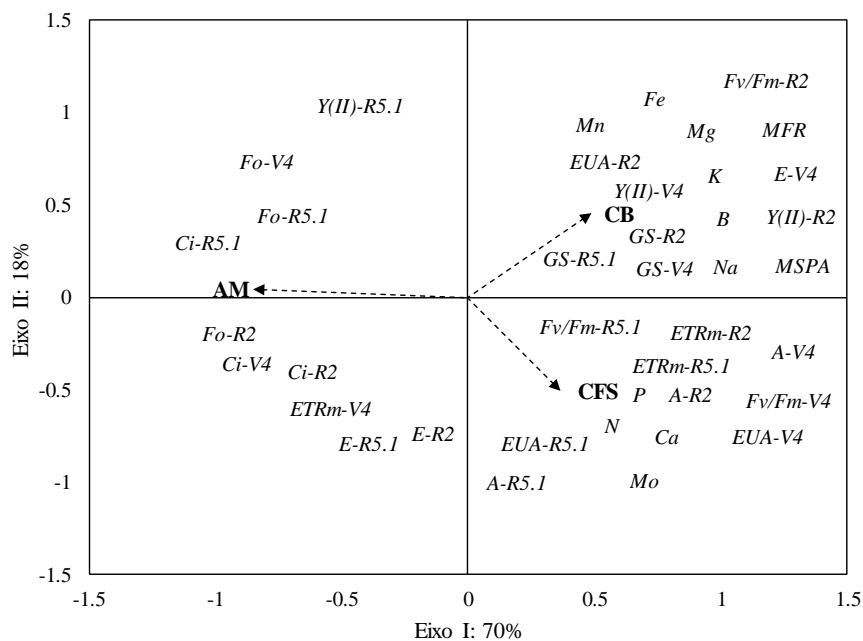


Figura 2. Projeção das variáveis fluorescência inicial (Fo), fluorescência máxima (Fm), rendimento quântico máximo potencial do PSII (Fv/Fm), taxa de transporte de elétrons (ETR), eficiência quântica efetiva do PSII (Y(II)), condutância estomática de vapores de água (Gs), taxa fotossintética (A), concentração interna de CO₂ (Ci), taxa transpiratória (E) e eficiência do uso da água (EUA), Teores de matéria orgânica (Mo) e nutrientes, Nitrogênio (N), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Ferro (Fe), Sódio (Na), Boro (B), Manganês (Mn), em função dos fertilizantes composto orgânico bovino (CB), composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (CFS) e adubação mineral (AM) nos estádios V4, V8 e R5.1.

6 DISCUSSÃO GERAL

A ocorrência de deficiências nutricionais, bem como os efeitos fitotóxicos de concentrações excessivas de certos nutrientes/elementos, ou seja, um desbalanço nutricional, estão diretamente relacionados à incidência de doenças e pragas nas plantas (AGRIOS, 2005). Dentre os problemas fitossanitários, os fitonematoides tem se destacado, representando um grande desafio para a pesquisa, assistência técnica e aos produtores (FERRAZ, 2010). Dentre os fitonematoides, as espécies *Meloidogyne javanica* e *Prathylenchus brachyurus* têm ocasionado perdas estimadas de 20% a 80% na produção de grandes culturas (MC SORLEY, 1993, MC SORLEY et al., 2000, GOULART, 2008, FERRAZ et al., 2010, ANTONIO et al., 2012, BELLÉ et al., 2017, SCHIMIT et al., 2018, DEBIA et al., 2019).

No Estudo I, os tratamentos contendo os fertilizantes orgânicos, esterco bovino, composto e vermicomposto bovino e composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos promoveram o incremento de biomassa vegetal (matéria seca de parte aérea e de massa fresca de raízes) de plantas de soja em relação à adubação mineral. Entretanto, os tratamentos que promoveram a supressão de *P. brachyurus* foram apenas o esterco bovino, composto bovino e vermicomposto bovino. Isso pode estar relacionado à composição dos fertilizantes orgânicos, em relação ao teor de nutrientes, pH, relação C/N, entre outros. No caso da relação C/N, os resíduos que são incorporados ao solo, podem apresentar efeito supressivo ou condutivo, sendo a faixa ótima compreendida entre 14:1 e 20:1 (PEREIRA et al., 1996). Nesse âmbito, os tratamentos contendo fertilizantes à base de esterco bovino apresentaram melhor potencial de ação no complexo planta-fitonematoides em relação ao composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos (C/N:7). Isso é resultado da faixa adequada de relação C/N, favorecendo o desenvolvimento das plantas e suprimindo esses fitopatógenos (C/N média =14).

