

2023-04-27

Influência da diversidade microbiana do solo na supressão de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja

Lameu, Nathalia Dutra

Universidade Estadual do Norte do Paraná

LAMEU, Nathalia Dutra. Influência da diversidade Microbiana do Solo na Supressão de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja. Orientador: Leopoldo Sussumu Matsumoto. 2023. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Campus Luiz Meneghel, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2023.

<https://repositorio.uenp.edu.br/handle/123456789/295>

Baixado de Repositório Institucional UENP



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ
CAMPUS LUIZ MENEGHEL

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

NATHALIA DUTRA LAMEU

**INFLUÊNCIA DA DIVERSIDADE MICROBIANA DO SOLO NA
SUPRESSÃO DE *Meloidogyne javanica* NA CULTURA DA SOJA**

BANDEIRANTES-PR

2023

NATHALIA DUTRA LAMEU

**INFLUÊNCIA DA DIVERSIDADE MICROBIANA DO SOLO NA
SUPRESSÃO DE *Meloidogyne javanica* NA CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Agronomia, da Universidade
Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz
Meneghel.

Orientador: Prof. Dr. Leopoldo Sussumu
Matsumoto.

BANDEIRANTES-PR

2023

Ficha catalográfica elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UENP

DL228i Dutra Lameu, Nathalia
i Influência da diversidade microbiana do solo na
supressão de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja
/ Nathalia Dutra Lameu; orientador Leopoldo Sussumu
Matsumoto - Bandeirantes, 2023.
69 p. :il.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Agronomia) -
Universidade Estadual do Norte do Paraná, Centro de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, 2023.

1. Comunidade microbiana. 2. nematoides. 3.
supressividade. 4. biofertilizante. I. Sussumu
Matsumoto, Leopoldo, orient. II. Título.

NATHALIA DUTRA LAMEU

**INFLUÊNCIA DA DIVERSIDADE MICROBIANA DO SOLO NA
SUPRESSÃO DE *Meloidogyne javanica* NA CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Agronomia, da Universidade
Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz
Meneghel.

Aprovado em: 27/ 04/2023

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto

UENP

Profa. Dra. Andressa Cristina Zamboni Machado

UEL

Profa. Dra. Gabriela Vieira da Silva

UENP

Prof. Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto
Orientador Universidade Estadual do Norte do
Paraná,
Campus Luiz Meneghel

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Eluiza Dutra e José Lameu por todo amor e carinho dedicado aos filhos e apoio ao longo de toda a minha vida acadêmica. Meu profundo e eterno agradecimento.

AGRADECIMENTOS

A Deus por guiar meus passos e me mostrar sempre o melhor caminho a seguir.

Aos meus pais Eluiza Dutra e José Lameu, por terem me dado educação e valores. Agradeço por todo o amor transmitido a mim nos momentos em que mais precisei e por acreditarem que seria capaz de vencer mais uma batalha. Compartilho com vocês essa conquista.

Ao meu orientador Prof. Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto pela disposição em orientar, ensinar e por todas as contribuições de âmbito profissional, as quais levarei para toda a vida.

Ao Professor Gilberto Demétrio pela ajuda desde o começo do trabalho e por todo conhecimento que compartilhou comigo durante a minha trajetória no mestrado.

Ao meu namorado Osmar Roncasalia Júnior por todo o apoio, carinho e amor transmitidos a mim nos momentos de angústias e incertezas. O meu muito obrigada por toda a paciência e acolhimento ao longo desta caminhada.

Aos amigos e companheiros do Laboratório de Microbiologia do Solo – Lab MicroS. Ana Carolina B., Gabriel S., Maria Eduarda S. e Maria Vitória R, o meu agradecimento por estarem comigo e colaborarem no desenvolvimento deste trabalho. Em especial Anderson S., Giovani D. e Vitor M. que durante a preparação do trabalho estiveram comigo e me ajudaram até o fim do desenvolvimento deste trabalho. Lembrarei de vocês com carinho e os levarei para toda vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos durante os anos de curso de mestrado.

LAMEU, N. D. **Influência da diversidade Microbiana do Solo na Supressão de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja**. Dissertação de Mestrado em Agronomia – Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus Luiz Meneghel*, Bandeirantes, 2023.

RESUMO

A cultura da soja é de grande destaque econômico para o Brasil. As infestações por nematoides podem causar prejuízos na cultura, por isso a busca de alternativas sustentáveis para diminuir os danos na produtividade é cada vez maior. A utilização de nematicidas químicos pode causar impacto negativo no solo. Assim, alternativas como biofertilizantes e adubos biológicos são uma forma de estimular a microbiota do solo e fazer a supressão de nematoides. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da diversidade microbiana do solo na supressão de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja. O experimento foi instalado em casa de vegetação em bloco casualizado, em vasos com capacidade de 4 e 5 litros, onde os mesmos foram preenchidos com latossolo vermelho Eutroférico de áreas distintas, sendo mata, agrossistema e barranco, misturados com areia na proporção de 3:1. O ensaio foi composto por 15 tratamentos com 7 repetições, totalizando 105 vasos, sendo estes compostos de 3 solos (mata, agrossistema e barranco), 3 sistemas de controle do nematoide (químico, *Bacillus* sp. e biofertilizante comercial) e 2 controles (Negativo e Positivo) nos três tipos de solos. Todos os vasos foram semeados com 5 sementes de soja. No 3º dia após o plantio (DAP) foi aplicado o nematicida químico fluopiram (ILEVO®) e, aos 10 DAP, foram inoculados *Bacillus* sp. e o biofertilizante (Microgeo®). No 14º DAP foram inoculados 4 mil ovos e juvenis de *M. javanica* por planta, totalizando 16.000 ovos e juvenis por vaso. Foram realizadas análises microbiológica e química dos solos e avaliação dos grupos funcionais de microrganismos antes do plantio. Na fase final do estágio vegetativo e início do estágio reprodutivo, foram realizadas avaliações agrônômicas quanto a altura, peso fresco e seco da parte aérea, comprimento, volume, peso fresco e seco da raiz, além de análise de nematoides na raiz. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Os resultados para o solo da mata mostraram maiores quantidades de microrganismos dos grupos funcionais, seguido pelo solo de agrossistema e barranco. As análises microbiológicas do solo da mata mostraram melhores resultados em questão da Matéria orgânica (M.O) e do Carbono de biomassa microbiana do solo (CBMS) onde esse solo apresentou maior quantidade de matéria orgânica em comparação ao agrossistema e barranco. As análises químicas do solo da mata apresentaram pH parecido com o solo do agrossistema e baixo teor de alumínio (Al^{3+}). Em comparação, o solo do barranco mostrou maior teor de Al^{3+} , indicando que esse solo sofre com toxicidade por esse elemento. As análises de nematoides apresentaram interação significativa entre os solos, com maior redução de formas ativas no solo da mata e ovos no solo de agrossistema. Entre os tratamentos, o químico foi melhor no solo de agrossistema, seguido por *Bacillus*, onde no solo da mata e agrossistema apresentou redução de ovos. Para a parte aérea, houve interação para os três tipos de solo, sendo o solo de agrossistema melhor para as variáveis. Para os tratamentos, *Bacillus* e biofertilizante foram melhores na altura e nas raízes no solo da mata, entre os tratamentos o biofertilizante no solo da mata e barranco obteve melhores resultados. Conclui-se que a utilização de produtos biológicos, como *Bacillus* sp., no controle de fitonematoides é altamente recomendado, visto a sua eficiência no controle do nematoide e na promoção de crescimento da planta. A diversidade microbiana no solo tem influência direta e indiretamente na supressão de fitonematoides.

Palavras-chave: Comunidade microbiana; nematoides; supressividade; biofertilizante.

LAMEU, N. D. **Microbial Diversity in the Suppression of *Meloidogyne javanica* in soybean.** Dissertação de Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná – *Campus* Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2023.

ABSTRACT

The soybean crop is of great economic importance in Brazil, but nematode infestations can cause significant losses. Therefore, there is an increasing need to search for sustainable alternatives to reduce damage to productivity. The use of chemical nematicides can have a negative impact on the soil, so alternatives such as biofertilizers and biological fertilizers are being explored to stimulate the soil microbiota and suppress nematodes. The objective of this study was to evaluate the influence of soil microbial diversity on the suppression of *Meloidogyne javanica* in the soybean crop. The experiment was conducted in a greenhouse using a randomized block design, with 4 and 5-liter pots filled with red eutrophic silty soil from different areas, including forest, agrosystem, and ravine, mixed with sand in a 3:1 ratio. The trial consisted of 15 treatments with 7 repetitions, totaling 105 pots, composed of 3 soil types (forest, agrosystem, and ravine), 3 nematode control systems (chemical, *Bacillus* sp., and commercial biofertilizer) and 2 controls (Negative and Positive) in the three soil types. All pots were sown with 5 soybean seeds. On the 3rd day after planting (DAP), a chemical nematicide (ILEVO[®]) was applied, and on the 10 DAP, *Bacillus* sp. and biofertilizer (Microgeo[®]) were inoculated. On the 14th DAP, 4,000 eggs and juveniles of *M. javanica* were inoculated per plant, totaling 16,000 eggs and juveniles per pot. Microbiological and chemical analyses of the soil and evaluation of the functional groups of microorganisms were performed before planting. Agronomic evaluations were performed at the end of the vegetative stage and beginning of the reproductive stage, including measurements of height, fresh and dry weight of the aerial part, length, volume, fresh and dry weight of the root, and root nematode analysis. The results were submitted to variance analysis and the means were compared using Tukey's test ($p < 0.05$). The results showed that the forest soil had higher amounts of microorganisms in the functional groups, followed by the agrosystem soil and ravine. The forest soil also had better results in terms of organic matter (M.O) and carbon of microbial biomass of the soil (CBMS), indicating a greater amount of organic matter compared to the agrosystem and ravine. The chemical analysis of the forest soil showed pH similar to the agrosystem soil and low aluminum content (Al^{3+}), while the ravine soil had a higher Al^{3+} content, indicating that this soil suffers from Al toxicity. The analysis of nematodes showed a significant interaction between the soils, with greater reduction in active forms in the forest soil and eggs in the agrosystem soil. Among the treatments, the chemical was better in the agrosystem, followed by *Bacillus* sp., which was better in suppressing eggs in the forest and agrosystem soils. For the aerial part, there was an interaction for the three types of soil, with the agrosystem soil performing better for the variables. Among the treatments, *Bacillus* sp. and biofertilizer were better in promoting height and roots in the forest soil, while biofertilizer was better in the forest soil and ravine. In conclusion, the use of biological products such as *Bacillus* sp. is highly recommended for the control of phytonematodes, given its efficiency in controlling nematodes and promoting plant growth. Soil microbial diversity has a direct and indirect influence on phytonematode suppression, making it important to consider when developing sustainable strategies for crop management.

Keywords: Microbial community; nematodes; suppressiveness; biofertilizer.

LISTA DE ABREVIATURAS

ACT	Actinomicetos;
AMI	Amilolíticos;
BMS	Biomassa Microbiana do Solo;
CaCl₂	Cloreto de cálcio;
Ca	Cálcio;
CaCO₃	Carbonato de cálcio;
CAT	Catalase;
CBMS	Carbono da Biomassa Microbiana do Solo;
CEL	População de Celulolíticos;
CLM	Campus Luiz Meneghel;
C.O.T	Carbono Orgânico Total;
CO₂	Gás carbônico;
µl	Microlitro;
Cm	Centímetros;
COT	Carbono orgânico total;
CTC	Capacidade de troca de cátions;
g	Gramas;
H₂SO₄	Ácido Sulfúrico;
K	Potássio;
Kg	Quilogramas;
K₂SO₄	Sulfato de potássio
L	Litro;
MFPA	Massa fresca da parte aérea;
MFR	Massa fresca da raiz;
Mg	Magnésio;
mL	Mililitro;
mm	Milímetros;
MFR	Massa Fresca Raiz;
M.O.	Matéria orgânica;
MSPA	Massa seca da parte aérea;
MSR	Massa seca da raiz;
N	Nitrogênio;

P	Fósforo;
pH	Potencial hidrogênioônico;
PRO	Proteolíticos;
PSF	<i>Pseudomonas fluorescens</i> ;
qCO₂	Quociente Metabólico;
qMIC	Quociente Microbiano;
RBS	Respiração Basal do solo;
RPM	Rotações por minuto;
UENP	Universidade Estadual do Norte do Paraná.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição dos tratamentos para avaliar a supressão dos nematoides, através da diversidade microbiana do solo de mata, agrossistema e barranco, com aplicação de químico, *Bacillus sp* e biofertilizante.

Tabela 2. Meios de cultura utilizados para análise da comunidade microbiana dos solos.

Tabela 3. Grupos funcionais de microrganismos em solo de mata, agrossistema e barranco

Tabela 4. Análises químicas dos solos de mata, agrossistema e barranco.

Tabela 5. Análise dos atributos microbiológicos dos solos de mata, agrossistema e barranco.

Tabela 6. Significância da análise de variância entre solo de mata, agrossistema e barranco para formas ativas e ovos de *Meloidogyne javanica*; e dos tratamentos Químico, *Bacillus* e biofertilizante dentre os solos.

Tabela 7. Significância da análise de variância entre solo de mata, agrossistema e barranco para parâmetros biométricos de parte aérea; e significância dos tratamentos Químico, *Bacillus* e biofertilizante dentre os solos.

Tabela 8. Significância da análise de variância entre solo de mata, agrossistema e barranco para parâmetros biométricos de raiz; e significância dos tratamentos Químico, *Bacillus* e biofertilizante dentre os solos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida de nematóides do gênero *Meloidogyne*. Fonte: Agrios (2005).

Figura 2. Efeitos proporcionados pela colonização das raízes com *Bacillus subtilis*. (Fonte: adaptado de Blake et al., 2020)

Figura 3. Experimento montado em casa de vegetação em vasos semeados com soja. Fonte: LAMEU, 2023

Figura 4a. Vaso de planta com cova feita por um bastão de vidro para inoculação dos nematoides. Fonte: LAMEU, 2023.

Figura 4b: Vaso de soja sendo inoculado com nematoides com auxílio de uma pipeta. Fonte: LAMEU, 2023.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. CULTURA DA SOJA	18
2.2. FITONEMATOIDES - <i>MELOIDOGYNE JAVANICA</i>	19
2.2.1. CONTROLE DE FITONEMATOIDES	21
2.2.2. CONTROLE QUÍMICO	22
2.2.3. CONTROLE BIOLÓGICO	22
2.3. QUALIDADE DO SOLO	24
2.4. MICRORGANISMOS NO SOLO	25
2.4.1. GRUPOS FUNCIONAIS	26
2.4.1.1 Bactérias	26
2.4.1.2. Actinobactérias	27
2.4.1.3. Fungos	27
2.4.1.4. Celulolíticos.....	28
2.4.1.5. Proteolíticos	28
2.4.1.6. Amilolíticos	29
2.4.1.7. Fixadores biológicos de nitrogênio	29
2.4.1.8. <i>Pseudomonas</i> spp.	30
2.4.1.9. Solubilizadores de fosfato	30
3.OBJETIVOS	31
3.1 OBJETIVO GERAL	31
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
4.MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.	32
4.2. TRATAMENTOS	33
4.2.1. Químico	33
4.2.2. <i>Bacillus</i> sp.	33
4.2.3. Adubo Biológico	34
4.3. INOCULAÇÃO DE <i>MELOIDOGYNE JAVANICA</i>	34
4.4. ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS	35
4.4.1. Amostragem do solo	35
4.4.2. Avaliação da Comunidade Microbiana	35
4.4.3. Carbono de biomassa microbiana.....	37
4.4.4. Respiração basal do solo	37
4.4.5. Quociente metabólico (qCO_2) e microbiano ($qMIC$)	37
4.5. ANÁLISE DE PARÂMETROS AGRONÔMICOS	38
5. ANÁLISE ESTATÍSTICA	39

6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
6.1	GRUPOS FUNCIONAIS	39
6.2	ANÁLISE DOS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO	40
6.3.	ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DO SOLO	41
6.4.	AVALIAÇÃO DE <i>MELOIDOGYNE JAVANICA</i> NA RAIZ	44
6.5.	AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS AGRONÔMICOS DA SOJA	47
7.	CONCLUSÃO	54
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
9.	REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja é de grande importância para a economia mundial (TEJO; FERNANDES; BURATTO, 2019), principalmente pelo seu valor nutricional. A cultura da soja tem se expandido cada vez mais com o aumento de tecnologias, práticas de manejo e novas cultivares. Mesmo assim, os avanços não impediram os fatores que são capazes de causar prejuízos a essa cultura (FOLLMANN et al., 2017), podendo ser deficiência nutricional, escassez de água e doenças, causadas por bactérias, vírus, fungos e nematoides.

Os fitonematoides estão ganhando cada vez mais importância no cenário brasileiro e preocupando os produtores pela sua agressividade, resistência a agroquímicos e a extensão dos seus danos (GAZZONI, 2018). O gênero *Meloidogyne* tem importância econômica na agricultura, por estar presente em várias regiões produtoras de soja e ser agressivo nas lavouras devido à sua alta capacidade em parasitar inúmeros hospedeiros (MIRANDA, 2021).

Esse gênero forma estruturas no sistema radicular das plantas, conhecidas como galhas, onde a sua forma infectante é o juvenil de segundo estágio (J2), que penetra nas raízes e o seu parasitismo pode causar danos diretos e indiretos. O parasitismo por *Meloidogyne* spp. pode interferir no processo de fotossíntese, respiração e absorção de nutrientes (SILVEIRA, 2021), resultando no desenvolvimento anormal das plantas e consequentemente uma baixa produção. Dessa maneira, os produtores procuram alternativas que possam diminuir os danos causados (SILVA et al., 2021). Uma alternativa muito utilizada são os nematicidas químicos, com vários modos de ação e diferentes tecnologias de aplicação, além de terem custos variados. Os produtores têm buscado alternativas sustentáveis, como rotação de cultura associadas às culturas resistentes e o controle biológico (GUIMARÃES et al., 2021a).

O controle biológico é a ação dos microrganismos de controlar patógenos, diminuindo sua capacidade de se alimentar e de se reproduzir. Os microrganismos que estão presentes no solo desempenham funções diversas e importantes, formando os grupos funcionais que atuam em processos biogeoquímicos, decomposição de matéria orgânica, solubilização de nutrientes, entre outros (RADHAKRISHNAN; HASHEM; ABD-ALLAH, 2017; LOPES et al., 2018).

O controle biológico pode ser feito com vários tipos de microrganismos, como bactérias do gênero *Bacillus*, e fungos como *Trichoderma* spp., *Purpureocillium* (= *Paecilomyces*) *lilacinum* e *Pochonia chlamydosporia*. (SIKANDAR et al., 2020; MIAO et al., 2019). *Bacillus* spp. estão entre os mais abundantes na rizosfera e possuem a capacidade de

fazer a supressão de nematoides por diferentes modos de ação, como antagonismo, produção de enzimas líticas, indução de resistência sistêmica e a redução do estresse oxidativo (XIANG et al., 2017; ZHOU et al., 2017a).

A utilização de microrganismos para fazer biofertilizantes tem se tornado uma alternativa eficiente para o controle dos nematoides. Os biofertilizantes são compostagem líquida contínua, que contêm microrganismos benéficos que restabelecem a microbiota do solo e tornam o solo mais supressivo, além de terem substâncias ricas em aminoácidos e carboidratos na sua composição, que podem aumentar a atividade microbiana e gerar competição, causando a supressão dos nematoides (SCHURT et al., 2017).

Dessa maneira, o Microgeo® é composto por esterco bovino ou conteúdo ruminal e tem a finalidade de restabelecer o microbioma do solo por conter uma ampla biodiversidade microbiana autóctone da localidade da aplicação do produto (MICROGEO, 2021). Os microrganismos que são encontrados naturalmente na rizosfera ou através das aplicações de bioprodutos criam uma relação simbiótica com as plantas, estimulando seu crescimento e proteção (ADESEMOY, 2017). Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da diversidade microbiana de um solo de mata nativa, solo de agrossistema e solo de barranco, afim de avaliar a supressão de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja, com a presença de controle químico e biológico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cultura da soja

A soja (*Glycine max* L.) é de grande importância econômica e ocupa um lugar de destaque entre as principais culturas do agronegócio mundial (BÁEZ et al., 2020). É uma oleaginosa muito importante por possuir vários usos, como matéria-prima para inúmeros produtos na indústria alimentícia, além de fonte de proteína e óleo para consumo dos seres humanos e também destinada à ração para alimentação animal (BAEK et al., 2019). O principal fator responsável pela expansão da soja no Brasil é o seu melhoramento genético, cujo processo de desenvolvimento das cultivares proporcionou maior produtividade, resistência e adaptação a diferentes tipos de doenças (SILVA et al., 2017).

Com os avanços da genética e o manejo adequado, o Brasil se tornou o maior produtor de soja do mundo, com uma média de produção em torno de 135,9 milhões de toneladas na safra de 2020/2021 (CONAB, 2021). Na safra de 2021/2022 houve um aumento na área plantada de 4,6%, atingindo 40.988,5 milhões de hectares semeados. Mesmo com esse aumento, a produção de soja nesta safra sofreu uma queda de 10,2% em relação à safra anterior totalizando 125.552,3 mil toneladas, mas mantendo sua posição de maior produtor mundial (CONAB, 2022).

Essa cultura possui altos níveis de investimentos por parte dos agricultores e das empresas, pois as lavouras são intensamente tecnificadas, adubadas, rigorosas em relação ao uso de defensivos, e com muitas outras exigências (BRASIL et al., 2018). Mesmo com todo o cuidado e com o desenvolvimento tecnológico envolvido na produção desta cultura, existem fatores que podem causar vários danos à produtividade, como variações no clima e fatores ligados à qualidade do solo, sendo o principal os ocasionados pela ação de pragas, plantas daninhas e doenças, em especial as ocasionadas por nematoides (FERRAZ; BROWN, 2016; CONAB, 2018).

Algumas culturas com importância econômica podem ser parasitadas pelos nematoides, incluindo soja, cana-de-açúcar, algodão, café, entre outras, e estão entre os problemas fitossanitários de maior importância na cultura da soja (ALMEIDA et al., 2017a). No Brasil, os nematoides mais prejudiciais à cultura da soja são os do gênero *Meloidogyne* spp., *Heterodera glycines* e *Pratylenchus brachyurus* (MEYER et al., 2017), podendo ser responsáveis por até 31% das perdas relacionadas às doenças na cultura (ALLEN et al., 2017). Os danos causados à cultura da soja devido à presença de nematoides podem ser ainda maiores

no Brasil, devido à sua pluralidade e às condições favoráveis. Recentemente a sua alta frequência em análises de solos demonstrou a importância de se realizar estudos e manejos sustentáveis (MACHADO; AMARO; SILVA, 2019).

2.2. Fitonematoides - *Meloidogyne javanica*

Os nematoides são animais de corpo cilíndrico e alongado, pertencentes ao Filo Nematoda, e são capazes de sobreviver em diferentes habitats, desde que envolva um ambiente com o mínimo de umidade que é necessária à sua sobrevivência, como o filme de água existente entre as partículas de solo (FERRAZ; BROWN, 2016). Os nematoides podem ser classificados de acordo com seus hábitos alimentares, como por exemplo os chamados de vida livre, que se alimentam de fungos, bactérias e também de outros nematoides, e os parasitas de plantas, que causam doenças nos seus hospedeiros (MOURA; FRANZENER, 2017). Aproximadamente 15% das espécies deste Filo são fitonematoides (FERRAZ; BROWN, 2016), considerados inimigos silenciosos dos agricultores, pois são organismos microscópicos que habitam o solo, dificultando a percepção e seu diagnóstico (ABD-ELGAWAD; ASKARY, 2018).

A dependência hídrica fez com que os fitonematoides desenvolvessem alternativas para tolerar as perdas graduais de água e preservar seus fluidos corporais mesmo quando ficam expostos à condições adversas, se mantendo no solo seco e no interior dos grãos armazenados por anos (ALMEIDA et al., 2017b). Os fitonematoides não possuem resistência à altas temperaturas, sendo a faixa ideal para seu desenvolvimento de 23 a 30 °C e umidade acima de 60% da capacidade de campo (FERRAZ; BROWN, 2016a).

A intensidade dos danos que são causados pelos fitonematóides depende da densidade populacional do parasita nas raízes, da textura do solo e da suscetibilidade do cultivar (SILVA et al., 2018). Dentre os sintomas que as plantas apresentam na presença dos fitonematoides estão o nanismo, que é o mais comum, e clorose, em decorrência da influência direta na absorção de água e nutrientes pela planta que exercem (MARTINS et al., 2019), podendo chegar à destruição completa da cultura, em alguns casos (DA SILVA et al., 2019a). Os fitonematoides podem ser classificados em endoparasitas migradores, quando não estabelecem um sítio de alimentação, depositando seus ovos tanto nas raízes quanto no solo (MACHADO; AMARO; SILVA, 2019), tendo como representantes o gênero *Pratylenchus*, que causa lesões radiculares e ocasiona danos severos às plantas hospedeiras (HOMIAK et al., 2017); além desses, os endoparasitas sedentários passam por uma fase móvel antes de

estabelecer seu sítio de alimentação, causando deformações nas raízes das plantas, crescimento retardado, baixa produtividade, resultando na formação de galhas, como os nematoides do gênero *Meloidogyne* (RECHENMACHER et al., 2019). Outros endoparasitas sedentários também parasitam as plantas de maneira semelhante a *Meloidogyne* spp., porém não estão associados às galhas radiculares, como é o caso de *Heterodera glycines*, o nematoide de cisto da soja, ou de *Rotylenchulus reniformis*, o nematoide reniforme. Já os ectoparasitas são fitonematoides que permanecem no solo durante o período de alimentação, introduzindo seu longo estilete nas raízes das plantas para se alimentar sem penetrar nas raízes; nesse caso, pode-se citar o gênero *Helicotylenchus* (RUIU, 2018). Entre os nematoides, *M. incognita* e *M. javanica* são espécies consideradas mais importantes para a cultura da soja no Brasil (MEYER et al., 2017).

A espécie *M. javanica* se destaca pela sua ampla distribuição geográfica e seu elevado grau de polifagia, infectando uma ampla gama de espécies hospedeiras como soja, milho, cana-de-açúcar e até mesmo plantas daninhas (COYNE, et al., 2018). As grandes culturas, quando são infectadas, têm grande dificuldade em absorver água e nutrientes, pois essa espécie forma grande número de galhas nas raízes, que dificultam essa ação (BELLÉ; RAMOS; BALARDIN, 2019). Aliado ao clima favorável para a espécie e manejo inadequado, a soma dos prejuízos pode chegar a até 90% na produção final (FONTANA et al., 2018).

O ciclo de vida de *M. javanica* (Figura 1) consiste no ovo e quatro estádios juvenis (J1 a J4), se completando em 21 a 45 dias, dependendo das condições climáticas. As fêmeas adultas são capazes de produzir em média 400 a 500 ovos, que são depositados na superfície das raízes em uma substância gelatinosa que protege os ovos (GUARNIERI, 2018). Após algumas horas de deposição, ocorre a embriogênese e se forma o juvenil de primeiro estágio (J1), que passa pela primeira ecdise no interior do ovo e origina o juvenil de segundo estágio (J2), que é a sua forma infectante (PINHEIRO, 2017). Os juvenis J2 eclodem e migram em direção ao hospedeiro através dos sinais químicos (exsudatos) que são liberados pelas raízes das plantas. Após a infecção do hospedeiro, os nematoides se tornam sedentários e estabelecem um sítio de alimentação (MAZZETTI et al., 2019), onde liberam secreções esofagianas através do seu estilete e formam as células nutridoras, que são células gigantes que vão nutrir os juvenis de terceiro e quarto estágio (J3 e J4) (MIRANDA; MIRANDA, 2018).

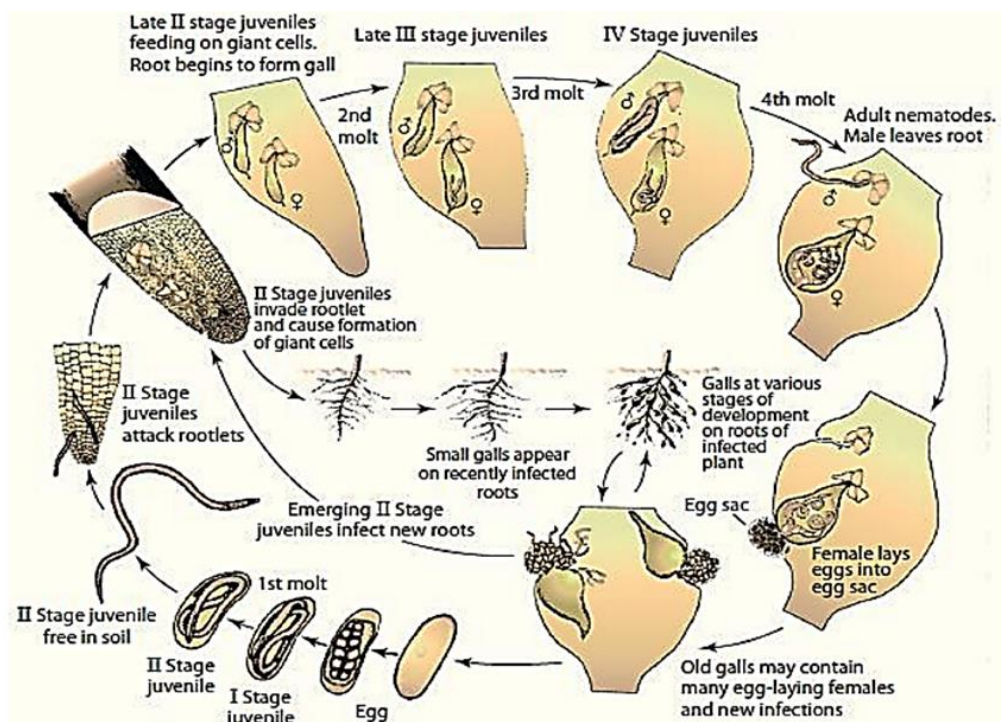


Figura 1: Ciclo de vida de nematoides do gênero *Meloidogyne*. Fonte: Agrios (2005).

O número das células e seu tamanho aumenta pelo processo de hiperplasia e hipertrofia ocorrido pelas substâncias que são injetadas pelos nematoides (SIKORA et al., 2018). Consequentemente, as raízes engrossam e formam as galhas, que são estruturas típicas causadas por essa espécie de nematoide. As galhas se unem e podem dificultar, ou mesmo impedir, a absorção e a translocação de água e nutrientes, afetando também a respiração, a fotossíntese e o balanço hormonal, prejudicando o desenvolvimento da planta (BELLÉ et al., 2017; SCHMITT et al., 2018). Todos esses possíveis problemas refletem na planta, que apresenta baixo vigor, murcha permanente em dias quentes, nanismo, quedas prematuras das folhas e redução do crescimento radicular (VERDEJO-LUCAS, 2017).

2.2.1. Controle de Fitonematoides

O controle de *M. javanica* é complexo, com custos elevados e, às vezes, não apresenta a eficiência desejada, além de ser muito difícil a sua erradicação, por existirem fatores como a alta reprodução, o grande número de hospedeiros, que possibilita sua sobrevivência, além da resistência da espécie. Desta forma, os produtores estão buscando alternativas para o seu manejo, como o controle preventivo, o cultural e o biológico (SOARES; SUFIATE; DE QUEIROZ, 2018), em conjunto com o químico, de maneira a reduzir a população, dificultando a sua multiplicação e diminuindo os danos causados (ROSA, 2018).

2.2.2. Controle Químico

O controle de nematoides geralmente é realizado principalmente com uso de produtos químicos (MARQUES, 2018) que são utilizados como medida de controle para redução da população de nematoides. O controle químico é alternativa pois possui vários modos de ação e de aplicação que permitem o controle da população dos nematoides (AGROFIT, 2019). Os nematicidas químicos são eficientes e apresentam custos (GUARNIERI, 2018).

Os nematicidas podem ser aplicados no solo, no sulco de plantio ou na semente (LIMA et al., 2019a). Esses produtos aplicados no solo podem ser classificados quanto à sua movimentação como fumigantes, que são compostos voláteis que se expandem no solo, sendo geralmente tóxicos e de difícil utilização em grandes áreas, necessitando de maior dosagem e têm um amplo espectro de ação, não selecionando o organismo-alvo no solo (HAJIHASSANI et al., 2019), além dos não fumigantes, que apresentam menor espectro de ação contra os organismos presentes nos solos e são eficientes em menores dosagens (MAZZETTI, 2017).

O tratamento de sementes é feito com os nematicidas químicos aplicados diretamente nas sementes, com a finalidade de criar uma proteção em volta do sistema radicular da soja, impedindo que o nematoide penetre e estabeleça seu sítio de alimentação. Porém, cada semente carrega uma quantidade muito pequena do produto, não garantindo que toda raiz seja protegida (DA SILVA et al., 2019b). Os nematicidas podem atuar sobre os nematoides agindo de diferentes formas dependendo do seu princípio ativo, no sistema nervoso no caso do cadusafós, já os juvenis quando exposto a abamectina param de se mover rapidamente, (EBONE; KOVALESK; DEUNER, 2019).

O uso dos nematicidas temefeitos de curta duração na proteção do sistema radicular das plantas (SANTOS; NOGUEIRA; HUNGRIA, 2019), além de alguns causar riscos ao aplicador e ao meio ambiente, ocasionando efeitos adversos na microbiota do solo (MUKHATAR, 2018).

2.2.3. Controle Biológico

O controle biológico pode ser definido como um ser vivo que é explorado por outro ser vivo com efeitos na regulação do crescimento populacional (BUENO et al., 2016). O

foco desse controle é controlar as doenças, pragas ou insetos vetores que estão presentes no campo, com a relação entre os seres vivos no ambiente (REIS, 2018). Assim o controle de fitonematoides é definido pela redução da densidade populacional pela relação antagonista entre microrganismos e os nematoides (OLIVEIRA, 2016).

A biotecnologia também é uma maneira de controle de fitonematoides, promovendo a seleção de variedades resistentes, possibilitando a identificação e prospecção de novas técnicas de controle (BERGAMIN; AMORIM, 2018).

As técnicas de manejo rotação de culturas, aplicação de nematicidas biológicos e uso de cultivares resistentes são usadas para a redução da população de nematoides na cultura e diminuição dos danos na produtividade, além de apresentar maior segurança ao consumidor e ao aplicador, não causando danos ao meio ambiente (AMORIM; REZENDE; FILHO., 2018).

O uso de organismos vivos como bioprodutos tem sido cada vez mais pesquisado, com destaque na agricultura mundial. Os produtos biológicos se destacam como um método potencial e promissor (RUIU, 2018), podem apresentar maior período de ação no solo, contribuindo para um solo mais supressivo, não é tóxico e pode ser associado a outros métodos (BALDIN; KRONKA; DA SILVA, 2017), podem ser alternativas mais econômicas dependendo método de fabricação e sustentáveis para o controle de nematoides.

Os organismos vivos apresentam diversos mecanismos de ação e podem agir direta ou indiretamente por antibiose, competição, parasitismo, predação e indução de resistência (RAIMUNDI, 2019). Dentre os diversos antagonistas dos fitonematoides que apresentam maior potencial de controle estão os fungos, como *Pochonia chamidosporia*, *Purpureocillium lilacinum* e *Trichoderma* sp., e as bactérias *Bacillus* spp. e *Pasteuria nishizawae* (MAPA, 2019). Vários desses organismos vivem no solo e têm a capacidade de parasitar os ovos, os juvenis, os adultos e até mesmo produzirem substâncias tóxicas. Desses microrganismos, as bactérias do gênero *Bacillus* apresentam características distintas, com características antagonísticas e promotoras de crescimento vegetal, sendo de complexidade para a multiplicação em larga escala (XIANG; LAWRENCE; DONALD, 2018; MHATRE et al., 2019).

As espécies do gênero *Bacillus* são bactérias gram-positivas, não patogênicas, muito resistentes, proporcionando proteção contra vários tipos de patógenos (FISHER et al. 2018; VERMA et al. 2019). São bactérias facilmente isoladas no solo, principalmente na rizosfera, onde o sistema radicular das plantas secreta açúcares, aminoácidos e ácidos orgânicos que estimulam sua colonização. *Bacillus* spp. colonizam a rizosfera e formam um biofilme ao

redor das raízes, proporcionando melhor desenvolvimento e promovendo proteção às plantas (CETINTAS; KUSEK; FATEH, 2018).

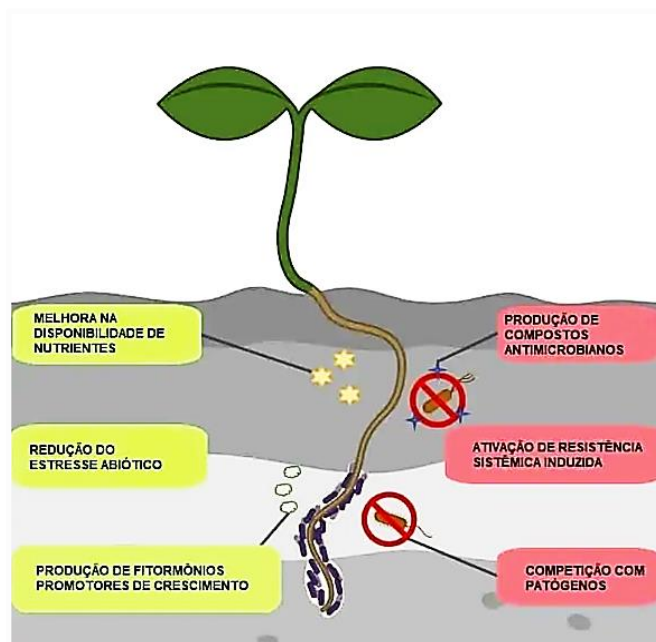


Figura 2: Efeitos proporcionados pela colonização das raízes com *Bacillus* spp. (Fonte: adaptado de Blake et al., 2020).

As bactérias do gênero *Bacillus* também são conhecidas como Rizobactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (RPCP) que, além de estimularem o crescimento, produzem enzimas, como antibióticos e compostos com atividade antimicrobiana (FERREIRA; STONE; MARTIN-DIDONET, 2017), que são substâncias tóxicas que podem agir de forma específica no ciclo reprodutivo dos nematoides, principalmente na ovoposição e eclosão dos juvenis. Essas bactérias formam endósporos, que são estruturas de resistência que dão a elas proteção a condições ambientais desfavoráveis, limitações de nutrientes e altas temperaturas (ABD-ELGAWAD; ASKARY, 2018a). Outros mecanismos como a produção de fitormônios, solubilização de fosfato e fixação de nitrogênio estão associados frequentemente a essas bactérias (NASSAL et al., 2018).

2.3. Qualidade do solo

O solo é um recurso fundamental para a vida vegetal e animal que faz desse local o seu habitat, por isso a manutenção e a qualidade do solo se tornam extremamente necessárias (MELO et al., 2017). A qualidade do solo é importante pois é através dela que acontecem serviços ambientais, como manutenção da produção biológica, proteção de plantas e de animais (RAIESI; SALEK-GILANI, 2018). A qualidade do solo depende de fatores

externos, não sendo possível sua medida direta; dessa maneira, para saber se um solo é saudável, é necessário fazer a medição de outros atributos das plantas, fazer análises físicas, químicas e biológicas do solo e também comparar esses resultados em diferentes solos e tipos de manejo (MUÑOZ-ROJAS, 2018).