No Estudo II, a adubação com o composto bovino resultou em incrementos de biomassa em plantas de tomate equivalentes à adubação mineral. O composto de resíduos de frigorífico de abate de suíno apresentou os maiores incrementos de biomassa vegetal, aproximadamente duas vezes mais em relação aos demais tratamentos. Contudo, nesse estudo, não houve a supressão de *M. javanica* em nenhum dos tratamentos testados. O tratamento com composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos promoveu aporte de nutrientes ao solo, resultando em bom desenvolvimento e boa produção de biomassa de plantas de tomate, mesmo na presença do fitonematoide. O efeito de qualquer material orgânico sobre a população de fitonematoides é bastante variável. Ainda que os materiais orgânicos aumentem a produtividade e forneçam nutrientes para as culturas, o efeito sobre os nematoides pode variar com as espécies de

nematoide, tipos de matéria orgânica e seus subprodutos e tempo após a aplicação (MCSORLEY, GALLAHER, 1996, 1997).

Nos estudos desenvolvidos neste trabalho, os fertilizantes orgânicos promoveram incrementos de biomassa vegetal nas culturas estudadas, demonstrando que apresentam grande potencial nutricional, e representam uma alternativa para um cultivo sustentável. Os resultados observados nos Estudos I e III, indicam que os fertilizantes orgânicos à base de esterco bovino, foram eficientes tanto para o desenvolvimento vegetal, quanto para a supressão de *P. brachyurus*. Já no Estudo II, os fertilizantes apresentaram comportamentos diferentes em plantas de tomate, em que o composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos foi o único tratamento que promoveu o maior aporte de biomassa vegetal em relação à adubação mineral, e nenhum dos tratamentos foi efetivo na supressão de *M. javanica*.

As diferenças obtidas nos dois estudos envolvendo a supressão de fitonematoides, como efeito adicional secundário da adubação orgânica, podem estar relacionadas ao modo de parasitismo dos dois gêneros de fitonematoides em questão. O nematoide das lesões radicular, *P. brachyurus* é um endoparasita migrador durante todo o ciclo de vida, penetrando no sistema radicular e retornando ao solo (FERRAZ, MONTEIRO, 1995, GOULART, 2008), além disso, alterações do ambiente edáfico podem exercer influência sobre ele. Já o nematoide-das-galhas, *M. javanica*, é um endoparasita sedentário, em que ao penetrar nas raízes das plantas, estabelece um sítio de alimentação (que dá às galhas) e desenvolve todo seu ciclo de vida no interior das raízes (MOENS et al., 2009). Logo, após penetrar nas raízes das plantas, alterações no ambiente edáfico não exercem mais influência direta sobre o nematoide, apenas no desenvolvimento vegetal.

Os fertilizantes orgânicos testados no Estudo III, promoveram incrementos de matéria seca de parte aérea e de raízes quando comparados ao adubo mineral. Isso está relacionado com um melhor desempenho do aparato fotossintético das plantas de soja, portanto, com grande potencial como fonte alternativa de fertilização para cultura. O composto de esterco bovino e o composto de resíduos de frigorífico de suínos, foram considerados boas fontes de nutrientes e contribuíram de forma positiva para o desenvolvimento das plantas de soja. Como resultados principais, promoveram elevadas taxas de assimilação líquida de CO₂ e condutância estomática, maior eficiência de uso de água no processo de fotossíntese, contribuindo na redução da fluorescência inicial da clorofila *a* com maior eficiência do aparelho fotossintético e taxa de transporte de elétrons. Assim, a melhor nutrição da soja, por fertilizantes orgânicos em comparação com a adubação mineral utilizada, tem relação direta com processos essenciais da planta, como a fotossíntese.

A nutrição das plantas é um fator de extrema importância. Se um dos elementos químicos essenciais ao desenvolvimento vegetal não estiver disponível em quantidade suficiente ou estiver presente em combinações químicas de difícil absorção, a deficiência desse elemento causará interrupções nos processos metabólicos das plantas (DE MELO SANTANA-GOMES et al., 2013). Práticas e recomendações que promovam o uso mais eficiente de nutrientes são estratégicas para garantir a racionalização dos recursos naturais não renováveis e tornar o sistema de produção mais sustentável. Com isso, a utilização de fertilizantes orgânicos apresenta-se como uma alternativa para redução dos custos com fertilizantes químicos, bem como para a sustentabilidade do sistema produtivo.