Os atributos físicos, químicos e biológicos são usados como indicadores de qualidade. Os físicos incluem a textura, a porosidade e a estabilidade de agregados do solo, enquanto os químicos incluem o pH, a salinidade, o teor de carbono, o fósforo disponível, entre outros (DE OLIVEIRA-SILVA et al., 2020). A diversidade de organismos que existe no solo, como minhocas, nematoides, formigas, actinomicetos etc., faz parte dos indicadores biológicos (DE OLIVEIRA-SILVA et al., 2021).

Processos que ocorrem no solo, como o ciclo de nutrientes e a decomposição da matéria orgânica, são realizados com a participação de microrganismos do solo, que desempenham um papel importante no ecossistema, mantendo a saúde do solo (MATSUNAGA; RODRIGUES; RODRIGUES, 2018). Para caracterizar os componentes biológicos do solo e também avaliar sua qualidade, os indicadores biológicos como carbono da biomassa microbiana (CBMS), respiração basal (RBS) e quociente metabólico (qCO_2) são muito utilizados (MENDES et al., 2018).

A biomassa microbiana é a fração viva no solo, responsável por vários processos bioquímicos e biológicos no solo (KAMBLE; BAATH, 2018). É composta por microrganismos muito pequenos, como fungos, bactérias, leveduras e outros componentes da microfauna (SOBUCKI et al., 2019). Quando está relacionada com o carbono, a biomassa microbiana permite a obtenção do quociente microbiano, que indica a qualidade da matéria orgânica no solo.

A respiração basal reflete a produção de CO_2 no solo, através da respiração dos microrganismos, e funciona como um indicador sensível, que revela quando há alguma alteração no ambiente. O quociente metabólico do Solo (qCO_2) é a razão entre a respiração do solo por unidade de tempo, pois expressa a quantidade de CO_2 que é liberado pela biomassa microbiana (SANTOS et al., 2020). Os microrganismos são essenciais no solo, pois melhoram a sua qualidade física e química, mas práticas inadequadas de manejo podem afetá-los negativamente e reduzir as qualidades físicas e químicas do solo, ocasionando danos à sua estrutura, compactação e degradação da matéria orgânica (FERREIRA et al. 2018).

2.4. Microrganismos no solo

O solo é um recurso natural e complexo, que abriga uma diversidade de organismos e, por isso, a sua conservação é fundamental para o funcionamento dos diferentes organismos que ali vivem e contribuem para a manutenção da vida. As comunidades de microrganismos que vivem no solo são chamadas de microbiota, que formam ali seu microbioma (HASSANI; DURÁN; HACQUARD, 2018).

A microbiota do solo é composta por numerosos microrganismos, como bactérias, fungos e actinomicetos que interagem em um ambiente em estado de equilíbrio. Dessa maneira, a diversidade microbiana e a funcionalidade do solo são importantes para a agricultura (TORTORA; FUNKE; CASE, 2016), pois existem grupos funcionais microbianos importantes, que fazem interação com as raízes das plantas (TRIVEDI et al., 2019) e permitem que ela faça o molde do microbioma em seu benefício. Assim, a planta se beneficia com a ação direta ou indireta dos microrganismos, selecionados com a sua necessidade. Os benefícios podem incluir a absorção de minerais e de nutrientes, a diminuição de organismos patogênicos e também o crescimento de plantas (MITTER; FREITAS; GERMIDA, 2020).

O solo é a principal fonte de nutrientes e minerais para os microrganismos, visto que plantas e animais mortos ajudam no acúmulo de matéria orgânica, que são decompostos por microrganismos. Vários microrganismos são capazes de repelir, inibir ou mesmo levar à morte os fitonematoides e, geralmente, esses microrganismos estão associados ao sistema radicular das plantas em solos com alto teor de matéria orgânica (OLIVEIRA et al., 2019).

Os tipos de manejo do solo afetam os diferentes microrganismos benéficos ou grupos funcionais do solo, que são definidos como grupo de populações de microrganismos (BARBOSA et al., 2019) que fazem um processo de transformação de nutrientes no solo, podendo participar de um ou mais ciclos biogeoquímicos, como nitrogênio, carbono, fósforo e enxofre (PINTO et al., 2019).

2.4.1. Grupos funcionais

2.4.1.1 Bactérias

As bactérias do solo formam o grupo de microrganismos mais abundante e com maior diversidade entre as espécies. São organismos de vida livre e têm muitos efeitos benéficos no solo, como fixação de nitrogênio e alta capacidade de decomposição da matéria

orgânica no solo (MAJEED; MUHAMMAD; AHMAD, 2018). Existem bactérias que estão envolvidas em processos importantes, como fixação biológica e ciclagem de nutrientes e são capazes de produzir substâncias promotoras de crescimento de plantas (SAAD; EIDA; HIRT, 2020).

2.4.1.2. Actinobactérias

As actinobactérias são bactérias Gram-positivas, com capacidade de produzir enzimas com capacidade degradativa. Formam um grupo bastante distribuído no ecossistema e têm um importante papel na degradação de matéria orgânica, atuando como agentes de biocontrole na rizosfera do solo (SALAM et al. 2020).

Por apresentarem uma grande diversidade, as actinobactérias apresentam uma grande resistência no crescimento e sobrevivência em diferentes e estressantes ambientes. Também são capazes de produzir metabólitos secundários, que têm um papel importante na manutenção vegetal e na microbiota do solo (JOSE; MAHARSHI; JHA, 2021). As enzimas extracelulares que são produzidas disponibilizam energia e nutrientes, que são necessários para as interações metabólicas entre os organismos do solo (RAMOS et al., 2018).

2.4.1.3. Fungos

Os fungos são organismos eucariotos que podem ser unicelulares, como as leveduras, ou multicelulares, que são os fungos filamentosos, sendo encontrados em abundância nas camadas superficiais do solo, onde o ambiente e a disponibilidade de nutrientes são favoráveis (CASAZZA et al., 2017). Representam grande parte da biomassa microbiana do solo e podem ser decompositores, fungos micorrízicos e produzir incontáveis enzimas que metabolizam compostos xenobióticos (CHEN et al. 2018; LI et al., 2018a).

Desempenham papéis importantes no ecossistema, como a ciclagem de nutrientes de minerais, a formação da matéria orgânica, são receptores de nutrientes para as plantas e degradam celulose (KLUGE; TERFEHR; KÜCK, 2018). Os fungos também podem ajudar na produtividade e diversidade das plantas, disponibilizando nutrientes principalmente em ambientes pobres (ASPLUND et al. 2018).

2.4.1.4. Celulolíticos

A celulose é um polissacarídeo constituído de moléculas de glicose unidas por ligações glicosídicas β -1,4. A celulose é encontrada em abundância no solo e é o principal componente da estrutura da fibra vegetal, sendo um dos compostos mais importantes que deriva de processos hidrolíticos, através de outras enzimas como endoglicanases, exoglicanases e β -glicosidases, que são sintetizadas pelo processo de decomposição (ALVARADO-IBÁÑEZ, 2019).

A população de celulolíticos faz parte de um grupo bastante distribuído no solo e apresenta um importante papel no ecossistema, promovendo a entrada de carbono no solo, melhorando a fertilidade e mantendo o equilíbrio dos nutrientes no solo (KHOSHNEVISAN et al. 2019). A produção de celulasas é realizada por microrganismos como leveduras e fungos filamentosos, principalmente dos gêneros *Aspergillus* e *Trichoderma* (BEHERA et al., 2017)

Os estudos sobre as bactérias são muito importantes, pois as enzimas produzidas por elas apresentam resistência às modificações de pH e temperatura, além de terem grandes possibilidades de aplicação em grande escala, pois as bactérias apresentarem maior taxa de crescimento em relação aos fungos (PRASAD et al., 2020; YAASHIKAA et al., 2020).

2.4.1.5. Proteolíticos

As proteases podem ser chamadas de peptidases ou de enzimas proteolíticas, que são parte de um grupo de enzimas que fazem a degradação de proteínas (SHARMA et al., 2019). Uma das formas de classificar essas enzimas é de acordo com o seu pH, podendo ser ácidas, neutras ou alcalinas (MUSATTI et al., 2017). Essas enzimas são distribuídas para todos os seres vivos e desempenham funções importantes para a manutenção da vida. As proteases podem ser produzidas por vários organismos, como plantas, animais e bactérias, que são as principais produtoras de proteases (SRIVASTAVA, 2019).

As bactérias são o principal grupo de decompositores, podendo ser encontradas em vários tipos de ambientes, degradando proteínas presentes no material vegetal (LOZADA et al., 2017), sendo responsáveis pela ciclagem de carbono e pela sua capacidade de degradar compostos complexos. Existe uma gama de bactérias produtoras de proteases, como as dos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Arthrobacter*, que se destacam pela sua importância

de produção em nível industrial, devido à sua facilidade para manipulação e liberação para o meio extracelular (PHUKON et al., 2020).

2.4.1.6. Amilolíticos

As enzimas amilolíticas são proteínas conhecidas como amilases, um grupo importante de enzimas com diferentes aplicações nas indústrias, que podem ser divididas em α -amilases, β -amilases e γ -amilases (SINGH et al., 2019). As α -amilases são as enzimas mais importantes, pois desempenham funções fundamentais na conversão de amido. O amido é o segundo polissacarídeo mais abundante do mundo, pois funciona como reserva energética na maioria das células vegetais, que fica armazenado nas plantas, tubérculos, frutos e sementes (MOHANAN; SATYANARAYANA, 2018).

O amido é muito importante para a nutrição dos seres vivos e, portanto, as amilases são produzidas por tipos diferentes de organismos, como vegetais, animais ou microrganismos, sendo usado como derivado para o processo de fermentação (SAINI; DAHIYA, 2017). Representam cerca de 30% no total de enzimas que são usadas nas indústrias (ZHANG; HAN; XIAO, 2017). As amilases microbianas são produzidas por bactérias dos gêneros *Bacillus* e fungos filamentosos, como *Aspergillus* e *Penicillium*, que são ótimos produtores de α -amilases (COSTA JUNIOR et al., 2021). Estudos mostram que essas bactérias têm a capacidade de crescer em pH ácido, uma qualidade muito importante para poderem ser usadas em solos ácidos (MINELLI-OLIVEIRA et al., 2019).

2.4.1.7. Fixadores biológicos de nitrogênio

O nitrogênio é o elemento requerido em maior quantidade pelas plantas durante o ciclo da cultura, sendo fundamental para todos os processos biológicos e é considerado essencial para o metabolismo das plantas (RENGEL et al., 2018). Para atingir altas produtividades, o nitrogênio disponível para plantas é determinante, pois sua falta pode causar atraso no desenvolvimento ou na reprodução dos vegetais, impedindo que a planta complete seu ciclo de vida (TAIZ et al., 2017).

Apesar de muito abundante no ar atmosférico, os animais e plantas não conseguem captar o nitrogênio na forma gasosa e retirá-lo diretamente do ar. Para isso, existe a fixação biológica, que é o processo pelo qual o nitrogênio que está presente na atmosfera é

convertido em formas que as plantas conseguem assimilar (MATTOS; DA SILVA MARTINS; DE FILLIPI, 2020). A fixação é feita pela inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio, como as do gênero *Bradyrhizobium*, que utilizam a enzima nitrogenase para fazer essa função (DELEVATTI et al., 2019).

A utilização dessas bactérias fixadoras de nitrogênio tem outros benefícios, como a redução da aplicação de fertilizantes químicos, melhorando as características morfológicas das raízes e proporcionando maior absorção de nutrientes e de água (DOS SANTOS BRANCO; JÚNIOR, 2022).

2.4.1.8. *Pseudomonas* spp.

As bactérias do gênero *Pseudomonas* se apresentam em forma de bastonete, possuem flagelos para ajudar na sua locomoção no solo e são muito estudadas por conseguirem colonizar diferentes ambientes (KUMAR et al., 2019). *Pseudomonas* spp. têm características multifuncionais, por exemplo, uma delas é a capacidade de aumentar a disponibilidade de fósforo (P) às plantas (JIN et al., 2020 ; LIU et al., 2020).

O gênero *Pseudomonas* é muito importante para a agricultura, pois tem uma versatilidade no seu metabolismo que contribui para a nutrição mineral das plantas, utilizando várias substâncias presentes na rizosfera e apresentando a capacidade de fixar o nitrogênio no solo (MOTA; TEBALDI; LUZ, 2021). Também protege as plantas nos ataques de patógenos e na produção dos hormônios do crescimento (SANTOS; NOGUEIRA; HUNGRIA, 2019).

2.4.1.9. Solubilizadores de fosfato

O fósforo é um dos elementos fundamentais para o crescimento das plantas, porém os solos brasileiros sofrem com a carência desse elemento. A maioria dos solos agrícolas necessita de suplementação de fósforo, que é feita através da aplicação de fertilizantes químicos sintéticos (PAIVA et al., 2020), mas apenas uma pequena porcentagem desse fósforo aplicado fica em forma disponível para as plantas (PAVINATO et al., 2020).

Os fertilizantes usados para a suplementação são extraídos de rochas fosfáticas em minas, o que gera despesas de energia, transporte e de distribuição, sem contar que as fontes podem se esgotar e se tornar insuficientes (KALAYU, 2019; OLIVEIRA JUNIOR

et al., 2020). Uma alternativa para minimizar o uso de fertilizantes fosfatados é estabelecer estratégias que sejam ambientalmente sustentáveis e economicamente viáveis, a fim de aumentar a disponibilidade desse nutriente para as plantas. Uma maneira é a inoculação de microrganismos que são capazes de solubilizar fosfato no solo (SATTAR et al., 2019).

Dentre esses microrganismos, se destacam as bactérias dos gêneros *Bacillus* e *Pseudomonas* e os fungos dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*, que convertem o fósforo insolúvel em formas solúveis, através de processos de acidificação, quelatização e produção de ácidos orgânicos (ABREU et al., 2017).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

- Avaliar a influência da diversidade microbiana do solo na supressão de nematoides na cultura da soja.

3.2 Objetivos específicos

- Verificar a diversidade microbiana em solos de mata, agrossistema e barranco.
- Avaliar a ação de *Bacillus* spp. sobre nematoides (*Meloidogyne javanica*).
- Avaliar o desenvolvimento da soja através da análise da parte aérea e raiz.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização do experimento e delineamento experimental.

O experimento foi realizado na Universidade Estadual do Norte do Paraná - UENP, *Campus* Luiz Meneghel, na cidade de Bandeirantes - PR, no Laboratório de Microbiologia dos Solos (Lab MicroS).

O ensaio foi realizado em casa de vegetação, em vasos com capacidade de 4 Kg e 5 Kg (Figura 1), que foram preenchidos com latossolo vermelho Eutroférico coletado de três áreas distintas: mata, agrossistema e barranco. Cada solo foi misturado com areia na proporção de 3:1, distribuídos em 15 tratamentos e 7 repetições (Tabela 1), totalizando 105 vasos. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados.

Tabela 1: Descrição dos tratamentos em solo de mata, agrossistema e barranco, com aplicação de nematicida químico, *Bacillus* sp. e biofertilizante.

Tratamento	Solos	Nematoide	Controle
1	Mata	Sem	Sem
2	Mata	<i>M. javanica</i>	Sem
3	Mata	<i>M. javanica</i>	Químico
4	Mata	<i>M. javanica</i>	<i>Bacillus</i> sp.
5	Mata	<i>M. javanica</i>	Biofertilizante
6	Agrossistema	Sem	Sem
7	Agrossistema	<i>M. javanica</i>	Sem
8	Agrossistema	<i>M. javanica</i>	Químico
9	Agrossistema	<i>M. javanica</i>	<i>Bacillus</i> sp.
10	Agrossistema	<i>M. javanica</i>	Biofertilizante
11	Barranco	Sem	Sem
12	Barranco	<i>M. javanica</i>	Sem
13	Barranco	<i>M. javanica</i>	Químico
14	Barranco	<i>M. javanica</i>	<i>Bacillus</i> sp.
15	Barranco	<i>M. javanica</i>	Biofertilizante

Fonte: Lameu, 2023.



Figura 3: Experimento montado em casa de vegetação em vasos semeados com soja (Fonte: Lameu, 2023.)

Foram semeadas quatro sementes de soja cultivar TMG 2165 (sem tratamento químico) por vaso. A irrigação do solo foi realizada diariamente, em que todos os vasos eram pesados e adicionava-se água conforme a perda de umidade, visando manter o solo entre 60% e 70% da capacidade de retenção. No mesmo dia da semeadura, foram inoculados 2 mL de suspensão de *Bradyrhizobium* no sulco de plantio de cada semente, totalizando 10 mL por vaso. A suspensão foi feita com 2 mL da solução concentrada diluída em 1,5 L de água.

4.2. Tratamentos

4.2.1. Químico

O nematicida químico comercial utilizado foi o fluopiram (ILEVO[®]), aplicado três dias após a semeadura das sementes. Foram utilizados 12 mL do produto concentrado diluídos em 250 mL de água destilada e, com a ajuda de uma pipeta de 5 mL, foram aplicados 10 mL do produto diluído por vaso nos tratamentos correspondentes (Tabela 1).

4.2.2. *Bacillus* sp.

A espécie de *Bacillus* utilizada pertence à coleção de microrganismos do

Laboratório de Microbiologia do Solos - LabMicroS da Universidade Estadual do Norte do Paraná – UENP e foi cultivado em meio TSA (Trypic Soy Ágar) por 24 horas em estufa a 25° C. Com a ajuda de uma alça de platina, a colônia foi raspada e inoculada em meio líquido M1 (Tryptona 10 g, extrato de levedura 5 g, NaCl 5 g, 1000 mL de água destilada) para ser cultivada em agitador orbital por 24 horas a 25 °C. Após o crescimento, 50 mL da suspensão concentrada foram diluídos em 450 mL de água para se obter a suspensão final na concentração de 10^{11} UFC mL⁻¹. Dez dias após a semeadura, 10 mL da suspensão final foram aplicados por vaso, nos tratamentos correspondentes (Tabela 1).

4.2.3. Adubo Biológico

O adubo biológico utilizado foi o Microgeo®, um resíduo vegetal pré-compostado, cedido por um produtor de Bandeirantes. Foram diluídos 50 mL do produto concentrado em 450 mL de água, correspondendo ao uso comercial de 150 L ha⁻¹. Na sequência, foi realizada a inoculação com 10 mL da suspensão final, dez dias depois da semeadura, nos tratamentos correspondentes (Tabela 1).

4.3. Inoculação de *Meloidogyne javanica*

O inóculo concentrado em 30 mL foi diluído em 3,46 L de água, ajustando-se a quantidade necessária de ovos e juvenis que foi aplicada por vaso. No 14º DAP, com auxílio de um bastão de vidro, foi aberta uma cova ao lado de cada plântula (Figura 4) para garantir que os nematoides chegassem à raiz. Com uma pipeta de 5 mL, foram inoculados 10 mL da suspensão ajustada (Figura 5) com quatro mil ovos e juvenis, totalizando 40 mL de suspensão e 16 mil ovos e juvenis por vaso nos tratamentos correspondentes (Tabela 1).



Figura 4: Vaso de planta com cova feita por um bastão de vidro para inoculação dos nematoides



Figura 5: Vaso de soja sendo inoculado com Nematoides com auxílio de uma pipeta

Fonte: LAMEU, 2023.

4.4. Análises Microbiológicas

4.4.1. Amostragem do solo

As amostras dos três tipos de solo foram coletadas em zigue-zague, com auxílio de um trado holandês. Foram coletadas sete amostras simples com a profundidade de 0 a 10 cm, despejadas em um balde e homogeneizadas para constituírem uma amostra composta, totalizando três repetições por área. O material foi acondicionado em sacos plásticos identificados e transportado para o laboratório, onde foi peneirado em malha de 2 mm e mantido em geladeira até ser analisado (EMBRAPA, 2009).