Diante dos resultados obtidos, é possível inferir que a adubação orgânica com compostos à base de esterco bovino, composto bovino, vermicomposto bovino e composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos foram tão eficientes ou mais que a adubação mineral na disponibilidade de nutrientes para o desenvolvimento das plantas de soja e tomate. Dessa forma, podem ser recomendados para nutrição vegetal, viabilizando a sustentabilidade dos sistemas produtivos, bem como para a preservação de recursos não-renováveis e aproveitamento de resíduos. Além disso, os fertilizantes orgânicos, esterco bovino, composto bovino e vermicomposto bovino, se mostraram eficientes no manejo de *P. brachyurus* em soja, reduzindo a reprodução dos nematoides e viabilizando o desenvolvimento da cultura. Assim, podendo ser utilizados não apenas com a finalidade de adubação, mas também no manejo de *P. brachyurus* em soja. Já o composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos, pode ser recomendado para o desenvolvimento vegetal, visto que apesar de não promover a supressão de *M. javanica*, promoveu incrementos de biomassa vegetal. Deve-se, neste caso, aliar outras estratégias de manejo desse fitonematoide, como o uso de cultivares resistentes, controle biológico, e em casos mais severos, controle químico.

Apesar da eficiência da adição de resíduos orgânicos ao solo para o controle de fitonematoides, o emprego dessa prática alternativa de controle deve ser analisado com cautela. Faz-se necessário considerar também, quanto à frequência e à longevidade do sistema, especialmente em solos degradados, sendo necessários, em média, de quatro a oito anos para recuperar o equilíbrio e a diversidade de vida do solo, estabelecendo a atividade de inimigos naturais e a reciclagem de nutrientes (DIAS-ARIEIRA, PERUARI, 2019). Todas estas variáveis devem ser consideradas em um planejamento, visando reduzir o custo de produção, proporcionar a melhoria da qualidade do solo e conseqüentemente, o controle de fitonematoides.

Para estudos futuros sugere-se que mais resíduos sejam testados para o desenvolvimento de plantas e controle de fitopatógenos e ainda, que estes, sejam viáveis economicamente. Isto porque, apesar das inúmeras fontes de matéria orgânica estudadas ou com potencial de utilização, uma limitação existente é de como tornar a aplicação de resíduos economicamente viável. Assim, deve-se pensar na fonte de resíduos, distância da produção do resíduo até a propriedade, tamanho da área que necessita de tratamento, bem como se o material consiste em descarte ou tem valor reduzido. Essas premissas devem ser consideradas para viabilizar eficientes e alternativas economicamente viáveis pelo produtor.

7 CONCLUSÕES

Os fertilizantes orgânicos esterco bovino, composto bovino, vermicomposto bovino e composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos, podem promover o incremento de matéria fresca de raízes e matéria seca de parte aérea em relação à fertilização mineral convencional.

Contudo, os fertilizantes orgânicos que promovem a supressão da população de *Pratylenchus brachyurus* são somente esterco bovino, composto bovino e vermicomposto bovino.

O composto bovino, o composto de resíduos de frigorífico de abate de suínos e a adubação mineral favorecem o desenvolvimento e a reprodução de *Meloidogyne javanica*.

O composto de resíduo de frigorífico de abate de suínos favorece o incremento de biomassa vegetal do tomateiro.

O composto bovino e a adubação mineral apresentam ação semelhante no desenvolvimento do tomateiro.

Os fertilizantes orgânicos, composto de esterco bovino e composto de resíduos de frigorífico de suíno aumentam a quantidade de nutrientes no solo e favorecem o crescimento das plantas de soja.

A atividade fotossintética, as taxas de assimilação líquida de CO₂, a condutância estomática e a eficiência do uso da água são favorecidas pela adição de fertilizantes orgânicos ao solo.

A adição dos fertilizantes orgânicos reduz a fluorescência inicial da clorofila *a*, aumenta a taxa de transporte de elétrons, concentração interna de CO₂, eficiência potencial do PS (II) e eficiência quântica efetiva do PS (II) em plantas de soja.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, P.; CASTAGNONE-SERENO, P.; ROSSO, M. N.; ENGLER, J. D. A.,.; FAVERY, B. **Invasion, feeding and development. Root-knot nematodes**, p.163-181. 2009.

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.

ADHIKARY, S. **Vermicompost, the story of organic gold: A review**. Agricultural Sciences. v.3, p. 905-917. 2012.

AGRIOS, G. **Plant diseases caused by nematodes**. In: Agrios, G. (ed). Plant pathology, Elsevier Academic Press, San Diego, Estados Unidos. p. 565-597. 2005.

AKHTAR, M.; MALIK, A. **Roles of organic soil amendments and soil organisms in the biological control of plant-parasitic nematodes: a review**. Bioresource Technology, v.74, p.35-47, 2000.

ANTONIO, S. F.; MENDES, F. L.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; DIAS, W. P.; RAMOS JUNIOR, E. U.; GOULART, A. M. C.; SILVA, J. F. V. **Perdas de produtividade da soja em area infestada por nematoide-das-lesões radiculares em Vera, MT**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 6. 2012, Cuiabá. Soja: integração nacional e desenvolvimento sustentável: anais. Brasília, DF: Embrapa, 4 p. 1 CD-ROM. 2012.

ASMUS, L. G.; NUNES, A. G. A. W. **Use of slaughterhouse waste and tannery-based organic compost for the management of reniforms nematodes**. Nematoda. v.1, e05014, 2014.

BADRA, T, M.A.; SALEH, B.A.; OTEIFA. **Nematicidal activity and composition of some organic fertilizers and amendments**. Revue du Nématologie, v.2, p. 29 - 36. 1979.

BAKER, N.R. **Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo**. Annual Review of Plant Biology, v.59, p.89-113, 2008.

BELLÉ, C.; KULCZYNSKI, S. M.; KUHN, P. R.; DONINI, L. P.; GOMES, C. B. **Reação de genótipos de cana-de-açúcar ao parasitismo de *Meloidogyne javanica* e *Pratylenchus zaei***. Revista Caatinga, v.30. n.2, p. 530-535. 2017.

BELLÉ, C. et al. ***Meloidogyne* Species Associated with Weeds in Rio Grande do Sul**. Planta Daninha, v. 37, 2019.

BERNARDO, J. T.; FREITAS, L. G.; YAMADA, J. K.; ALMEIDA, V. S.; DALLEMOLE-GIARETTA, R.,; FERRAZ, S. **Efeito de adubos orgânicos sobre *Meloidogyne javanica* em Tomateiro**. Nematologia Brasileira. v. 35, p. 10-19. 2011.

BRASIL, PNRs. **Política nacional de resíduos sólidos**. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 10 de novembro de 2019.

BRITO, J.A.; KAUR, R.; CETINTA, R.; STANLEY, J.D. **Identification and isozyme characterization of *Meloidogyne* spp. infecting horticultural and agronomic crops, and weed plants in Florida.** *Nematology*. v.10, n.5, p.757-66. 2008.

BRUINSMA, J. S.S. **Avaliação de métodos para o estudo da resistência de genótipos de soja a *Meloidogyne javanica* (Treb) Chitwood.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria- RS. p.59. 2013.

BURKETT-CADENA, M.; KOKALIS-BURELLE, N.; LAWRENCE, K.S.; VAN SANTEN, E.; KLOPPER, J.W. **Suppressiveness of root-knot nematodes mediated by rhizobacteria.** *Biological Control*, v. 47, p. 55-59, 2008.

CARDOSO, M. R.; RIBEIRO, N. R.; MIAMOTO, A.; ALMEIDA, A. A.; LOPES, A. P. M. .; Dias-Arieira, Claudia R. **Crotalaria ochroleuca Susceptibility to *Heterodera glycines* Races.** *Journal of Agricultural Science*, v. 11, p. 205, 2019.

CASTAGNONE-SERENO, P.; DANCHIN, E. G.; PERFUS-BARBEOCH, L.; ABAD, P. **Diversity and evolution of root-knot nematodes, genus *Meloidogyne*: new insights from the genomic era.** *Annual review of phytopathology*. v.51, p.203-220. 2013.

CASTILHO, P.; VOVLAS, N. ***Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): Diagnosis, Biology, Pathogenicity and Management.** Leiden: Brill, 529 p, 2007.

CHEN, S.; DICKSON, D.W. **Biological control of nematodes by fungal antagonists.** In: Chen, Z.X, Chen, S.Y, Dickson, D.W. (Eds). **Nematology, advances and perspectives.** Wallingford, UK, CABI Publishing.v.2, p. 979-1039. 2004.

CHITWOOD, D. J. **Phytochemical based strategies for nematode control.** *Annual Revision Phytopathology*, v.40. p. 221-249. 2002.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 481, de 03 de outubro de 2017 do Conselho Nacional do Meio Ambiente.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. (Acesso em 27 de novembro de 2019).

COSTA, M. J. N. **Nematoides: consorciação e rotação de culturas.** In: Paterniani, M. E. A. G.; Duarte, A. P.; Tsunehiro, A. **Diversidade e inovações na cadeia produtiva de milho e sorgo na era dos transgênicos.** Campinas: Instituto Agrônomo, Associação Brasileira de Milho e Sorgo, p. 367-378. 2012.

COTTA, J. A. D. O.; CARVALHO, N. L. C.; BRUM, T. D. S.; REZENDE, M. O. D. O. **Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem.** *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 1, p. 65-78, 2015.

DALLEMOLE-GIARETTA, R.; FREITAS, L. G.; NEVES, W. S.; COUTINHO, M. M.; FERRAZ, S. **Efeito de extrato aquoso de sementes de abóbora sobre a eclosão e inativação de juvenis de *Meloidogyne javanica* e de *M. incognita*.** *Revista Trópica–Ciências Agrárias e Biológica*. v.3, p.3. 2009.