4.4.2. Avaliação da Comunidade Microbiana

Os grupos funcionais de microrganismos celulolíticos (CEL), amilolíticos (AMI), proteolíticos (PRO), fixadores de nitrogênio de vida livre (NFB), actinomicetos (ACT), *Pseudomonas fluorescens* (PSF), solubilizadores de fosfato (SF), bactérias heterotróficas (HBP) e fungos saprófitas (SFP) foram analisados com a pesagem de 1 g de solo de cada amostra, agitado em tubo de ensaio com 9 mL de solução salina. Em microtubos do tipo Eppendorfs de 0,9 mL foi realizada a diluição seriada (10^{-8}) e, após a diluição com a ajuda de uma Alça de Drigalski, 100 μ L das diluições foram inoculadas em placas de Petri nos

respectivos meios de cultura específicos e seletivos (Tabela 2) e incubadas por 5 dias a 28° C. Após esse período, a população microbiana foi contabilizada e os resultados apresentados em log UFC mL⁻¹ para cada população microbiana.

Tabela 2. Meios de cultura utilizados para análise da comunidade microbiana dos solos.

Meios de Cultura	Composição (g L ⁻¹)
Meio para Celulolítico (Wood, 1980)	Carboximetilcelulose 5,0 g; NH ₄ NO ₃ 1,0 g; 50 mL de solução salina 0,85%; 15,0 g de ágar e 950 mL de H ₂ O destilada, pH 7,0. Identificação das colônias: Adição de solução de vermelho congo 0,1% por 20 minutos sobre o meio, enxaguar com solução salina 0,1 M e identificar as colônias com formação de halos de degradação da celulose.
Meio mínimo para amilolíticos (Pontecorvo Et Al., 1953, Modificado 1980)	Amido solúvel 10,0 g; extrato de levedura 0,1 g; KH ₂ PO ₄ 1,5 g; NH ₄ NO ₃ 1,0 g; MgSO ₄ 7H ₂ O 0,5 g; Ágar 15,0 g; 1000 mL de H ₂ O destilada; pH 7,0; Revelação: cobrir placa de Petri com lugol por 15 minutos. A identificação se dá pela formação de halos de degradação do amido.
Meio Caseína Para Proteolíticos (Pontecorvo Et Al., 1953 Modificado)	Caseína (Molico) 10,0 g; Extrato de levedura 0,1 g; KH ₂ PO ₄ ; 1,5 g; MgSO ₄ .7H ₂ O 0,5 g; 50 mL de solução salina 0,85%; Ágar 15,0 g; 1000 mL H ₂ O; pH 7,0. Identificação das colônias: A contagem de colônias se faz pela formação de halos de degradação da caseína.
Meio Fixadores De Nitrogênio De Vida Livre	KH ₂ PO ₄ 0,4 g; K ₂ HPO ₄ 0,1 g; MgSO ₄ 7H ₂ O 0,2 g; NaCl 0,1 g; CaCl ₂ 0,02 g; FeCl ₃ 0,01 g; MoO ₄ Na.2H ₂ O 0,002 g; maláto sódico 5,0 g; azul de bromotimol 0,5%, 5,0 mL, Ágar 15,0 g; H ₂ O destilada 1000 mL; pH ajustado com lentilhas de NaOH até ficar com o meio verde. pH 7,0.
Meio Caseína Agar (Actinomycetos) (Kuster; Willians, 1996)	Amido solúvel 10 g; caseína 0,3 g; KNO ₃ 2,0 g; NaCl 2,0 g; K ₂ HPO ₄ 2,0 g; MgSO ₄ 7H ₂ O 0,05 g; CaCO ₃ 0,02 g; FeSO ₄ 0,01 g; ágar 15,0 g; H ₂ O destilada 1000 mL; ajuste de pH 7,0
Meio King B (Misaghi Et Al, 1982)	Peptona 20,0 g; glicerol 10,0 mL; K ₂ HPO ₄ 1,5 g; MgSO ₄ 7H ₂ O 1,5 g; Ágar 20,0 g; H ₂ O destilada 1000 mL. A identificação se faz por observação em luz UV.
Meio solubilizadores de Fosfato (Sylvester-Bradley et al., 1982)	KNO ₃ 0,1g; Glicose 10,0 g; Extrato de levedura 5,0 g; MgSO ₄ . 7H ₂ O 0,2 g; NaCl 0,1 g; CaCl ₂ 0,02 g; Solução micronutrientes 2,0 mL; Solução Fe-EDTA 4, mL; Ágar 15,0 g; CaCl ₂ 10 g em 100 mL de água destilada; K ₂ HPO ₄ 10 g em 100 mL de água destilada. pH 7,0.
Meio Tryptic-soy Agar (TSA) para bactérias heterotróficas cultiváveis	40,0 g TSA, 1000 mL de água destilada.
Meio ágar batata dextrose (BDA) para fungos cultiváveis	39,0 BDA, 1000 mL de água destilada.

4.4.3. Carbono de biomassa microbiana

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi avaliado pelo método proposto por Vance et al. (1987), via fumigação-extração das amostras. As amostras de solo de cada uma das áreas foram separadas e pesadas em 20 g com e sem fumigação, permanecendo no escuro sob temperatura de 25 ± 2 °C por 24 horas.

Para extração do carbono microbiano, foram adicionados nas amostras 50 mL de sulfato de potássio (K_2SO_4) a 0,5 M, agitando-se por 30 minutos a 220 rpm. Em seguida, as amostras foram filtradas, 4 mL foram retirados do sobrenadante, adicionando-se 1 mL de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) 0,066 M, 5 mL de ácido sulfúrico P.A (H_2SO_4) e 5 mL de ácido orto-fosfórico (H_3PO_4) 85%. Após o resfriamento, 35 mL de água deionizada e difenilamina (C_6H_5)₂NH 1% foram adicionados às amostras.

O sulfato ferroso amoniacal [$(NH_4)_2 Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$] a 0,033 M foi usado para fazer a titulação, sendo o ponto de viragem a mudança da cor púrpura para a cor verde. Para obtenção do carbono de biomassa microbiana de cada amostra, foi realizada a subtração entre os teores de carbono do solo fumigado e não fumigado.

4.4.4. Respiração basal do solo

A respiração basal do solo (RBS) foi determinada de acordo com o proposto por Silva et al. (2007). Para isso, 50 g de cada amostra de solo foram adicionadas em frascos de vidro snap-caps, sendo separados 10 mL da solução receptora NaOH 1 M, e transferidas junto com as amostras de solo para frascos de vidro de 2 L, hermeticamente fechados, onde foram armazenados por sete dias no escuro (25 ± 2 °C).

Após 7 dias, 2 mL de cloreto de bário ($BaCl_2$) 10% e 2 gotas de fenolftaleína 1% foram adicionadas junto à solução de NaOH. A titulação foi feita com ácido clorídrico (HCl) 0,5 M. A mudança de cor de rosa para incolor indicou o ponto de viragem.

4.4.5. Quociente metabólico (qCO_2) e microbiano ($qMIC$)

O qCO_2 foi obtido pela relação entre a respiração basal do solo e o carbono da biomassa microbiana, enquanto o $qMIC$, pela relação do carbono da biomassa microbiana (CBM) e o carbono orgânico total (COT).

4.5. Análise de parâmetros agronômicos

As plantas foram avaliadas 90 DAP, quanto aos parâmetros de altura (cm), massa fresca (g) e massa seca (g) da parte aérea, comprimento (cm), volume (m/v), massa fresca (g) e massa seca da raiz (g) (EMBRAPA, 2009).

A parte aérea das plantas foi cortada na altura do colo e, com o auxílio de uma fita métrica, medida do ápice da haste maior até o colo, obtendo-se a altura da planta. Para a raiz, utilizou-se o mesmo procedimento, medindo-se do colo da planta até a coifa.

Para obtenção da massa fresca da parte aérea (MFPA), as plantas foram pesadas em balança semianalítica, colocadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 60°C, pesadas todos os dias até o peso constante para obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA). O mesmo procedimento foi realizado para obtenção da massa fresca (MFR) e massa seca (MSR) da raiz (EMBRAPA, 2009). Para determinar o volume da raiz, foi utilizada uma proveta graduada com água, submergindo-se a raiz e observando-se o deslocamento da coluna de água.

4.6. Avaliação da infecção radicular por *Meloidogyne javanica*

Para a extração dos ovos e juvenis, foi utilizada uma metodologia adaptada proposta por COOLEN; HERDE (1972). As raízes foram lavadas em água corrente, pesadas em balança semianalítica entre 5 g e 20 g, picotadas e trituradas com água em liquidificador por 30 a 40 segundos em baixa rotação. O conteúdo do liquidificador foi vertido em peneiras sobrepostas de 200 e 500 Mesh, centrifugando-se o conteúdo retido na peneira de 500 Mesh em tubo falcon com uma solução de sacarose a 60%, a 1750 rotações por minuto (RPM), durante 5 minutos.

Após a centrifugação, o sobrenadante foi vertido na peneira de 500 Mesh e o conteúdo da peneira coletado em becker e anotado o volume final. Para a contagem dos ovos e juvenis, 1 mL do conteúdo foi disposto em lâmina de Peters, realizando-se a contagem em microscópio óptico. O fator de reprodução (FR) do nematoide foi determinado pela fórmula $FR = \text{população final} / \text{população inicial}$.

5. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de significância, com auxílio do Software SISVAR (FERREIRA, 2019).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Grupos Funcionais

Os grupos funcionais do solo encontram-se na rizosfera e desempenham um papel fundamental no ambiente, atuando diretamente na estruturação do solo e da matéria orgânica que contribui para a fertilidade do solo, além de participar de processos biogeoquímicos como ciclo do carbono e ciclo do nitrogênio (ALLEN; SCHLESINGER, 2004; COTTA, 2016).

Dos grupos funcionais analisados (Tabela 3) observa-se que, nos solos da mata e agrossistema, as populações de microrganismos não diferiram estatisticamente, no entanto, houve aumento na população de bactérias heterotróficas, fixadores de nitrogênio e actinomicetos na mata, devido ao ecossistema estável que este solo representa e pela quantidade de matéria orgânica disponível (SOUZA et al., 2010). A composição de matéria orgânica no solo e as plantas ali presentes afetam a dinâmica da comunidade microbiana e a eficiência de reciclar os nutrientes. Dessa maneira, o solo da mata, possuindo a maior quantidade de matéria orgânica (40,73 g Kg⁻¹) (Tabela 5), disponibiliza uma maior quantidade (Tabela 3) e diversidade de microrganismos (RASCHE; CADISCH, 2013).

No solo de barranco, foram encontrados menores quantidades de unidades formadoras de colônias (UFC mL⁻¹) em todos os grupos funcionais analisados, quando comparado com solo de mata e agrossistema, o que pode ser explicado pela menor quantidade de matéria orgânica existente nesse solo. Esse fato também pode ter sido influenciado pelo pH, que é crítico para o crescimento microbiano, afetando a atividade enzimática, e à menor umidade do solo, que afeta sensivelmente os microrganismos (BHATTI; HAQ; BHAT, 2017). A diversidade de microrganismos que existe no solo resulta em maior capacidade em manter o equilíbrio dos processos ecológicos, gerando diversos grupos funcionais que desempenham funções de outra espécie caso essa chegue a faltar, dando continuidade nos processos essenciais

(ZILLI et al., 2003). Vale ressaltar que apenas 1% das espécies de bactérias existentes no solo são cultiváveis em laboratório. Assim sendo, nesta primeira análise, os grupos funcionais de microrganismos cultiváveis não teve diferença significativa entre o solo da Mata e Agrossistema.

Tabela 3: Grupos funcionais de microrganismos em solo de mata, agrossistema e barranco.

ÁREA	BAC	FUN	SF	ACT	CEL	AMI	Nfb	PRO	Psf
Log UFC g solo ⁻¹									
Mata	7.51 b	5.69 b	4.69 c	5.81 a	6.68 b	6.96 b	6.72 b	6.64 b	4.17 b c
Agro	7.12 b	5.98 b	4.77 b	5.08 b	6.88 b	6.85 b	5.85 b	6.73 b	5.17 b
Barranco	4.85 c	3.66 c	2.35 b	3.60 c	4,23 c	4.66 c	4.15 c	4.29 c	3.25 c
CV (%)	5,1	4,44	8.71	7.93	13.30	4.45	7.00	11.61	6.61

Dados: Agrossistema (AGRO); população de bactérias (BAC); população de fungos (FUN); população de solubilizadores de fosfato (SF); população de actinomicetos (ACT); população de celulolíticos (CEL); população de amilolíticos (AMI); população de fixadores de N de vida livre (Nfb); população de proteolíticos (PRO); População de *Pseudomonas fluorescens* (Psf).

6.2 Análise dos parâmetros químicos do solo

No solo de mata (Tabela 4), observou-se maior concentração de carbono orgânico total (COT), que está relacionado ao acúmulo de matéria orgânica e resíduos como folhas, galhos e raízes, sendo os principais responsáveis pela adição de compostos orgânicos no solo, mantendo seu estado estável (LOSS et al., 2012; BEZERRA et al., 2013). O pH estava na faixa de 5,63, uma acidez baixa em relação ao solo de barranco, que apresentou pH de 4,8, o que significa que esse solo tem saturação de H^+ e presença de Al^3 .

A alta capacidade de troca de cátions (CTC) no solo de mata favoreceu a retenção de Ca e Mg, cujos teores foram maiores nesse solo, além de diminuir a perda por lixiviação, pois possui maior quantidade de matéria orgânica que os solos agrícolas e de barranco (CANELLAS et al., 2003). A CTC é a capacidade do solo em reter e fornecer nutrientes às plantas (BARRETO et al., 2008).

O solo de agrossistema (Tabela 4) possui COT com valores próximos ao solo da mata, com pH de 5,5, considerada uma acidez baixa e ideal para o cultivo. O alto valor de fósforo (P) no solo de agrossistema pode ser explicado pela reposição a cada replantio, realizada com adubação de fertilizantes orgânicos. A CTC mais baixa que o solo da mata pode ser atribuída à diminuição da MO e do pH do solo (PERIN et al. 2018). A CTC e o alto V% indica que o solo está absorvendo mais K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} e não absorvendo o Al^{3+} , o que sugere que esse é um solo sem toxicidade por esse elemento, garantindo benefícios ao crescimento

radicular, uma melhor captação de nutrientes e água no solo (ERNANI, 2008). Esses elementos são atributos importantes e indispensáveis para a produção das culturas, que podem ser corrigidos com fertilização, como a prática de calagem (ROSSET et al., 2014).

No solo de barranco (Tabela 4), observa-se acidez elevada (pH 4,8), o que afetou a população microbiana do solo e a disponibilização de nutrientes. Esse solo possui CTC e Saturação de Bases (V%) baixos, indicando maior absorção de Al^{3+} e dificuldade para a absorção dos elementos Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , sugerindo ser um solo tóxico (BARBOSA; DE OLIVEIRA, 2022). Solos com maiores valores de Al^{3+} e solos muito ácidos têm maior facilidade em dissolver elementos tóxicos para as plantas (BALOTA et al., 2017).

Os indicadores químicos são usados para analisar a qualidade do solo, que possui a capacidade de fornecer nutrientes às plantas e reter compostos químicos que são prejudiciais às plantas. Os nutrientes são importantes para as plantas e facilmente mensurados no solo, como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (CARDOSO et al., 2013).

Tabela 4. Análises químicas dos solos de mata, agrossistema e barranco.

AMOSTRA	COT g kg ⁻¹	pH CaCl ₂	P mg dm ³	K ⁺ -----	Ca ²⁺ -----	Mg ²⁺ cmol. dm ³ -----	Al ³⁺ -----	CTC	SB V%
Mata	23,63	5,63	19,23	0,74	10,53	3,66	0,00	19,83	72,60
Agro	13,00	5,50	51,96	0,80	8,20	1,23	0,00	14,40	70,90
Barranco	7,93	4,80	2,26	0,10	1,60	1,00	0,13	5,53	45,93

6.3. Análise microbiológica do solo

As áreas apresentaram diferentes teores de matéria orgânica no solo, sendo que a mata apresentou maior quantidade (40,73 g kg⁻¹), diferenciando-se estatisticamente do agrossistema, cuja concentração foi de 22,43 g kg⁻¹, seguido do solo de barranco com 13,7 g kg⁻¹. O alto índice de matéria orgânica no solo de mata (Tabela 5) pode ser explicado pelo fato de ter constante material orgânico disponível, serem produzidos em maior qualidade nos sistemas naturais e não sofrerem ação antrópica (GUIMARÃES; GONZAGA ; MELO NETO, 2014).

Em solos de agrossistema, a matéria orgânica apresentou redução da sua concentração em relação ao solo de mata nativa (Tabela 5), devido à práticas de cultivo como revolvimento do solo, a aplicação repetida de adubo químico e pesticidas, que ajuda na perda de carbono orgânico do solo (SANTANA et al., 2017). Em solos agrícolas, os nutrientes e minerais precisam de reposição para desenvolvimento das plantas, diferentes das áreas de mata

nativa, onde estes se repõem no decorrer dos anos (FREITAS, 2017). O solo de barranco apresentou a menor concentração de matéria orgânica em comparação com os outros solos, o que pode ser explicado pela falta de estabilidade e pelos processos de degradação sofridos, ocasionando perda da matéria orgânica (JIN et al. 2022).

A biomassa microbiana do solo (BMS) pode ser afetada pelas práticas de manejo do solo. Em sistemas de manejo convencional, tem apresentado reduções acentuadas devido ao revolvimento do solo, que causa danos diretos aos microrganismos expondo-os à variações de temperatura e umidade. Em sistemas considerados conservacionistas, como o plantio direto, existe uma mecanização que com o tempo pode levar à compactação do solo (CALONEGO et al., 2017). Dessa maneira, alterações nas comunidades de microrganismos e sua atividade afetam diretamente os processos biológicos e bioquímicos do solo, a atividade agrícola e, conseqüentemente, a sustentabilidade dos agroecossistemas. (GAZOLLA et al., 2015; FERREIRA et al., 2017; MERCANTE et al., 2008).

A biomassa microbiana é composta por bactérias, fungos, actinomicetos e protozoários que representam de 2 a 5% da fração orgânica do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). O CBMS desempenha funções essenciais para o ecossistema, influenciando as propriedades e funcionalidades do solo, tendo uma relação estreita com os componentes físicos e químicos (DANTAS et al. 2021).

O solo da mata diferenciou-se estatisticamente dos demais, com maior índice de CBMS, conferido pelas condições favoráveis ao desenvolvimento dos microrganismos, sendo uma área com vegetação mais densa e composta por mais espécies vegetais. Como em solo de mata não existe o revolvimento do solo, ocorre um acúmulo de substratos orgânicos na superfície, com presença de hifas fúngicas e raízes finas liberando exsudatos para o solo, proporcionando o desenvolvimento dos microrganismos e formando maior biomassa microbiana (MATSUOKA; MENDES; LOUREIRO, 2003). Os solos de agrossistemas geralmente têm menor CBMS em relação ao ambiente de vegetação nativa. A menor CBMS do solo de agrossistema pode ser explicada pois, em solos agrícolas, geralmente o preparo do solo e repetidas aplicações de fertilizantes podem impactar a diversidade microbiana do solo e das plantas (HOLE et al., 2005)

O solo de barranco apresentou valores significativamente menores de CBMS (Tabela 5) e menores números de indivíduos nos grupos funcionais (Tabela 3) em relação aos outros solos, pois, nesse solo, não há fornecimento de substrato orgânico para o manter protegido e, assim, este fica descoberto, tendo uma maior variação de temperatura e umidade (SANTOS et al., 2004).