DE MELO SANTANA-GOMES, S.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; ROLDI, M.; SANTO DADAZIO, T.; MARINI, P. M.; DE OLIVEIRA BARIZATILDE, D. A. **Mineral nutrition in the control of nematodes**. African Journal of Agricultural Research, v.8. n. 21, p. 2413-2420. 2013.

DÉBIA, P. J. G.; BOLANHO, B. C.; PUERARI, H. H.; DIAS-ARIEIRA, C. R. **Parasitismo por *Meloidogyne javanica* e seus impactos sobre os parâmetros vegetativos, a composição físico-química e o potencial antioxidante da beterraba**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v.54, n. X, p.00695. 2019.

DIAS, C. R.; FERRAZ, S. **Efeito de frações biodigeridas de esterco de galinha sobre a eclosão e a mortalidade de juvenis de *Heterodera glycines***. Nematologia Brasileira, v. 25, p. 99-101, 2001.

DIAS, W. P.; GARCIA, A.; SILVA, J. F. V.; CARNEIRO, G. E. S. **Nematoides em Soja: Identificação e Controle**. Londrina: Embrapa, Circular Técnica 76, p. 8, 2010.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; DE ARAÚJO, F. G.; KANEKO, L.; SANTIAGO, D. C. **Biological control of in soya bean crops**. Journal of Phytopathology, v. 2018, p. 1-7, 2018.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; PERUARI, H.H. **Matéria orgânica no solo e o manejo de nematoides**. XXXVI Congresso Brasileiro de Nematologia. ISBN: 978.85.66836.25.7. Caldas Novas, Goiás. 26-30 de maio de 2019. 2019.

DOMÍNGUEZ, J.; AIRA, M.; KOLBE, A.R, GÓMEZ-BRANDÓN, M.; PÉREZ-LOSADA, M. **Changes in the composition and function of bacterial communities during vermicomposting may explain beneficial properties of vermicompost**. Scientific Reports. v.9, p. 9657. 2019.

EDWARDS, C. A. **Historical overview of vermicomposting**. Biocycle. v.36, p. 56-58. 1995.

FERRAZ, L. C. C. B. **Gênero *Pratylenchus*– Os nematoides das lesões radiculares**. Revisão Anual de Patologia de Plantas, v. 7, n. 1, 1999.

FERRAZ, L.C.C.B, MONTEIRO, A.R. Nematóides. IN: BERGAMIN FILHO, A, KIMATI, H, AMORIN, L. **Manual de fitopatologia volume 1: princípios e conceitos**. 3 ed. São Paulo: Ceres, p.168-201, 1995.

FERRAZ, L.C.C.B.; BROWN, D.J.F. **Nematologia de plantas: fundamentos e importância**. L.C.C.B. Ferraz e D.J.F. Brown (Orgs.). Manaus: Norma Editora, 251 p. Il. 2016.

FERRAZ, S.; FREITAS, G. L.; LOPES, S. E.; DIAS-ARIEIRA. R. C. **Manejo sustentável de fitonematoides**. Viçosa, MG, Ed. UFV, p. 63-100, 2010.

FERREIRA, A. A. **Extratos aquosos radiculares de plantas da família solanaceae exibindo atividade nematotóxica no controle de *Meloidogyne incognita***. Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia da Universidade de Brasília 2018.

FERREIRA, J. C. A.; BRITO, O. D. C.; DEBIA, P. J. G.; SILVA, B. A.; TARINI, G.; Dias-Arieira, Claudia R. **Crambe Cake to *Meloidogyne javanica* Control in Lettuce.** Journal of Agricultural Science, v. 10, p. 163, 2018.

FERREIRA, J. C. A.; HERNANDES, I.; CARDOSO, M. R.; BRITO, O. D. C.; DIAS-ARIEIRA, C. R. **Dosages of bokashi in the control of *Meloidogyne javanica* in lettuce, in greenhouse.** Horticultura Brasileira, v. 35, p. 224-229, 2017.

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, n. 1, p. 13-29, 2001.

FIGUEIREDO, A. **Estudo de variáveis ecológicas de *Pratylenchus brachyurus* em soja e elaboração de uma escala de notas para seleção de genótipos a campo.** Jaboticabal, SP, Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 68 p. 2013.

GALBIERI, R.; INOMOTO, M. M.; SILVA, R. A.; ASMUS, G. L. **Manejo de fitonematoides na cultura do algodoeiro em Mato Grosso.** In: Belot, J. L. (ed), Manual de boas práticas de manejo do algodoeiro em Mato Grosso. Cuiabá, Brasil: Editora Casa da Árvore. p.214-225. 2016.

GARRIDO, M. S.; SOARES, A. C. F.; COIMBRA, J. L.; SOUSA, C. S. **Management of crotalaria and pigeon pea for control of yam nematode diseases.** Summa Phytopathologica, v. 34, p. 222-227, 2008.