A atividade microbiana do solo pode ser medida pela respiração basal do solo (RBS), que é a soma de todas as funções metabólicas que formam o CO_2 (VIEIRA, 2011). A RBS é a taxa de respiração dos microrganismos, que consegue medir a velocidade em que o resíduo orgânico adicionado no solo se decompõe, sendo determinada pela produção de CO_2 no ecossistema ou consumo de O_2 , estando relacionada com a matéria orgânica e com a biomassa microbiana (PADILHA et al., 2014). Uma elevada taxa de RBS significa uma alta atividade microbiana e alta taxa de mineralização da matéria orgânica do solo, indicando um sistema emissor de CO_2 para o ambiente (TOTOLA; CHAER, 2002). A RBS não deve ser analisada sozinha, pois altas taxas de RBS podem indicar condições de estresse na microbiota ou níveis altos de atividade microbiana no solo (MARTINS, 2020).

A atividade microbiana é estimulada pela diversidade vegetal que fornece substrato para que os microrganismos que a compõem se alimentem, tornando-se a fonte principal de energia para o crescimento dos microrganismos (PINTO NETO et al., 2014). Em solos com alta matéria orgânica, a atividade microbiana é responsável pela decomposição desses resíduos, fazendo a mineralização e a ciclagem de nutrientes, sendo benéficos aos solos. No solo de mata nativa, observa-se o aumento nos valores da RBS, indicando maior atividade microbiana e um maior acúmulo de matéria orgânica na superfície, onde tem fonte abundante de carbono, liberando mais energia para os microrganismos e nutrientes para as plantas (MARQUES et al., 2015).

O solo do barranco apresentou uma menor taxa de RBS (Tabela 5), que está ligada à baixa população de microrganismos, além de indicar a ocorrência de estresse metabólico ($q\text{CO}_2$), presença de contaminantes no solo, como a quantidade de alumínio (0,13) (Tabela 4) encontrada e também a redução de material vegetação, que é baixa nesse solo (YADA et al., 2015).

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) é dado pela RBS e o CBMS e mostra a quantidade de CO_2 que é produzida pela biomassa microbiana (NOVAK et al., 2018). O $q\text{CO}_2$ mostra a condição do metabolismo microbiano, que, quando expressa valores elevados, o ambiente se encontra em condições de estresse (NIEMEYER et al., 2012), mostrando que as comunidades microbianas são menos eficientes quando convertem o C assimilado na biomassa. Tal situação foi verificada nos sistemas Agro e Barranco (Tabela 5), pois a maior parte deve fornecer energia para processos metabólicos (ZHANG et al., 2011; NOVAK et al., 2018).

O solo de mata apresentou menor $q\text{CO}_2$, mostrando que, em sistemas estáveis, a CBMS tende a aumentar e o $q\text{CO}_2$ diminuir, pois quanto menor o $q\text{CO}_2$, menos CO_2 é liberado pela respiração e mais carbono fica disponível para a produção de biomassa. Dessa

forma, quanto menor a taxa $q\text{CO}_2$, melhor a eficiência dos recursos utilizados pela biomassa microbiana, aumentando o teor de C nos seus tecidos (ALVES et al., 2011).

Por outro lado, valores maiores de $q\text{CO}_2$ no solo podem indicar maior necessidade de energia para a manutenção dos microrganismos, como é observado no solo de barranco, que apresentou a maior $q\text{CO}_2$. Nesse caso, a biomassa microbiana sofre estresse e oxida carbono da suas próprias células para se adaptar ao solo e sobreviver (ARAÚJO et al. 2019).

Impactos como mudanças de temperatura, umidade e disponibilidade de nutrientes refletem no quociente metabólico (ANDERSON, 2003; NICODEMO, 2009). Em seus trabalhos, Loureiro et al. (2016) e Dantas et al. (2021) observaram que solos com manejo convencional, com aração e gradagem, podem sofrer mais estresse microbiano, expondo a matéria orgânica existente para os microrganismos do solo, justificando a elevação do $q\text{CO}_2$ nessas áreas.

A presença de matéria orgânica é fundamental para o desenvolvimento e produção dos solos, uma vez que ajuda na manutenção do equilíbrio dos ecossistemas terrestres e se relaciona com vários processos como ciclagem de nutrientes, formação estrutural do solo, atividade biológica e decomposição de elementos tóxicos (Balota, 2018), além de ser fonte de carbono e possibilitar a vida dos microrganismos no solo, principalmente os fixadores de nitrogênio, que proporcionam substância de crescimento e contribuem para a sanidade vegetal (MOREIRA et al., 2018).

Tabela 5. Análise dos atributos microbiológicos dos solos de mata, agrossistema e barranco.

ÁREAS	M.O. g Kg ⁻¹	CBMS mg C Kg ⁻¹ solo	RBS mg de C-CO ₂ Kg ⁻¹ . h ⁻¹	$q\text{CO}_2$ RBS/BMS	$q\text{MIC}$ %
Mata	40,73 a	390,42 a	1,33 a	3,48 a	1,66 a
Agro	22,43 b	105,94 b	0,73 b	7,77 a	0,74 b
Barranco	13,70 c	33,71 b	0,25 c	8,04 a	0,25 b
CV(%)	5.43	23.74	8.25	35.20	28.75

Dados: Agrossistema (AGRO); Matéria Orgânica (M.O); Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (CBMS); Respiração Basal (RBS); quociente metabólico do solo quociente ($q\text{CO}_2$); quociente Microbiano ($q\text{MIC}$).

6.4. Avaliação de *Meloidogyne javanica* na raiz

A avaliação dos fitonematoides presentes nas raízes das plantas cultivadas nos diferentes solos avaliados mostrou que houve interação significativa para os três tipos de

solos ($p < 0,05$) tanto para o número de nematoides por grama de raiz, quanto para o número de ovos por grama de raiz (Tabela 6). Os solos de mata e agrossistema não diferiram estatisticamente para as formas ativas do nematoide, mas, houve maior redução no solo de mata. Para o número de ovos por grama de raiz, o solo de agrossistema foi o que apresentou maior redução dessa variável (Tabela 6).

Na avaliação da quantidade de fitonematoides entre os solos, sob diferentes tratamentos, observou-se que para o solo de mata não houve diferença significativa entre os tratamentos. Porém, nos solos de agrossistema e barranco, o tratamento químico proporcionou maior redução nas formas ativas de nematoides na raiz, seguido pelo tratamento com *Bacillus* sp. No uso de biofertilizante, houve aumento da quantidade de nematoides, demonstrando que a sua composição, rica em nutrientes, promoveu a sua reprodução (Tabela 6).

Para o número de ovos por grama de raiz, houve interação significativa entre os solos e entre os tratamentos, sendo que, no solo de agrossistema (25,91), observou-se menor número de ovos, seguido da mata (35,77) e barranco (57,00) (Tabela 6).

No solo da mata, o tratamento com *Bacillus* sp. foi mais eficiente na redução dos ovos, seguido do tratamento químico para o solo de agrossistema e barranco, mas, *Bacillus* sp. e biofertilizante também proporcionaram redução na quantidade de ovos. No tratamento com biofertilizante, por ser um composto rico em substâncias como aminoácidos, carboidratos e outros compostos, houve maior oviposição dos nematoides (Tabela 6).

A maior redução das formas ativas de *M. javanica* com o tratamento químico pode ser explicada pelo fato de que o produto químico tem uma ação mais rápida no solo do que o tratamento biológico, pois os microrganismos precisam se estabelecer no solo e sua efetividade depende da sua adaptação e multiplicação. Os nematicidas químicos possuem a capacidade de atuar sobre o desenvolvimento dos fitonematoides e controlar a sua população no solo (LIMA et al., 2019b). Alguns nematicidas atuam no sistema nervoso do nematoide, provocando impulsos convulsivos e desorientação, levando à morte do parasita (FERRAZ e BROWN, 2016). Nos ovos, a penetração dos nematicidas ocorre geralmente na eclosão, quando entram no corpo do juvenil e o imobilizam, impedindo-o de sair (PERRY; MOENS; STARR, 2011). O controle usando nematicidas é eficiente para reduzir a população dos nematoides por um determinado tempo, se a exposição for rápida pode permitindo o crescimento normal da população do patógeno após o fim do efeito residual do produto (PEREIRA, 2020).

Por isso, o controle biológico está sendo muito utilizado como método alternativo pois, quando se estabelece no solo, envolve ação de um ou mais organismos antagonistas para o controle da população de nematoides, além de ser benéfico ao meio

ambiente e não ser tóxico (MAZZETTI, 2017). Para o controle biológico ser eficiente, a distribuição uniforme desses microrganismos na rizosfera é muito importante, além da manutenção desses microrganismos no solo ano após ano para garantir a sua eficiência no ambiente de produção agrícola, garantindo a supressão de nematoides (SILVA et al., 2017).

A redução do número de ovos no tratamento com *Bacillus* sp. no solo da mata pode ser explicado pelo fato dessa bactéria estar relacionada com diferentes métodos de ação relacionados à supressão de fitonematoides, por envolver mecanismos diretos como produção de toxinas, enzimas e metabólitos secundários que agem reduzindo a reprodução, oviposição e a resistência dos juvenis e adultos no solo (ZHOU et al., 2017b). As bactérias colonizam as raízes das plantas onde o nematoide está parasitando e gera rizocompetência, característica que gera uma proteção para as plantas, reduzindo o espaço e também os nutrientes para os patógenos (MARIUTTO; ONGENA, 2015).

O aumento de microrganismos, ou a sua adição no solo, aumenta a atividade enzimática no solo e o acúmulo de compostos que são tóxicos aos fitonematoides. Quanto maior a qualidade microbiana, maior o estímulo das enzimas. As enzimas que são produzidas na região da rizosfera por essas bactérias possuem a capacidade de degradar a massa protetora que fica em volta dos ovos e, assim, inibir a eclosão por desidratação (ARAÚJO; MARCHESI, 2009; CETINTAS et al., 2018).

Os organismos no solo criam um ambiente único e dinâmico e a interação desses microrganismos e a sua atividade são de extrema importância para o funcionamento e a saúde do solo (VANBRUGGEB; SEMENOV, 2000). Devido ao barranco ter um solo com baixa fertilidade e baixa diversidade microbiana, as plantas não têm nutrientes suficientes para se desenvolver e não conseguem competir com os patógenos. Uma maneira de aumentar a microbiota e tornar o solo mais supressivo é a adição de compostos que melhoram as condições do solo e formam uma comunidade microbiana saudável e funcional (ACHMON et al., 2020).

Ao adicionar compostos nos solos que contenham microrganismos, estes podem influenciar na composição e abundância da comunidades microbiana. Um exemplo são os biofertilizantes, que podem ser definidos como inoculantes microbianos que contêm microorganismos benéficos que melhoram a nutrição das plantas, produzindo fitohormônios, biocontrole e solubilização de fósforo (BARRIOS; BALDANI, 2021).

A aplicação desses compostos no solo, além de introduzir nutrientes, aumenta a vida e a atividade microbiana, gerando competição e supressão dos patógenos. A aplicação se torna muito eficaz quando se compara aos tratamentos convencionais, pois essa adição gera

uma mudança na atividade dos microrganismos que formam um novo ambiente, não sendo adequado para os fitonematoides (GUDETA et al., 2021).

A rizosfera é responsável por regular os microrganismos por diferentes mecanismos. Quando se inocula uma certa quantidade de microrganismos, gera respostas que podem estimular a população já existente no solo (PHILIPPOT et al., 2013). Berg et al. (2017) afirmam que o aparecimento de doenças em solos com alta diversidade microbiana é dificultado. Mesmo a diversidade sendo alta, o controle de nematoides pode ser mais eficiente quando as condições ambientais favorecem os microrganismos benéficos.

Tabela 6. Significância da análise de variância entre solo de mata, agrossistema e barranco para formas ativas e ovos de *Meloidogyne javanica* e dos tratamentos Químico, *Bacillus* sp. e biofertilizante dentre os solos.

Fonte de variação	GL	Nematoide (g/raiz)			Ovo (g/raiz)		
		Mata	Agro	Barranco	Mata	Agro	Barranco
Solo	2	*	*	*	*	*	*
Nematoide	3	ns	*	*	*	*	*
Químico	3	ns	*	*	*	*	*
<i>Bacillus</i> sp.	3	ns	*	*	*	*	*
Biofertilizante	3	ns	*	*	*	*	*
Solo x Trat	6	ns	*	*	*	*	*
CV(%)	-	27.14			12.54		

Fonte de variação	Nematoide (g/raiz)			Ovo (g/raiz)		
	Mata	Agro	Barranco	Mata	Agro	Barranco
Solo	6.98 b	7.07 b	20.30 a	35.77 b	25.91 c	57.00 a
Nematoide	7.44	7.87 a b	33.98 a	34.94 ab	44.92 b	72.12 a
Químico	7.78	3.78 b	11.79 c	38.31 a	16.97 a	38.75 c
<i>Bacillus</i> sp.	6.06	6.20 a b	16.45 b c	27.03 b	18.24 a	50.44 b
Biofertilizante	7.00	10.04 a	18.98 b	42.78 a	23.51 a	66.70 a

Dados: Agro: agrossistema, CV = coeficiente de variação, GL = graus de liberdade, ns= não significativo,*= significativo a $P \leq 0.05$, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas, não diferem entre si (teste de Tukey 5%).

6.5. Avaliação dos parâmetros agronômicos da soja

As avaliações para a parte aérea da planta, altura, massa fresca (MFPA) e seca (MSPA), para os três tipos de solo, mata, barranco e agrossistema foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$), sendo maior no solo de agrossistema, seguido da mata e barranco (Tabela 7).

Para as análises dos tratamentos dentre os tipos de solo, a variável altura apresentou significância apenas no solo de mata, com os tratamentos *Bacillus* sp. e biofertilizante, destacando-se entre os outros. Para as variáveis MFPA e MSPA, apenas o solo de agrossistema apresentou significância entre os tratamentos, sendo *Bacillus* sp. o tratamento com diferença significativa, mostrando maior massa aérea das plantas (Tabela 7).

Para as avaliações do sistema radicular entre os solos, todas as variáveis que foram analisadas, comprimento de raiz, volume, massa fresca (MFR) e massa seca (MSR) da raiz, apresentaram significância na análise de variância, destacando-se o solo da mata, que mostrou diferença estatística para todas as variáveis analisadas (Tabela 8).

Para a análise dos tratamentos dentre os tipos de solo, a variável comprimento de raiz apresentou análise de variância significativa nos solos de mata e barranco, sendo que entre os tratamentos o uso de biofertilizante (60,40) proporcionou maior comprimento, seguido do tratamento com nematoide (59,80). Tal fato pode estar relacionado ao biofertilizante apresentar capacidade de estimular a atividade biológica do solo. Já no solo com nematoide, estes organismos podem não afetar o comprimento da raiz, em função da alta diversidade microbiana no solo da mata, provocando a supressão da ação parasitária. Este fato pode ser comprovado no solo de barranco, onde o tratamento com nematoide sofreu a maior redução no comprimento da raiz (21,20) e o solo com biofertilizante apresentou o maior comprimento (42,33).

Para os parâmetros volume, MFR e MSR, os solos que apresentaram diferença significativa na análise de variância foram os da mata e agrossistema (Tabela 8). Os tratamentos com *Bacillus* sp. e biofertilizante apresentaram maior volume de raiz na mata, o mesmo ocorrendo no agrossistema, onde o tratamento com *Bacillus* sp. foi superior, seguido do químico e biofertilizante. Nos parâmetros MFR e MSR, observou-se também melhores resultados nos tratamentos com *Bacillus* sp., seguido pelo biofertilizante e químico, embora estatisticamente alguns tratamentos não tenham apresentado diferença significativa dos tratamentos com nematoides e testemunha. Entretanto, ficou evidente que os tratamentos químicos e biológicos têm grande ação controladora dos nematoides, com destaque para *Bacillus* sp. e biofertilizante. Isto pode estar relacionado à ação direta de *Bacillus* sp. no controle do nematoide e o biofertilizante pela ação supressiva pela capacidade de promover a atividade microbiana do solo. Tal fato pode ser muito bem demonstrado no solo de barranco, mesmo não apresentando diferença significativa entre os tratamentos, nota-se que os parâmetros avaliados são superiores no tratamento com biofertilizante, comparados aos demais tratamentos, ficando assim evidente a ação supressora dos microrganismos presentes no solo (Tabela 8).

O solo de agrossistema foi melhor para o desenvolvimento da parte aérea das plantas, pois possui microrganismos adaptados à condição de cultivo da cultura e estes desempenham papel fundamental no desenvolvimento das plantas (BEATTIE et al., 2018). *Bacillus* spp. podem ou não causar alterações na comunidade presente no solo (CIPRIANO et al., 2016; LI et al., 2018b). Como o solo é o maior fator na formação de comunidades bacterianas, a comunidade nativa é competitiva, limitando a sobrevivência desses microrganismos (EDWARDS et al., 2015; SCHLEMPER et al., 2018).

A mata apresenta um solo em equilíbrio com diversidade microbiana alta, os microrganismos inoculados não fizeram diferença no crescimento da parte aérea, pelo fato de ter que competir com a comunidade microbiana nativa do solo, muito complexa, diversificada e adaptada. Com base nessas características, é possível que, mesmo com a comunidade microbiana existente no solo, *Bacillus* sp. foi suficientemente capaz de se impor na rizosfera, agregando aos microrganismos existentes, por ser um microrganismo encontrado no solo e vastamente usado pela sua facilidade em se estabelecer na microbiota do solo, atingindo a rizosfera e conferindo às plantas crescimento vegetativo e aumento da biomassa (MENA-VIOLANTE; OLALDE-PORTUGAL, 2007). A utilização desse microrganismo para as culturas agrícolas proporciona um método eficiente, atrativo e menos agressivo, tornando essa prática mais sustentável (SHAFI; TIAN; JI, 2017).

As plantas que foram cultivadas em solo de mata e agrossistema não apresentaram sintomas na parte aérea, como recebem água regularmente e ao solo dessas áreas apresentarem maior fertilidade que o solo do barranco, os nematoides não se manifestaram na parte aérea, apenas nas raízes das plantas (DIAS et al., 2010).

Uma das características das espécies de *Bacillus* é serem promotoras de crescimento de plantas, também produzindo fito-hormônios que, durante o desenvolvimento das plantas, possibilitam estimular o crescimento (JUNIOR et al., 2022). *Bacillus* spp. contribuem para maior enraizamento, comprimento e também na biomassa da raiz, sendo que a inoculação desses microrganismos aumenta a absorção de alguns nutrientes, promovendo o crescimento (SAHARAN; NEHRA, 2011), além de formar um biofilme ao redor da raiz e proteger as plantas de patógenos, estabelecendo simbiose com outros microrganismos e induzindo o desenvolvimento radicular (ALTAF et al., 2017).

Essa ação pontual os compostos produzidos por *Bacillus* spp., que aumentam a fisiologia das raízes mesmo quando se encontram em estresse (NGUYEN et al., 2017). A presença desses microrganismos podem ter aumentado a biomassa das raízes devido à sua interação benéfica com as raízes (AYANGBENRO; BABALOLA, 2017). Em tomates, Niu et

al. (2012) verificaram que plantas inoculadas com *Bacillus* spp. aumentaram sua biomassa em 47,7%, em comparação com as que não foram inoculadas, além de inibirem a proliferação de patógenos. Estudos realizados por Jain et al. (2016) corroboraram com esses resultados, pois *Bacillus* sp. incrementou o peso fresco, o peso seco e as raízes laterais.

O biofertilizante contém nutrientes que podem melhorar a microbiota do solo, regulando o crescimento vegetal e proporcionando para as plantas um desenvolvimento mais vigoroso e com raízes maiores (FERREIRA et al., 2017). A presença de microrganismos pode fazer alterações morfológicas e fisiológicas no sistema radicular das plantas (REIS JUNIOR et al., 2008). O maior volume das raízes pode ser devido às galhas que se formam pela infecção do nematoide (ROSA JUNIOR, 2010), mas, observando-se a massa seca da raiz, observou-se que o tratamento com apenas nematoide apresentou menor valor em relação aos tratamentos de *Bacillus* sp. e biofertilizante. A eficiência desse microrganismo em aumentar a biomassa das plantas é devido a fatores como disponibilidade de nitrogênio e fósforo, produzirem fitohormônios e outros mecanismos como o metabolismo microbiano no solo (KALAM; BASU; PODILE 2020).