GÓMEZ-BRANDÓN, M, AIRA, M, KOLBE, A.R, de ANDRADE, N, PÉREZ-LOSADA, M, DOMÍNGUEZ, J. **Rapid bacterial community changes during vermicomposting of grape marc derived from red winemaking.** Microorganisms v.7, n.473, p.1-16. 2019.

GOULART, A. M. C. **Aspectos gerais sobre nematoides – das – lesões- radiculares (Gênero *Pratylenchus*).** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 11-18, 2008.

HERMOSA, M.R.; GRONDONA, I.; ITURRIAGA, E.A.; DIAZ-MINGUEZ, J.M.; CASTRO, C.; MONTE, E.; GARCIA-ACHA, I. **Molecular characterization and identification of biocontrol isolates of *Trichoderma* spp.** Applied Environmental Microbiology, v.66, p. 1890-1898, 2000.

HUSSEY RS, JANSSEN GJW. **Root-knot nematodes: *Meloidogyne* species.** In: Starr JL, COOK R, BRIDGE J, editors. Plant resistance to parasitic nematodes. Wallingford: CAB International, p. 43-70, 2002.

INOMOTO, M. M. **MANEJO CULTURAL DE FITONEMATOIDES EM SOJA. Nematologia: Problemas Emergentes e Estratégias de Manejo,** p. 63, 2018.

JONES, J. T.; HAEGEMAN, A.; DANCHIN, E. G. J.; GAUR, H. S.; HELDER, J.; JONES, M. G. K.; KIKUCHI, T.; MANZANILLA-LÓPEZ, R.; PALOMARES-RIUS, J. E.; WESEMAEL, W. M. L.; PERRY, R. **Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology.** Molecular Plant Pathology. v.14, n.9, p. 946-961, 2013.

KANTOLIC, A. G.; REIS, E. M.; CASA, R. T. **Doenças da soja: etiologia, sintomologia diagnose e manejo integrado.** Passo Fundo: Berthier, p. 436, 2012.

KHAN, T.A.; SAXENA, S.K. **Integrated management of root knot nematode *Meloidogyne javanica* infecting tomato using organic materials and *Paecilomyces lilacinus*.** Bioresource Technology, [s.l.], v. 61, n. 3, p. 247-250, 1997.

KERRY, B.R. **Progress in the use of biological agentes for control of nematodes.** In: PAPAIVIZAS, G.C. (Ed.). Biological control in Crop Production. Allanheld: Osmum, p. 79- 90, 1981.

KOLBE, A.R, AIRA, M, GÓMEZ-BRANDÓN, M, PÉREZ-LOSADA, M, DOMÍNGUEZ, J. **Bacterial succession and functional diversity during vermicomposting of white grape marc (*Vitis vinifera* v. Albariño).** Scientific Reports v.9, p.7472. 2019.

LAZAROVITS, G. **Management of soilborne plant pathogens with organic soil amendments: A disease control strategy salvaged from the past.** Canadian Journal of Plant Pathology. v. 23, p. 1–7. 2001.

LOPES, A. P. M.; TONINATO, B. O.; SOARES, M. R. C.; DIAS-ARIEIRA, C. R. **Biological control associated with plant nutrition for *Meloidogyne javanica* and *Pratylenchus brachyurus* management in Soybean.** Journal of Agricultural Science, v. 12, p. 149, 2019.

LORDELLO, L. G. E. **Métodos gerais de controle.** (Ed.) Nematóides das Plantas Cultivadas. São Paulo: Nobel, p. 81-123, 1984.

LORDELO, A. I. L.; LORDELO, R. R. A. **Genótipos de Milho Indicados para Plantio em Áreas Infestadas por *Meloidogyne javanica*.** O Agrônomo, Campinas. v.44, p.1-3, 1992.

LOSS, A, PEREIRA, M. G, SCHULTZ, N, ANJOS, L. H. C. D, SILVA, E. M. R. D. **Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação.** Bragantia, Campinas, v. 69, n. 4, p913-922, 2010.

MACHADO, A. C. Z, O. F. DORIGO, S. A. SILVA, E P. M. AMARO. **Parasitismo de *Helicotylenchus dihystera* nas culturas da soja e milheto.** Anais. XXXII Congresso Brasileiro de Nematologia. 2015.

Mc SORLEY, R, R.N. GALLAHER. **Effect of compost and maize cultivars on plant – parasitic nematodes.** Supplement to the Journal of Nematology v.29, p. 731 - 736. 1997.

Mc SORLEY, R, R.N. GALLAHER. **Effect of Yard waste compost on nematode densities and maize yields.** Supplement to the Journal of Nematology, v.28, p.665- 660. 1996.

Mc SORLEY, R. **Alternative practices for managing plant-parasitic nematodes.** American Journal of Alternative Agriculture, Oxfordshire, v.13, p. 98-104. 1998.