Solos supressivos têm maior capacidade de suprimir os patógenos e melhorar o desenvolvimento radicular das plantas. A diversidade microbiana do solo compete com os patógenos no sítio de infecção da planta e não deixa os patógenos atuarem (ARANA, 2014).

Pelo fato do solo de barranco ser menos estruturado, com baixa fertilidade e menor disponibilidade de microrganismos, as plantas mudam o direcionamento do metabolismo para favorecer o mecanismo de defesa, causando danos aos mecanismos de crescimento (CHEYNIER et al., 2013). As plantas apresentaram menor estatura e podem ter sofrido influência do ambiente, uma vez que a altura da planta pode variar devido a fatores como nutrientes, umidade e fertilidade do solo (CARVALHO, 2016). Quando o solo é a fonte do problema, causando estresse, o desenvolvimento da parte aérea é sacrificado e o desenvolvimento radicular é estimulado, para permitir uma maior exploração do solo (POORTER et al., 2012).

Pesquisa feita por Perini et al. (2012) e Balbinot Junior et al. (2015) corroboraram com esse resultado, uma vez que plantas cultivadas em solos com baixa fertilidade podem ter redução de porte e baixo acúmulo de massa seca. O biofertilizante contém microrganismos e uma alta diversidade de nutrientes minerais que podem ajudar direta ou indiretamente no desenvolvimento de plantas (MORZELLE et al., 2017). Quando se inocula o biofertilizante, a quantidade de microrganismos que existe nesse composto não gera competição com a baixa microbiota já existente nesse solo, isso faz com que a população de microrganismo

supere aquela existente no solo. A incorporação desses microrganismos benéficos no solo ajuda no equilíbrio da atividade microbiana do solo, melhorando as características físicas, químicas e biológicas, além da produção de hormônios vegetais, favorecendo o desenvolvimento da raiz (DUTRA et al., 2016).

Tabela 7. Significância da análise de variância entre solo de mata, agrossistema e barranco para parâmetros biométricos de parte aérea e significância dos tratamentos Químico, *Bacillus* sp. e biofertilizante dentre os solos.

Fonte de variação	GL	Altura			MFPA			MSPA		
		Mata	Agro	Barranco	Mata	Agro	Barranco	Mata	Agro	Barranco
Solo	2	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Testemunha	2	*	Ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns
Nematoide	2	*	Ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns
Químico	2	*	Ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns
<i>Bacillus</i> sp.	2	*	Ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns
Biofertilizante	2	*	Ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns
Solo x Trat	-	Ns	Ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns
CV(%)	-	8.98			20.28			20.18		

Fonte de variação	Altura (cm)			MFPA (g)			MSPA (g)		
	Mata	Agro	Barranco	Mata	Agro	Barranco	Mata	Agro	Barranco
Solo	70.40 b	106.76 a	40.30 c	32.82 b	68.28 a	2.89 c	8.51 b	18.56 a	0.72 c
Testemunha	63.20 b	105.40	40.00	28.08	58.10 b	40.00	7.74	16.02 b	1.03
Nematoide	66.60 ab	108.80	43.00	32.99	69.20 b	43.00	8.43	17.72 b	0.66
Químico	70.20 ab	106.60	38.20	36.12	61.18 b	38.20	9.27	16.33 b	0.85
<i>Bacillus</i> sp.	74.80 a	106.60	37.80	31.08	84.09 a	37.80	8.42	23.73 a	0.39
Biofertilizante	77.20 a	107.00	42.50	35.85	68.82 b	42.50	8.68	18.99 b	0.65

Dados: Agro: agrossistema, MFPA: Massa fresca da parte aérea, MSPA: Massa seca da parte aérea CV = coeficiente de variação, GL = graus de liberdade, ns= não significativo, *= significativo a $P \leq 0.05$, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas, não diferem entre si (teste de Tukey 5%).

Tabela 8. Significância da análise de variância entre solo de mata, agrossistema e barranco para parâmetros biométricos de raiz; e significância dos tratamentos Químico, *Bacillus* sp. e biofertilizante dentre os solos.

Fonte de variação	GL	Comprimento de raiz			Volume			MFR			MSR		
		Mata	Agro	Barranco	Mata	Agro	Barranco	Mata	Agro	Barranco	Mata	Agro	Barranco
Solo	2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Controle	4	*	Ns	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*	ns
Nematoide	4	*	Ns	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*	ns
Químico	4	*	Ns	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*	ns
<i>Bacillus</i> sp.	4	*	Ns	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*	ns
Biofertilizante	4	*	Ns	*	*	*	ns	*	*	ns	*	*	ns
Solo x Trat	-	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
CV(%)	-	12.69			37.28			34.81			34.42		

Fonte de variação	Comprimento raiz			Volume			MFR			MSR		
	Mata	Agro	Barranco	Mata	Agro	Barranco	Mata	Agro	Barranco	Mata	Agro	Barranco
Solo	53.40 a	46.92 b	32.54 c	16.20 a	9.72 b	1.99 c	18.24 a	11.09 b	2.40 c	2.75 a	2.62 a	0.39 b
Controle	46.40 b	41.00	32.60 ab	7.80 c	6.20 b	0.540	7.54 c	7.80 b	1.88	1.21 c	1.94 b	0.28
Nema	59.80 a	59.80	21.20 c	14.20 b	8.00 b	1.06	16.75 b	9.72 ab	0.84	2.26 bc	2.46 ab	0.20
Químico	49.20 b	49.20	40.60 a	17.00 bc	10.60 ab	1.20	19.88 ab	12.17 ab	1.80	3.18 ab	2.67 ab	0.37
<i>Bacillus</i> sp.	51.20 ab	50.60	26.00 bc	21.00 a	14.40 a	1.50	23.29 ab	15.18 a	2.03	3.79 a	3.42 a	0.35
Biofertilizante	60.40 a	48.20	42.33 a	21.00 a	9.40 ab	5.66	23.74 a	10.55 ab	5.43	3.35 ab	2.63 ab	0.79

Dados: Agro: agrossistema, MFR: Massa fresca da raiz, MSR: Massa seca da raiz, CV = coeficiente de variação, GL = graus de liberdade, ns= não significativo, *= significativo a $P \leq 0.05$, respectivamente, pelo teste F. Médias seguidas de letras iguais, minúsculas nas colunas, não diferem entre si (teste de Tukey 5%).

7. CONCLUSÃO

O diversidade microbiana do solo suprime a ação parasitária dos nematoides na cultura de soja.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O solo é um ecossistema complexo e dinâmico, onde a diversidade de organismos e a complexa relação que envolve toda relação intra e interespecífica é um habitat ainda pouco explorado e pouco conhecido. Assim sendo, os nossos resultados demonstram que a utilização de produtos biológicos, como *Bacillus* sp., no controle de fitonematoide é altamente recomendada, visto a sua eficiência no controle dos nematoide e na promoção de crescimento da planta.

A diversidade microbiana no solo tem influência direta e indiretamente na supressão de fitonematoides. Este observado foi observado no solo da mata, onde a supressão pela comunidade microbiana residente no solo foi grande, e no solo de barranco, onde a utilização de biofertilizante para promover o crescimento microbiano também apresentou melhores resultados na avaliação da planta, principalmente no sistema radicular.

O estudo da importância da diversidade microbiana do solo ainda precisa ser melhor estudado. Entender a dinâmica e as interações positivas e negativas das populações, num ambiente complexo, é um fator primordial para conseguirmos cada vez mais produzir alternativas sustentáveis para agricultura, disponibilizando bioinsumos e manejos adequados do solo.

9. REFERÊNCIAS

- ABD-ELGAWAD, M. M. M.; ASKARY, T. H. Fungal and bacterial nematicides in integrated nematode management strategies. **Egyptian journal of biological pest control**, v. 28, n. 1, p. 1-24, 2018.
- ABREU, C. S.; FIGUEIREDO, J. E. F.; OLIVEIRA, C. A.; SANTOS, V. L.; GOMES, E. A.; RIBEIRO, V. P.; BARROS, B. A.; LANA, U. G. P.; MARRIEL, I.E. Maize endophytic bacteria as mineral phosphate solubilizers. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p. 1-13, 2017.
- ACHMON, Y.; CLAYPOOL, J. T.; FERNÁNDEZ-BAYO, J. D.; HERNANDEZ, K.; MCCURRY, D. G.; HARROLD, D. R.; SU, J.; SIMMONS, B. A.; CANTOR, S.W.;

DAHLQUIST-WILLARD, R. M. Structural changes in bacterial and fungal soil microbiome components during biosolarization as related to volatile fatty acid accumulation. **Applied Soil Ecology**, v. 153, 2020, p. 103602.

ALLEN, A. S. E.; SCHLESINGER, W. H. Nutrient limitations to soil microbial biomass and activity in loblolly pine forests. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, p. 581-589. 2004.

ALLEN, T. B.; BRADLEY, C. A.; SISSON, A. J.; BYAMUKAMA, E.; CHLIVERS, M. I.; COKER, C. M.; COLLINS, A. A.; DAMICONE, J. P.; DORRANCE, A. E. DUFAULT, N. S.; ESKER, P. D.; FASKE, T. R.; GIESLER, L. J.; GRYBAUSKAS, A. P.; HERSHMAN, D. E.; HOLLIER, C. A.; ISAKEIT, T.; JARDINE, D. J.; KELLY, H. M.; KEMERAIT, R. C.; KLECZEWSKI, N. M.; KOENNING, S. R.; KURLE, J. E.; MALVICK, D. K.; MARKELL, S. G.; MEHL, H. L.; MUELLER, D. S.; MULROONEY, R. P.; NELSON, B. D.; NEWMAN, M. A.; OSBORNE, L.; OVERSTREET, C.; PADGETT, G. B.; PHIPPS, P. M.; PRICE, P. P.; SIKORA, E. J.; SMITH, D. L.; SPURLOCK, T. N.; TANDE, C. A.; TENUTA, A. U.; WISE, K. A.; WRATHER, J. A.. Soybean Yield Loss Estimates Due to Diseases in the United States and Ontario, Canada, from 2010 to 2014. **Plant Health Progress**, v. 18, p. 19–27, 2017.

ALMEIDA, F. A.; CARVALHO, M. R.; LEITE, M.L.T.; FONSECA, W. L.; PEREIRA, F. F. Reação de cultivares de soja aos nematoides das galhas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 59, n. 03, p. 228-234, 2017a.

ALMEIDA, J. R. L.; SANTOS, N. C.; DE QUEIROGA, A. P. R.; FLORÊNCIO, I. M. Análise de granulometria e umidade de farinhas de milho flocada comercializadas na cidade de Campina Grande-PB. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, Paraíba, v. 7, n. 2, p. 185-189, 2017b.

ALTAF, M. M.; AHMAD, I.; KHAN, M. S. A.; GROHMANN. Bacillus biofilms and their role in plant health. **Biofilms in Plant and Soil Health**, p. 55-67, 2017.

ALVARADO-IBÁÑEZ, J. C.; ESTELA-URBINA, R. O.; LÓPEZ-CUADRA, Y. M.; SANTAMARÍA-BALDERA, N.; MORI-ZAVALA, R.; GUTIÉRREZ-ARAUJO, M. K. Aislamiento y evaluación de la actividad celulolítica de bacterias rizosféricas del Distrito de Bagua, Amazonas. **REBIOL**, v. 39, n. 2, p. 41-48, 2019.

ALVES, T. D. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.

AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; FILHO, A. BERGAMIN. **Manual de fitopatologia: princípios de conceitos**, v. 5, p. 215-228, 2018.

ANDERSON, T. H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 98, n. 1-3 p. 285-293, 2003.

ARANA, R. O. C. **Manejo de enfermedades en cultivos tropicales**. Universidad de Córdoba. Facultad de Ciencias Agrícolas. Montería, Córdoba, Colombia, 2014. 673p.

ARAÚJO, F. F.; MARCHESI, G. V. P. Uso de *Bacillus subtilis* no controle da meloidoginose e na promoção do crescimento do tomateiro. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 39, n. 5, p. 1558-1561, 2009.

ARAÚJO, T. S.; GALLO, A. S.; ARAÚJO, F. S.; SANTOS, L. C.; GUIMARÃES, N. F.; SILVA, R. F. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 347-357, 2019.

ASPLUND, J.; KAUSERUD, H.; OHLSON, M.; NYBAKKEN, L. Spruce and beech as local determinants of forest fungal community structure in litter, humus and mineral soil. **Microbiology Ecology**, v. 95, p. 1-11, 2018.

AYANGBENRO, A. S.; BABALOLA, O. O. A new strategy for heavy metal polluted environments: A review of microbial biosorbents. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 14, p. 1-16, 2017.

BÁEZ, M. S. A.; PETRY, M. T.; CARLESSO, R.; BASSO, L. J.; DA ROCHA, M. R.; RODRIGUEZ, G. J. Balanço hídrico e produtividade da soja cultivada sob diferentes níveis de déficit hídrico no Sul do Brasil. **Investigación Agraria**, v. 22 n. 1, p. 03-12, 2020.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; PROCÓPIO, S. O.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; PANISON, F. Semeadura cruzada em cultivares de soja com tipo de crescimento determinado. **Ciências Agrárias**, v. 36, n. 3, p. 1215–1225, 2015.

BALDIN, E. L. L.; KRONKA, A. Z.; DA SILVA, I. F. **Inovações em manejo fitossanitário**. 1ª ed. 2017 Botucatu: FEPAF, 2017. 232 p.

BALOTA E. L.; MACHINESKI, O.; HAMID, K. I. A.; YADA, I. F. U.; BARBOSA, G. M. C.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems. Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 490, n. 51, p. 397-404, 2017.

BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Londrina: ED Midiograf, 2018. p. 280

BARBOSA, R. T.; MONTEIRO, R. R.; COUTINHO, J. G.; SILVA, L.G. F.; Pochonia chlamydosporia no controle do nematoide de galhas em bananeira. **Nematropica**, v. 49, p. 99-106, 2019.

BARBOSA, T. C. S.; DE OLIVEIRA, V. P. V. Chemical and biological soil quality indicators used in monitoring degradation in the semiarid environments an analysis the state of the. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 17403-17423, 2022.

BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. S. B. Fracionamento químico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32, p: 1471-1478, 2008.

BARRIOS, S. C. L.; BALDANI, J. I. Avaliação da resposta de cultivares de *Brachiaria brizantha* a inoculação com bactérias diazotróficas para caracteres de produção de forragem e valor nutritivo. **Embrapa Gado de Corte**, n. 48, 2021, p. 22.

BEATTIE, R. E.; HENKE, W.; CAMPA, M. F.; HAZEN, T. C.; MCALILEY, L. R.; CAMPBELL, J. H. Variation in microbial community structure correlates with heavy-metal

contamination in soils decades after mining ceased. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 126, p. 57–63, 2018.

BEHERA, B. C.; SETHI, B. K.; MISHRA, R. R.; DUTTA, S. K.; THATOI, H. N. Microbial cellulase–Diversity & biotechnology with reference to mangrove environment: A review. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 15, n.1, p. 197-210, 2017.

BELLÉ, C.; KULCZYNSKI, S. M.; KASPARY, T. E.; KUHN, P. R. Plantas daninhas como hospedeiras alternativas para *Meloidogyne incognita*. **Nematropica**, v. 47, p. 26-33, 2017.

BELLÉ, C.; RAMOS, R. F.; BALARDIN, R. Reprodução de *Meloidogyne enterolobii* em plantas daninhas encontradas no Brasil. **Tropa fitopatológica**. v. 44, p. 380-384, 2019.

BERG, G.; KOBERL, M.; RYBAKOVA, D.; MÜLLER, H.; GROSCHE, R.; SMALLA, K. A diversidade microbiana das plantas é sugerida como a chave para o futuro biocontrole e tendências em saúde. **FEMS Microbiology ecology**, v. 5, p. 93, 2017.

BERGAMIN, FILHO. A. O. L.; AMORIM, L. Manejo Integrado de Doenças. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M. BERGAMIN FILHO, A. (Eds.). **Manual de Fitopatologia Principios e Conceitos**. 5ª Ed. Agronômica Ceres. v.1, p. 303-309, 2018.

BEZERRA, R. P. M.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Formas de carbono em Latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado, Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2637-2654, 2013.

BHATTI, A. A.; HAQ, S.; BHAT, R. A. Actinomycetes benefaction role in soil and plant health. **Microbial pathogenesis**, v. 111, p. 458-467, 2017

BRASIL, S. D. O. S.; MARQUES, L. D. L.; DA SILVA, R. F. B.; FREITAS, D. C. L.; SOARDI, K. Importância da resistência de plantas no controle de oídio: um levantamento de cultivares de soja no Brasil. **Revista Científica Rural**, v. 20, n. 2, p. 188-202, 2018.

BUENO, V. H.; VAN LENTEREN, J. C.; BETTIOL, W.; RAVENSBERG, W. Controle biológico em cultivo protegido. **Defensivos Agrícolas Naturais**, p. 457, 2016.

CALONEGO, J. C.; RAPHAEL, J. P. A.; RIGON, J. P. G.; OLIVEIRA NETO, L.; ROSOLEM, C. A. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. **European Journal of Agronomy**, v. 85, p. 31-37, 2017.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 935-944, 2003

CARDOSO, E. J. B. N.; ELKE, J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, v. 70, n. 4, p. 274–289, 2013.

CARVALHO, M. M. **Influência de sistemas de semeadura na população de pragas e nas características morfofisiológicas em cultivares de soja.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP. f. 66, 2016.

CASAZZA, G.; LUMINI, E.; ERCOLE, E.; DOVANA, F.; GUERRINA, M.; AMULFO, A.; MINUTO, L.; FUSCONI, A.; MUCCIARELLI, M. The abundance and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi are linked to the soil chemistry of screes and to slope in the Alpic paleo-endemic *Berardia subacaulis*. **PLoS ONE**, v. 12, n. 2, p. 1–18, 2017.

CETINTAS, R.; KUSEK, M.; FATEH, S. A. Effect of some plant growth-promoting rhizobacteria strains on the root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, in tomato. **Jornal egípcio de controle biológico de pragas**, v. 28, n. 1, p. 1-5, 2018.

CHEN, W.; XU, R.; CHEN, J.; YUAN, X.; ZHOU, L.; TAN, T.; FAN, J.; ZHANG, Y.; HU, T.; Consistent responses of surface- and subsurface soil fungal diversity to N enrichment are mediated differently by acidification and plant community in a semi-arid grassland. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 127, p. 110-119, 2018.

CHEYNIER, V.; COMTE, G.; DAVIES, K. M.; LATTANZIO, V.; MARTENS, S. Plant phenolics: Recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 72, p. 1–20, 2013.

CIPRIANO, M. A. P.; LUPATINI, M.; LOPES-SANTOS, L.; DA SILVA, M. J.; ROESCH, L. F. W.; DESTÉFANO, S. A. L.; FREITAS, S. S.; KURAMAE, E. E. Lettuce and rhizosphere microbiome responses to growth promoting *Pseudomonas* species under field conditions. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 92, n. 12, p. 1–13, 2016.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 9, safra 2021/22, n. 10 décimo levantamento, julho 2022.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos - Safra 2020/21**, v. 8, n. 1. p. 1-77, 2021.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2017/2018**. Brasília – DF, 2018.

COOLEN, W.A. & D’HERDE C. J. A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue. **Ghent, State Nematology and Entomology Research Station**, 1972.