Mc SORLEY, R.; GALLAHER, R.N. **Cultural practices improve crop tolerance to nematodes.** Nematropica, Riverside, v.25, p.53-60, 1995.

Mc SORLEY, R.; McGOVERN, R.J. **Effects of solarization and ammonium amendments on plant-parasitic nematodes.** Journal of Nematology, Lakeland, v.32, p.537-541, 2000.

MCSORLEY, R. **Adaptations of nematodes to environmental extremes.** Florida Entomologist, Gainesville. v.86, n. 2. p. 138-142, 2003.

McCAULEY, L. A, ANGER, W. K, KEIFER, M, LANGLEY, R, ROBSON, M. G, ROHLMAN, D. **Studying health outcomes in farmworker populations exposed to pesticides.** Environmental health perspectives. v. 114, n.6), 953-960. 2006.

Mc SORLEY, R.; GALLAHER, R.N. **Population dynamics of plantparasitic nematodes on cover crops of corn and sorghum.** Journal of Nematology, Lakeland, v.25, p.446-453, 1993.

Mc SORLEY, R. Alternative practices for managing plant-parasitic nematodes. American Journal of Alternative Agriculture, v.13, n. 3, p. 98-104, 1998.

MELLO, A. F. S, MACHADO, A. C. Z.; INOMOTO, M. M. **Potencial de controle da erva-de-Santa-Maria sobre *Pratylenchus brachyurus*.** Fitopatologia Brasileira, Brasília, v. 31, p. 513-516, 2006.

MOENS M, PERRY R. **Migratory plant endoparasitic nematodes: A group rich in contrasts and divergence.** Annual Review Phytopathology. v.37, p. 313-32. 2009.

MOENS, M, PERRY, R. N.; STARR, J. L. **Meloidogyne species—a diverse group of novel and important plant parasites. Root-knot nematodes,** v.1, p. 483. 2009.

MONTEIRO, A. R, DE OLIVEIRA, C. M. G, FERRAZ, L. C. C. B, GONÇALVES, W. **Identificação morfológica de populações de *Meloidogyne* de cafezais paulistas.** Programa e Anais. 1995.

NAZARENO, G. G.; JUNQUEIRA, A. M. R.; PEIXOTO, J. R. **Utilização de matéria orgânica para o controle de nematóides das galhas em alface sob cultivo protegido.** Bioscience Journal, v.26, p.579-590, 2010.

NIU, Q.H.; HUANG, X.W.; ZHANG, L.; YANG, J.K.; ZHANG, K.Q. **A neutral protease from *Bacillus nematocida*, another potential virulence factor in the infection against nematodes.** Archives Microbiology, v. 185, p. 439–448, 2006.

OKA, Y. **Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments – A review.** Applied Soil Ecology, v. 44, p. 101-115, 2010.

PEREIRA, J. C, ZAMBOLIM, L, VALE, F.X.R, CHAVES, G.M. **Compostos orgânicos no controle de doenças de plantas.** Revisão Anual de Patologia de Plantas, Viçosa. v.4, p. 353-380. 1996.

PERUCCI, P, MONACI, E, ONOFRI, A, VISCHETTI, C, CASUCCI, C. **Changes in physico-chemical and biochemical parameters of soil following addition of wood ash: a field experiment.** European Journal Agronomy. v. 89, p.70-82. 2008.

PESTICIDE DATA PROGRAM - Annual Summary Calendar Year 2006.
<<http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0/science>> acesso em 15 de dezembro de 2016.

RITZINGER, C. H. S. P.; FANCELLI, M. **Manejo integrado de nematóides na cultura da bananeira**. Revista Brasileira de Fruticultura. v. 28, n. 2, p. 331-338, 2006.

RODRÍGUEZ-KÁBANA, P.S. KING, M.H. **Pope Combinations of anhydrous ammonia and ethylene dibromide for control of nematodes parasitic on soybeans**. Nematropica, v.11. p. 27-41. 1981.

SANCHEZ-HERNANDEZ, J, DOMÍNGUEZ. J. **Dual role of vermicomposting in relation to environmental pollution: detoxification and bioremediation**. In: Juan C. Sanchez-Hernandez (Ed.). Bioremediation of Agricultural Soils. CRC Press. Boca Raton, Florida. p. 217-230. 2019.

SANTANA-GOMES, S, DIAS-ARIEIRA, C. R, ROLDI, M, SANTO DADAZIO, T, MARINI, P. M, DE OLIVEIRA BARIZATILDE, D. A. **Mineral nutrition in the control of nematodes**. African Journal of Agricultural Research. v. 8, n. 21, p.2413-2420. 2013.

SANTOS, E. S, LACERDA, J. T.; CARVALHO, R. A.; CASSIMIRO, C. M. **Produtividade e controle de nematóides do inhame com plantas antagônicas e resíduos orgânicos**. Tecnologia e Ciência Agropecuária, v. 3, p. 7-13, 2009.