COSTA JUNIOR, J. A.; ROSA, G. M.; WASTOWSKI, A. D.; SORIANI, H. H.; LOCATELLI, A. P. C.; SILVA, D. W.; GONÇALVES, D. B.; VOLPI, G. B.; KONZEN, I. S.; FLACH, K. A.; BONES, U. A. Biotechnology: identification and evaluation of the *Bacillus cereus* amylolytic activity. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, e437101321301-e437101321301, 2021.

COTTA, S. R. O solo como ambiente para a vida microbiana. 2016. In: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba, SP: ESALQ, 2016. p. 221.

COYNE, D. L.; CORTADA, L.; DALZELL, J. J.; CLAUDIUS-COLE, A. O.; HAUKELAND, S.; LUAMBANO, N.; TALWANA H. Plant-Parasitic Nematodes and Food Security in Sub-Saharan Africa. **Annual review of phytopathology**, v. 56, p. 381-403, 2018.

DA SILVA, J. C. P.; CAMPOS, V. P.; BARROS, A. F.; PEDROSO, L. A.; DE FREITAS SILVA, M.; DE SOUZA, J. T.; DE MEDEIROS, F. H. V. Performance of volatiles emitted from different plant species against juveniles and eggs of *Meloidogyne incognita*. **Crop protection**, v. 116, p. 196-203, 2019a.

DA SILVA, M.B.; DAVIS, R. F.; KUMAR, P.; NICHOLS, R.L.; CHEE, P. W. Resistance quantitative trait loci qMi-C11 and qMi-C14 in cotton have different effects on the development of *Meloidogyne incognita*, the southern root-knot nematode. **Plant Disease**, v. 103, n. 5, p. 853– 858, 2019b.

DANTAS, J. O.; PERIN, L.; ANDRADE, A. R.; BARROS, C. C.; FARIAS, F. J.; MENEZES, B. F.; MENEZES, V. M. M.; ALVES, A. E. O.; ARAÚJO-PIOVEZAN, T. G. Artrópodes e microbiota do solo em sistema agroecológico de produção no semiárido nordestino, Simão Dias, Sergipe. In: SOUSA, C. S.; LIMA, F. S.; SABIONI, S. C. Agroecologia: métodos e técnicas para uma agricultura sustentável. Guarujá, SP: **Científica Digital**, p. 267-281, 2021.

DE OLIVEIRA SILVA, M.; DOS SANTOS, M. P.; DA PAZ SOUSA, A. C.; DA SILVA, R. L. V.; DE MOURA, I. A. A.; DA SILVA, R. S.; DA SILVA COSTA, K. D. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6853-6875, 2021.

DE OLIVEIRA SILVA, M.; VELOSO, C. L.; DO NASCIMENTO, D. L.; DE OLIVEIRA, J.; DE FREITAS PEREIRA, D.; DA SILVA COSTA, K. D. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.

DELEVATTI, L. M.; CARDOSO, A. S.; BARBERO, R. P.; LEITE, R. G.; ROMANZINI, E. P.; RUGGIERI, A. C.; REIS, R. A. Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 1-9, 2019.

DIAS, W. P. et al. **Nematóides em Soja: Identificação e Controle**. 76. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 8 p

DOS SANTOS BRANCO, J.; JÚNIOR, P. P. Fixação biológica de nitrogênio na produção sustentável de forragem. **Revista Edutec**, v. 3, n.1, 2022.

DUTRA, A.F.; ARAUJO, M.M.; TURCHETTO, F.; RORATO, D.G.; AIMI, S.C.; GOMES, D.R.; NISHIJIMA, T. Substrate and irrigation scheme on the growth of *Parapiptadenia rigida* (angico-vermelho) seedlings. **Ciência Rural**, v. 46 n.6, p. 1007-1013, 2016.

EBONE, L. A.; KOVALESKI, M.; DEUNER, C. C. Nematicides: history, mode, and mechanism action. **Plant Science Today**, v. 6, n. 2, p. 91-97, 2019.

EDWARDS, J.; JOHNSON, C.; SANTOS-MEDELLÍN, C.; LURIE, E.; PODISHETTY, N. K.; BHATNAGAR, S.; EISEN, J. A.; SUNDARESAN, V. Structure, variation, and assembly

of the root-associated microbiomes of rice. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, p. 911–920, 2015.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Ed. Fábio Cesar da Silva. Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, v. 3, n. 1, ed. 2, 2009.

FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. **Nematologia de Plantas: fundamentos e importância**. Manaus: Norma Editora, v. 1, ed. 2, 2016. 251 p.

FERREIRA, C. R. P. C.; ANTONINO, A. C. D.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CORREIA, K. G.; LIMA, J. R. S.; SOARES, W.A.; MENEZES, R.S. C. Soil CO₂ Efflux Measurements by Alkali Absorption and Infrared Gas Analyzer in the Brazilian Semiarid Region. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 42, 2018.

FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n.1, p. 22-31, 2017.

FERREIRA, R. J.; SOARES, P. L. M.; DE CARVALHO, R. B.; DOS SANTOS, J. M.; BATISTA, E. S. P.; BARBOSA, J. C.. Espécies de *Bacillus* no controle dos nematoides das galhas e no desenvolvimento de cana-de-açúcar. **Nematropica**, v. 47, n. 2, p. 106-113, 2017.

FISHER, M.C.; HAWKINS, N.J.; SANGLARD, D. E.; GURR, S.J. o mundo surgimento de resistência a drogas antifúngicas desafia a saúde humana e comida segura. **Ciência**, v. 360, p. 739-742, 2018.

FOLLMANN, D. N.; CARGNELUTTI FILHO, A.; SOUZA, V. Q.; NARDINO, M.; CARVALHO, I. R.; DEMARI, G. H.; FERRARI, M.; PELEGRIN, A. J.; SZARESKEI, V. J. Relações lineares entre caracteres de soja safrinha. **Revista de Ciências Agrárias**, Pernambuco, v. 40, n. 1, p. 213-221, 2017.

FONTANA, L. F.; ARIEIRA, C. R. D.; ABE, V. H. F.; SEVERINO, J. J.; ARIEIRA, J. D. O.; MONTEIRO, R. N. F. Interference of *Meloidogyne javanica* in the reproduction of *Pratylenchus brachyurus* in soybean cultivar BRS/BR pintado. **Summa Phytopathologica**, v.44, p.143-147, 2018.

FREITAS, C. D. D. **Qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo na região central de Minas Gerais**, Dissertação de Mestrado, Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2017.

GAZOLLA, P.R.; GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, A. P. M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.

GAZZONI, D. L. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 70, n. 3, p. 16-18, 2018.

GUARNIERI, C. C. O. **Eficácia de tiodicarbe, cadusafós e condicionador de solo via tratamento de sementes e/ou sulco de plantio no controle de nematoides na cultura de soja**.

81f. Dissertação de Mestrado, Agronomia (Produção Vegetal), Universidade Estadual Paulista Campus de Jaboticabal. 2018.

GUDETA, K.; JULKA, JM; KUMAR, A.; BHAGAT, A.; KUMARI, A. VERMIWASH: Um agente de controle de doenças e pragas no solo, uma revisão. **Heliyon** v. 7, 2021. p. e06434.

GUIMARÃES, D. V.; GONZAGA, M. I.; MELO NETO, J. O. Management of soil organicmatter and carbono storage in tropical fruit crops. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.18, n.3, p.301-306, 2014.

GUIMARÃES, N. N.; SILVA, R. V.; GUIMARÃES, L. N.; SANTOS, A. S.; CAMPOS, I. C. A.; RAMOS, G. A. Potencial de extratos de plantas e manipueira no controle de *Meloidogyne javanica* em jiloeiro. **Holos**, v. 8, p. 1-10, 2021a.

HAJIHASSANI, A.; DAVIS, R. F.; TIMPER, P. Avaliação de nematicidas não fumigantes selecionados no aumento da densidade de inoculação de *Meloidogyne incognita* em pepino. **Plant Disease**, v. 103, n. 12, p. 3161-3165, 2019.

HASSANI, M.; DURÁN, P.; HACQUARD, S. Microbial interactions within the plant holobiont. **Microbiome**, v. 6, n. 1, p. 1-17, 2018.

HOLE, D.G.; PERKINS, A.J.; WILSON, J.D.; ALEXANDER, I.H.; GRICE, F.; EVANS, A.D. Does organic farming benefit biodiversity? **Biological Conservation**, v. 122, p. 113–130, 2005.

HOMIAK, J. A.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; COUTO, E. A. A.; KATH, J.; ABE, V. Seed treatments associated with resistance inducers for management of *Pratylenchus brachyurus* in soybean. **Phytoparasitica**, v. 45, n. 2, p. 243- 250, 2017.

JAIN, S.; KUMARI, S.; VAISHNAV, A.; CHOUDHARY, D. K.; SHARMA, K. P. Isolation and characterization of plant growth promoting bacteria from soybean rhizosphere and their effect on soybean plant growth promotion. **International Journal of Advanced Scientific and Technical Research**, v. 5, n. 6, p. 397-410, 2016.

JIN, L.; LIU, X.; BIAN, C.; SHENG, J.; SONG, Y.; ZHU, Y. Fabrication linalool-functionalized hollow mesoporous silica spheres nanoparticles for efficiently enhance bactericidal activity. **Chinese Chemical Letters**, v. 31, n. 8, p. 2137-2141, 2020.

JIN, Q.; WANG, C.; SARDANS, J.; VANCOR, T.; FANG, Y.; WU, L.; HUANG, X.; GARGALLO-GARRIGA, A.; PEÑUELAS, J.; WANG, W. Effect of soil degradation on the carbon concentration and retention of nitrogen and phosphorus across Chinese rice paddy fields. **Catena**, v. 209, 2022. p. 105810.

JOSE, P. A.; MAHARSHI, A.; JHA, B. Actinobacteria in natural products research: Progress and prospects. **Microbiological Research**, v. 246, p. 126708, 2021.

JUNIOR, A. F. C.; JUNIOR, G. M. B. J. B.; LIMA, C. A. L.; MARTINS, A. L. L. M.; SOUZA, M. C. S.; CHAGAS, L. F. B. C. *Bacillus subtilis* como inoculante promotor de crescimento vegetal em soja. **Diversitas Journal**, v. 7, n. 1, p. 0001-0016, 2022.

KALAM, S.; BASU, A.; PODILE, A. R. Functional and molecular characterization of plant growth promoting *Bacillus* isolates from tomato rhizosphere. **Heliyon**, v. 6, e04734, 2020.

KALAYU, G. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. **International Journal of Agronomy**, v. 2019, 2019.

KAMBLE, P. N.; BAATH, E. Carbon and nitrogen amendments lead to differential growth of bacterial and fungal communities in a high-ph soil. **Pedosphere**, v.8, n.2, p.255-260, 2018.

KHOSHNEVISAN, K.; POORAKBAR, E.; BAHARIFAR, H.; BARKHI, M. Recent Advances of Cellulase Immobilization onto Magnetic Nanoparticles: An Update Review. **Magnetochemistry**, 36, p. 1-22, 2019

KLUGE, J.; TERFEHR, D.; KÜCK, U. Inducible promoters and functional genomic approaches for the genetic engineering of filamentous fungi. **Appl Microbiol Biotechnol**, v. 102, p. 6357-6372, 2018.

KUMAR, H.; FRANZETTI, L.; KAUSHAL, A. E.; KUMAR, D. *Pseudomonas fluorescens*: A potential food spoiler and challenges and advances in its detection. **Annals of microbiology**, v. 69, n. 9, p. 873-883, 2019.

LIMA, B. C.; MORO, A. L.; PACHECO, A. C. S.; BONIFACIO, A.; ARAUJO, A. S. F.; ARAUJO, F. F. *Bacillus subtilis* Ameliorates Water Stress Tolerance in Maize and Common Bean. **Journal of Plant Interactions**, v. 14, n. 1, p.432-439, 2019a.

LIMA, I. M.; BUONICONTRO, D.; ARPINI, B. D. S.; TEODORO, M.; COSTA, N. S. **Gerenciamento de nematoides no sistema de produção do cafeeiro 'Conilon'**. In: PARTELLI, F. L.; ESPINDULA, M. C. (org.). *Café Conilon: conhecimento para superar desafios*, 178p. Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CAUFES), Alegre, ES, Cap.4, p.61-74, 2019b.

LIU, X.; CAI, J.; CHEN, H.; ZHONG, Q.; HOU, Y.; CHEN, W.; CHEN, W. Antibacterial activity and mechanism of linalool against *Pseudomonas aeruginosa*. **Microbial Pathogenesis**, v. 141, 2020. p. 103980.

LOPES, R.; TSUI, S.; GONÇALVES, P. R. O.; QUEIROZ, M.V. A look into a multifunctional toolbox: endophytic *Bacillus* species provide broad and underexploited benefits for plants. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 34, n. 7, p. 1-10, 2018.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Carbon and nitrogen content and stock in no-tillage and crop-livestock integration systems in the Cerrado of Goiás State, Brazil. **Journal Agriculture Science**, v. 4, p. 96-105, 2012.

LOUREIRO, D. C.; POLLI, H.; AQUINO, A. M.; SÁ, M. M. F.; GUERRA, J. G.M. Influência do uso do solo sobre a conservação de carbono na biomassa microbiana em sistemas orgânicos de produção. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 11, n. 1, p. 1- 10, 2016.

LOZADA, J. A. R.; SILVEIRA, K. C.; DA SILVA, L. J.; BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Prospecting for sludge bacteria from a poultry slaughterhouse, with potential for

degrading organic substances. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 38, n. 3, p.1209-1216, 2017.

MACHADO, A. C. Z.; AMARO, P. M.; SILVA, S. A. D. Two novel potential pathogens for soybean. **PloS one**, v. 14, n. 8, 2019. p. e0221416.

MAJEED, A.; MUHAMMAD, Z.; AHMAD, H. Plant growth promoting bacteria: role in soil improvement, abiotic and biotic stress management of crops. **Plant cell reports**, v. 37, n. 12, p. 1599-1609, 2018.

MAPA Agrofite - **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. In: Ministério da Agric. Pecuária e Abastecimento, 2019. http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons.

MARIOTTO, M.; ONGENA, M. Molecular patterns of rhizobacteria involved in plant immunity elicitation. **Academic Press: Advances in Botanical Research**, v.75, p.21-56, 2015.

MARQUES, J. D. O.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; SARRAZIN, M.; FERREIRA, S. J. F.; BELDINI, T. P.; MARQUES, E. M. A. Distribution of organic carbon in different soil fractions in ecosystems of central Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 232-242, 2015

MARQUES, R. M. **Avaliação do controle de nematóides fitopatogênicos do cafeeiro com nematicida de origem biológica na região de Monte Carmelo, Minas Gerais**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

MARTINS, A. K. Q. **Biomassa e atividade microbiana como indicadores de qualidade de um solo sob diferentes sistemas de cultivo de café**. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA, 2020.

MARTINS, G. D.; GALO, M. L. B. T.; VIEIRA, B. S.; JORGE, R. F.; ALMEIDA, C. X. Mapping Nutrients Content in a Nematode-Infected Coffee Plantation by Empirical Models Derived from Rapid Eye Image. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 3, p. 164-177, 2019.

MATSUNAGA, W. K; RODRIGUES, H. J. B; RODRIGUES, P. G. Atributos Microbiológicos de Solo, Relacionados as Atividades da Microfauna em Solo na Floresta Amazônica. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 3, p. 630-638, 2018.

MATSUOKA, M.; MENDES, J. C.; LOUREIRO, M. F. Microbial biomass and enzyme activities in soils under native vegetation and under annual and perennial cropping systems at the Primavera do Leste region- Mato Grosso State. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 425-433, 2003.

MATTOS, M. L. T.; DA SILVA MARTINS, J. F.; DE FILLIPI, M. C. C. Efeito de agentes de biocontrole sobre bactérias degradadoras de resíduos de agrotóxicos e fixadoras de nitrogênio. **Embrapa Clima Temperado-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2020.

MAZZETTI, V. C. G. **Levantamento populacional de nematoides em soja no Rio Grande do Sul e estratégia genética, química e biológica para controle de nematoides de galha**.

2017. 82 f. Tese (Doutorado em Agronomia) –Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2017.

MAZZETTI, V. C. G.; VISINTIN, G. L.; VALÉRIO, I. P.; CAMERA, J. N.; DEUNER, C. C.; SOARES, P. L. M. Reação de cultivares de soja a *Meloidogyne javanica* e *Meloidogyne incognita*. **Revista Ceres**, v. 66, p. 220-225, 2019.

MELO, V.F; SILVA, D.T; EVALD, A; ROCHA, P.R.R. Chemical and biological quality of the soil in different systems of use in the savanna environment. **Revista Agr@. on-line**, v.11, n. 2, p. 101-110, 2017.

MENA-VIOLANTE, H.G.; OLALDE-PORTUGAL, V. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. **Scientia Horticulturae**, v.113, n.1, p.103-106, 2007.

MENDES, I. D. C.; DE SOUSA, D. M. G.; DOS REIS JUNIOR, F. B.; LOPES, A. D. C. Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo. **EMBRAPA CERRADOS-CIRCULAR TÉCNICA (INFOTECA-E)**, 2018.

MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F.; FRANCELINO, C. S. F.; CAVALHEIRO, J. C. T.; OTSUBO, A. A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 34, n. 4, p. 479-485, 2008.

MEYER, M. C.; FAVORETO, L.; KLEPKER, D.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C. Soybean green stem and foliar retention syndrome caused by *Aphelenchoides besseyi*. **Tropical Plant Pathology**, v. 42, n. 5, p. 403-409, 2017.

MHATRE, P. H.; KARTHIK, C.; KADIRVELU, K.; DIVYA, K. L. VENKATASALAM, E. P.; SRINIVASAN.; SAKTHIVEL.; RAMKUMAR, G.; SARANYA, C.; SHANMUGANATHAN, R. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A potential alternative tool for nematodes bio-control. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology** v. 17, p. 119–128, 2019

MIAO, G. J.; HAN, Z.; ZHANG, S.; WANG, C. Protection of melon against Fusarium wilt-root knot nematode complex by endophytic fungi *Penicillium brefeldianum* HS-1. **Symbiosis**, v. 77, n. 1, p. 83-89, 2019.

MICROGEO. Adubação Biológica. **Manual Técnico**.

MINELLI-OLIVEIRA, C.; MIYAMOTO, M. S. F; ASTOLFI FILHO, S.; OLIVEIRA, L. A.; PEREIRA, J. O. Characterization of A-Amylases complex produced by a *Bradyrhizobium* sp. isolated from an Amazonian soil. **International Journal of Development Research**, v. 09, p. 32868 -32871, 2019.

MIRANDA, I. L. **Controle de Fitonematoides com diferentes genótipos de soja, manejo e rotações de cultura em Iepê-SP**. Dissertação (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, 2021.

MIRANDA, L. L. D; MIRANDA, I. D. Nematoides. **Financial Management Control (FMC): Comando Nematóide**, 2018.

MITTER, E. K.; DE FREITAS, J. R.; GERMIDA, J. J. Hydrocarbon-degrading genes in root endophytic communities on oil sands reclamation covers. **International Journal of Phytoremediation**, v. 22, n. 7, p. 703-712, 2020.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**: 2. ed. Lavras: UFLA, 2006.

MOREIRA, M. S.; DE OLIVEIRA G.; VIEIRA, F. R.; FURTADO, E. L.; MING, L. C. Análise quantitativa de microrganismos considerando os atributos físico e químico do solo em diferentes manejos. **Plantando sonhos**. Experiências em Agroecologia no Estado de São Paulo, p. 58, 2018.

MORZELLE, M. C.; PETERS, L. P.; ANGELINI, B. G.; CASTRO, P. R. de C.; MENDES, A. C. C. M. **Agroquímicos estimulantes, extratos vegetais e metabólicos microbianos na agricultura**.: Série produtor rural – nº63. 1. ed. Piracicaba: ESALQ – Divisão de biblioteca, p. 96, 2017.