SASSER, J. N. FRECKMAND, D. W. **A world perspective on nematology: the role of the society**. In: VEECH, J. A.; DICKSON, D. W. (Ed.). Visitas on nematology. Hyattsville: Society of Nematologists, p. 7-4, 1987.

SCHIPPERS, B. **Biological control of pathogens with rhizobacteria**. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences, v. 318, n. 1189, p. 283-293, 1988.

SCHMITT, J, BELLÉ, C, JACQUES, R. J. S, CARES, J. E, ANTONIOLLI, Z. I. **Detection of Meloidogyne arenaria in cucumber in Rio Grande do Sul state, Brazil**. Australasian plant disease notes, v.13. n.1, p.8. 2018.

SIDDIQUI, Z.A. MAHMOOD, I. **Role of bacteria in management of plant parasitic nematodes: A review**. Bioresource Technology, v.69, p. 167-179, 1999.

SIDDIQUI, Z. A, AKHTAR, M.S. **Effects of antagonistic fungi and plant growth promoting rhizobacteria on growth of tomato and reproduction of root-knot nematode Meloidogyne incognita**. Australian Plant Pathology. v.38. p. 22-28. 2009.

SILVA, G. S.; FERRAZ, S. E.; SANTOS, J. M. **Atração, penetração e desenvolvimento de larvas de Meloidogyne javanica em raízes de Crotalaria spp**. Nematologia Brasileira. v. 13, p. 151-163, 1989.

SILVA, J. F. V. **Resistência genética de soja a nematóides do gênero Meloidogyne**. In: FERRAZ, L. C. C. B.; ASMUS, G. L.; CARNEIRO, R. G.; MAZAFFERA, P.; SILVA, J. F. V. Relações parasito-hospedeiro nas meloidogynoses da soja. Londrina: Embrapa/CNPSo, p. 95-127. 2001.

SINGH, S. K.; HODDA, M.; ASH, G. J. **Plant-parasitic nematodes of potential phytosanitary importance, their main host and reported yield losses.** OEPP/ EPPO Bulletin, v.43, n.2, p. 334-374, 2013.

STIRLING, G. R. **Biological control of plant parasitic nematodes: progress, problems and prospects.** Wallingford: CAB International, p. 282, 1991.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** Artmed Editora. 2017.

TAVAKOL-NORABADI, M.; SAHEBANI, N.; ETEBARIAN, H.R. **Biological control of root-knot nematode (*Meloidogyne javanica*) disease by *Pseudomonas fluorescens* (Chao).** Archive of Phytopathology and Plant Protection, v.47, p.615–621, 2013.

TENUTA, M, LAZAROVITS, G. **Ammonia and nitrous acid from nitrogenous amendments kill the microsclerotia of *Verticillium dahlia*.** Phytopathology, v.92, p. 255-264. 2002.

TIAN, B.; YANG, J.; ZHANG, K. **Bacteria used in the biological control of plant-parasitic nematodes: populations, mechanisms of action, and future prospects.** FEMS, Microbiology Ecology, v.61, p. 197-213, 2007.

TIHOHOD, D. **Guia prático de identificação de fitonematoides.** Jaboticabal: FCAV: FAPESP, p. 246, 1997.

TIHOHOD, D. **Nematologia agrícola aplicada.** 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, p.388-392. 2000.

TONINATO, B. O.; SOUZA, D. H. G.; PONTALTI, P. R. B. .; LOPES, A. P. M. .; DIAS-ARIEIRA, C. R. . ***Meloidogyne javanica* control in lettuce with fertilizers applied isolated or associated with biological product.** HORTICULTURA BRASILEIRA, v. 37, p. 384-389, 2019.

VIAENE, N.M.; ABAWI, G.S. ***Hirsutella rhossiliensis* and *Verticillium chlamydosporium* as biocontrol agents of the root-knot nematode *Meloidogyne hapla* on lettuce.** Journal of Nematology, v.32, p. 85-100. 1998.

VIGLIERCHIO, D.R. **The World of Nematodes: a fascinating component of the animal kingdom.** University of California: Davis, CA, 266 p. 1991.

WIDMER, T.L.; ABAWI, G.S. **Relationship between levels of cyanide in sudangrass hybrids incorporated into soil and suppression of *Meloidogyne hapla*.** Journal of Nematology. v.34, p. 16-22. 2002.

WILLE, C. N, GOMES, C. B, MOURA, A. B, CAMPOS, A, SCHAFFER, J. T, BRUM, D. **Potencial de rizobactérias no controle de *Meloidogyne incognita* em figueira.** Embrapa Clima Temperado-Artigo em periódico indexado (ALICE). 2019.