MOTA, L.C.; TEBALDI, N. D; LUZ, J. M. Q. Occurrence of *Pseudomonas fluorescens* and *P. putida* associated to tomato pith necrosis in Brazil. **Horticultura Brasileira**, v. 39, p. 258-263, 2021.

MOURA, G. S.; FRANZENER, G. Biodiversity of nematodes biological indicators of soil quality in the agroecosystems. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 84, p. e0142015, 2017.

MUKHATAR, T. Management of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, in tomato with two *Trichoderma* species. **Pakistan Journal of Zoology**, v. 50, n. 4, p. 1589-1582, 2018.

MUÑOZ-ROJAS, M. Soil quality indicators: critical tools in ecosystem restoration. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 5, p. 47-52, 2018.

MUSATTI, A.; FICARA, E.; MAPELLI, C.; SAMBUSITI, C.; ROLLINI, M. Use of solid digestate for lignocellulolytic enzymes production through submerged fungal fermentation. **Journal of Environmental Management**, v. 199, p. 1-6, 2017.

NASSAL, D.; SPOHN, M.; ELTLBANY, N.; JACQUIOD, S.; SMALLA, K.; MARHAN, S.; KANDELER, E. Effects of phosphorus-mobilizing bacteria on tomato growth and soil microbial activity. **Plant and Soil**, v. 427, n. 1-2, p. 17-37, 2018.

NGUYEN, P. A.; STRUB, C.; FONTANA, A.; SCHORR-GALINDO, S. Crop molds and mycotoxins: Alternative management using biocontrol. **Biological Control**, v. 104, p. 10–27, 2017.

NICODEMO, M. L. F. **Uso de biomassa microbiana para avaliação de qualidade de solo em sistemas silvipastoris**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Sudeste, Ministério da Agricultura e Abastecimento. 1º ed, São Carlos, SP, n. 63, p. 35, 2009.

NIEMEYER, J. C.; LOLATA, G. B.; CARVALHO, G. M.; SILVA, E. M.; SOUSA, J. P.; NOGUEIRA, M. A. Microbial indicators of soil health as tools for ecological risk assessment of a metal contaminated site in Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 59, n. 23, p. 96–105, 2012.

NIU, D. D.; WANG, C. J.; GUO, Y. H.; JIANG, C. H.; ZHANG, W. Z.; WANG, Y. P.; GUO, J. H. The plant growth-promoting rhizobacterium *Bacillus cereus* AR156 induces resistance in tomato with induction and priming of defense response. **Biocontrol science and technology**, n. 22, v. 9, p. 991-1004, 2012.

NOVAK, E.; CARVALHO, L. A.; SANTIAGO, E. F.; BRUMATTI, A. V.; SANTOS, L. L.; SALES, L. C. Variação temporal dos atributos microbiológicos do solo sob diferentes usos. **Revista de Ciências Agrárias**, n. 41, v. 3, p. 603-611, 2018.

OLIVEIRA JÚNIOR, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; KLEPKER, D. Fertilidade do solo e avaliação do estado nutricional da soja. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JÚNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. C. (Eds.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, p. 133-184, 2020.

OLIVEIRA, K. C. L. D.; MENESES, A. C. D.; SILVA, J. M.; TAVARES, R. L. C. Biological management of *Pratylenchus brachyurus* in soybean crops. **Revista Caatinga**, v. 32, p. 041-051, 2019.

OLIVEIRA, P. G. Reprodução do nematoide-das-galhas da goiabeira em acessos de *Psidium comunicata*. **Scientiae**, v. 8, n. 1, p. 149-154, 2016.

PADILHA, K. M.; FREIRE, M. B. G. S.; DUDA, G.P.; SANTOS, U.J.; SILVA, A. O.; SOUZA, E. R. Indicadores biológicos de dois solos com a incorporação de subproduto da agroindústria de café. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38 n. 5, 2014.

PAIVA, C. A. O.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; COTA, L. V.; SANTOS, F. C.; TINOCO, S. M. S.; LANA, U. G. P.; OLIVEIRA, M. C.; MATTOS, B. B.; ALVES, V. M. C.; RIBEIRO, V. P.; JUNIOR, R. V. **Recomendação agrônômica de cepas de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) na cultura do milho**. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas – MG, circular técnica, 2020. p. 18

PAVINATO, P. S.; CHERUBIN, M. R.; SOLTANGHEIS, A.; ROCHA, G. C.; CHADWICK, D. R.; JONES, D. L. Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2020.

PEREIRA, B. V. B. **Eficiência de nematicidas químicos, bionematicidas e extratos vegetais no controle de *pratylenchus brachyurus* em soja**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal Goiano, 2020.

PERIN, L.; FARIAS, F. J.; SILVA, T. C. C. B.; MENEZES, V. M. M.; PINHEIRO, S. S. C. Atributos químicos e microbiológicos do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Expressão Científica**, v. 3, n. 1, p. 34-41, 2018.

PERINI, L.; FONSECA, N.S.; DESTRO, D.; PRETE, C.E.C. Componentes da produção em cultivares de soja com crescimento determinado e indeterminado. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. SUPPL.1, p. 2531–2544, 2012.

PERRY, R. N.; MOENS, M.; STARR, J. L. Introduction to plant-parasitic nematodes; modes of parasitism. In: **Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions**. Springer, Dordrecht, p. 3-20, 2011.

PHILIPPOT, L.; RAAIJMAKERS, J. M.; LEMANCEAU, P.; VAN DER PUTTEN, W. H. Going back to the roots: The microbial ecology of the rhizosphere. **Nature Reviews Microbiology**, v. 11, n. 11, p. 789–799, 2013.

PHUKON, L. C.; CHOURASIAA, R.; KUMARI, M.; GODAN, T. K.; SAHOO, D.; PARAMESWARAN, B.; RAI, A. K. Production and characterisation of lipase for application in detergent industry from a novel *Pseudomonas helmanticensis* HS6. **Bioresource Technology**, v. 309, 2020. p. 123352.

PINHEIRO, J. B. **Nematoides em hortaliças**. 1ª ed. 2017 Brasília, DF: Embrapa, 2017, p. 194.

PINTO NETO, J. N.; ALVARENGA, M. I. N.; CORRÊA, M. P.; OLIVEIRA, C. C. Efeito das variáveis ambientais na produção de café em um sistema agroflorestal. **Coffee Science**, v. 9, n. 2, 2014.

PINTO, L. P.; PERUZZOLO, M. C.; HISTER, J. R. W. H.; FRIGO, E. P.; BARREIROS, M. A. B.; GRANGE. Alterações populacional e morfológicas da comunidade celulolítica de um solo sob aplicação de biofertilizante. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 2, 2019.

POORTER, H.; NIKLAS, K. J.; REICH, P. B.; OLEKSYN, J.; POOT, P.; MOMMER, L. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. **New Phytologist**, v. 193, p. 30–50, 2012.

PRASAD, S.; SINGH, A.; KORRES, N. E.; RATHORE, D.; SEVDA, S.; PANT, D. Sustainable utilization of crop residues for energy generation: A life cycle assessment (LCA) perspective. **Bioresource Tecnology**, v. 303, p. 122964, 2020.

RADHAKRISHNAN, R.; HASHEM, A.; ABD_ALLAH, E. F. Bacillus: A Biological Tool for Crop Improvement through Bio-Molecular Changes in Adverse Environments. **Frontiers in Physiology**, v. 8, 2017. p. 667.

RAIESI, F.; SALEK-GILANI, S. The potential activity of soil extracellular enzymes as an indicator for ecological restoration of rangeland soils after agricultural abandonment. **Applied Soil Ecology**, v. 126, p. 140-147, 2018.

RAIMUNDI, M. K. **Fitopatologia Aplicada**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S. A. 2019, p. 208.

RAMOS, K.; LIMA, J. V.; MARTINS, C.; MARTINS, S. Efeito de fatores abióticos sobre a atividade enzimática de actinobactérias de Região do semiárido Brasileiro. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, 2018.

RASCHE, F.; CADISCH, G. The molecular microbial perspective of organic matter turnover and nutrient cycling in tropical agroecosystems. What do we know? **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 49, p. 251-262, 2013.

RECHENMACHER, C.; WIEBKE-STROHM, B.; OLIVEIRA-BUSATTO, L. A.; WEBER, R. L. M.; CORSO, M. C. M.; LOPES-CAITAR, V.; SILVA, S. M. H.; DIAS, W. P.; MARCELINO GUIMARÃES, F. C.; CALINI, C.; BODANESE-ZANETTINI, M. H. Endogenous soybean peptide overexpression: an alternative to protect plants against root-knot nematodes. **Biotechnology Research and Innovation**, v. 3, p. 10-18, 2019.

REIS JUNIOR, F. B; MACHADO, C. T. T; MACHADO, A. T; SODEK, L. inoculação de *azospirillum amazonense* em dois genótipos de milho sob diferentes regimes de nitrogênio. **revista brasileira do solo**, v.32 p.1139-1146, 2008.

REIS, T. C. **Controle biológico com os fungos entomopatogênicos *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* e suas interações com *Palmistichus elaeis* e glifosato**. Dissertação (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018.

RENGEL, D. S.; MEERT, L., HANEL, A.; ESPINDOLA, J. S.; BORGHI, W. A. Diferentes inoculantes e formas de inoculação e sua influência sobre os componentes de produção e teor de nitrogênio da cultura da soja. **Campo Digital: Revista de Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, v. 13, p. 46-51, 2018.

RODRIGUES, J. D.; SILVA, C. R. C.; PEREIRA, R. F.; RAMOS, J. P. C.; MELO FILHO, P. A.; CAVALCANTI, J. J. V.; SANTOS, R. C. Characterization of water-stress tolerant cotton cultivars based on plant growth and in activity of antioxidant enzymes. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.39, p.3763-3770, 2016.

ROSA JÚNIOR, O. F. **Efeito isolado e combinado de *Pratylenchus brachyurus* e *Fusarium verticillioides* no desenvolvimento de dois híbridos de milho**. 60p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Fitopatologia). Uberlândia, MG: Universidade Federal de Uberlândia. 2010.

ROSA, L. C. T. **Interação e eficácia de produtos biológicos e químicos no manejo de *Meloidogyne javanica* em cultivares de tomate**. Dissertação de Mestrado - Urutaí, GO: IF Goiano, 2018, p. 20.

ROSSET, J. S.; LANA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M.; SEIDEL, E. P. Estoque de carbono, propriedades químicas e físicas do solo em sistemas de manejo com diferentes tempos de implantação na Região Oeste do Paraná, Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, n.6, p.3053-3072, 2014.

RUIU, L. Microbial Biopesticides in Agroecosystems. **Agronomy**, v. 8, n. 11, 2018. p. 235.

SAAD, M. M.; EIDA, A. A.; HIRT, H. Tailoring plant-associated microbial inoculants in agriculture: a roadmap for successful application. **Journal of Experimental Botany**, v. 71, n. 13, p. 3878-3901, 2020.

SAHARAN, B. S.; NEHRA, V. Plant Growth Promoting Rhizobacteria: A critical review. **International Journal of Life Science and Medical Research**, v. 21, p. 1-30, 2011.

SAINI, R.; DAHIYA, A. Amylases: Characteristics and industrial applications. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 6, n. 4, p.1865-1871, 2017.

SALAM, N.; JIAO, J. Y.; ZHANG, X. T.; LI, W. J. Update on the classification of higher ranks in the phylum Actinobacteria. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 70, n. 2, p. 1331-1355, 2020.

SANTANA, A. S.; DA SILVA CHAVES, J.; SANTANA, A. S.; RODRÍGUEZ, C. A.; DE MORAES, E. R. Biomassa microbiana em diferentes sistemas de manejo do solo no sul do estado de Roraima. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia/Brazilian Journal of Science of the Amazon**, v. 6, n1, p.43-50, 2017.

SANTOS M. S.; NOGUEIRA M. A.; HUNGRIA M. Microbial inoculants: reviewing the past, discussing the present and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. **AMB Express**, v. 9, 2019. p. 205.

SANTOS, A. R. B.; FERNANDES, A. A.; LEITE, M. L. T.; FONSECA, W. L.; NETO, F. A.; PEREIRA, F. F.; CARVALHO, R. M.; BARRETO, A. F. Biocontrole no manejo de *Pratylenchus brachyurus* na soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 776-785, 2019.

SANTOS, V. B.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; SILVA, D. G. - Biomassa, atividade microbiana e teores de carbono e nitrogênio totais de um planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira Agrociência**, v. 10, p. 333-338, 2004.

SANTOS, W. P.; FIORELLI, E. C.; MACHADO, C.B.; DE SIQUEIRA, M. G.; VIEIRA, A. S.; DE SOUZA, S. P.; MENDES, R. F.; BRAVIN, N. P. Atividade microbiana sob o sistema de preparo do solo. **AGRICULTURA EM FOCO**, 2020. p. 2.

SATTAR, A.; NAVEEDA, M.; ALIA, M.; ZAHIRA, Z.; NADEEMB, S.; YASEENA, M.; MEENAC, V. S.; FAROOQD, M.; SINGHE, R.; RAHMANF, M.; MEENA, H. N. Perspectives of potassium solubilizing microbes in sustainable food production system: a review. **Applied Soil Ecology**, v. 133, p. 146-159, 2019.

SCHLEMPER, T. R.; DIMITROV, M. R.; SILVA GUTIERREZ, F. A. O.; VAN VEEN, J. A.; SILVEIRA, A. P. D.; KURAMAE, E. E. Effect of *Burkholderia tropica* and *Herbaspirillum frisingense* strains on sorghum growth is plant genotype dependent. **PeerJ**, v. 6, 2018. p. e5346.

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, 2018. p. 8.

SCHURT, D. A.; SEABRA, S. S. S.; SILVA, A. A.; MARTINS, S. A.; MEDEIROS, F. H. V. Tratamentos químicos e biológicos de sementes para controle da mela do feijão-caupi. **Agri-environmental Sciences**, v. 3, n. 1, p. 30-36, 2017.

SHAFI, J.; TIAN, H.; JI, M. *Bacillus* species as versatile weapons for plant pathogens: a review. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v. 31, n. 3, p. 446-459, 2017.

SHARMA A; MANISHA T; BHATTACHARYA M; MANDAL T. Commercial application of cellulose nano-composites – A review. **Biotechnology Reports**, v. 21, n. 2018, 2019.

SIKANDAR, A. M.; ZHANG, Y.; WANG, X.; ZHU, X.; LIU, H.; FAN, Y.; XUAN, L.; CHEN, Y. D. In vitro evaluation of *Penicillium chrysogenum* Snef1216 against *Meloidogyne incognita* (root-knot nematode). **Scientific Reports**. v. 10, 2020. p.8342.

SIKORA, R. A.; COYNE, D.; HALLMANN, J.; TIMPER, P. Reflections and challenges: nematology in subtropical and tropical agriculture. In: SIKORA, R. A.; COYNE, D.; HALLMANN, J.; TIMPER, P. **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. 3. ed. Wallingford, UK: CABI Publishing, p. 1-19, 2018.

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F.; SOUSA, C. H. C.; CHAGAS, K. L. Pigmentos fotossintéticos e potencial hídrico foliar em plantas jovens de coqueiro sob estresses hídrico e salino. **Revista Agro@ ambiente on-line**, v.10, n.4, p.317-325, 2017.

SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; FRASCA, L. L. M.; REZENDE, C. C.; FERREIRA, E. A. S.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; FERREIRA, E. P. B.; LACERDA, M. C. Plantas de cobertura isoladas e em mix para melhoria da qualidade do solo e das culturas comerciais do Cerrado. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. 1-11, 2021.

SILVA, R. A.; NUNES, N. A.; SANTOS, T. F. S.; IWANO, F. K. Efeito da rotação e sucessão de culturas no manejo de nematoides da soja em área arenosa. **Nematropica**, v. 48, n. 2, p. 198-206, 2018.

SILVEIRA, R. S. D. **Importância e manejo de nematoides em lavouras de soja no brasil e perspectivas futuras**. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso, (Graduação Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

SINGH, R. S.; SINGHANIA, R. R.; PANDEY, A.; LARROCHEAL, C. *Advances in Enzyme Technology*. 1. ed. Amsterdam: Elsevier, p. 1-40, 2019.

SOARES, F. E. F.; SUFIATE, B. L.; DE QUEIROZ, J. H. Nematophagous fungi: Far beyond the endoparasite, predator and ovicidal groups. **Agriculture and Natural Resources**, v. 52, n. 1, p. 1-8, 2018.

SOBUCKI, L.; RAMOS, R. F.; BELLÉ, C.; ANTONIOLLI, Z. I. Manejo e qualidade biológica do solo: uma análise. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 3, n. 4, 2019.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 79-88, 2010.

SRIVASTAVA, N. Production of Food-Processing Enzymes from Recombinant Microorganisms. *Enzymes in Food Biotechnology*. **Department of Biotechnology**, CET-IILM, Greater Noida, India, 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6th. edn. Porto Alegre, Artmed, 2017.

TEJO, D. P.; FERNANDES, C. H. S.; BURATTO, J. S. Soja: fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade. **Revista científica eletrônica de xix da faef**, v.35, n.1, p. 1-9, 2019.

TORTORA, G.J.; CASE, C.L.; FUNKE, B.R. **Microbiologia-12ª Edição**. 2016 Artmed Editora, 2016.

TOTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos com indicadores da qualidade do solo. IN: ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L.M. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2002, v. 2, p. 195-267, 2002.

TRIVEDI, C.; DELGADO-BAQUERIZO, M.; HAMONTS, K.; LAI, K.; REICH, P. B.; SINGH, B. K. Losses in microbial functional diversity reduce the rate of key soil processes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 135, p. 267-274, 2019.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, p. 703-707, 1987.

VERDEJO-LUCAS, S. Cultivo dual: nematóides. In: Métodos moleculares em fitopatologia. **CRC Press**, p. 301-312, 2017.

VERMA, P.P.; SHELAKE, R.M.; DAS, S.; SHARMA, P. E.; KIM, J.Y. Plant growth - promoter rhizobacteria (PGPR) and fungi (PGPF): potential agents for biological control of diseases and pests. **Intervenções Microbianas na Agricultura e Meio Ambiente**, p. 281-311, 2019.

VIEIRA, E. A. A. Sustentabilidade da indústria da mineração no Brasil. **Estação Científica (UNIFAP)**, v. 1, n. 2, p. 01-15, 2011.

XIANG, N.; LAWRENCE, K. S.; DONALD, P. A. Biological control potential of plant growth promoting rhizobacteria suppression of *Meloidogyne incognita* on cotton and *Heterodera glycines* on soybean: A review. **Journal of Phytopathology** v. 166, p. 449–458, 2018.

XIANG, N.; LAWRENCE, K. S.; KLOEPPER, J. W.; DONALD, P. A.; MCINROY, J. A.; LAWRENCE, G.W. Biological control of *Meloidogyne incognita* by sporeforming plant growth-promoting rhizobacteria on cotton. **Plant Disease**, Saint Paul, v.101, n.5, p.774-784, 2017.

YAASHIKAA, P. R.; KUMAR, P. S. SARAVANAN, A.; VARJANI, S.; RAMAMURTHY, R. Bioconversion of municipal solid waste into bio-based products: A review on valorization and sustainable approach for circular bioeconomy. **Science of the Total Environment**, v. 748, 2020.

YADA, M. M.; MINGOTTE, F. L. C.; MELO, W. J.; MELO, G. P.; MELO, V. P.; LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I. Atributos Químicos e Bioquímicos em Solos Degradados por Mineração

de Estanho e em Fase de Recuperação em Ecossistema Amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 39, n. 12, p. 714- 724, 2015.

ZHANG, C.; LIU, G.; XUE, S.; SONG, Z. Rhizosphere soil microbial activity under different vegetation types on the Loess Plateau. **Geoderma**, v. 161, n. 32, p. 115-125, 2011.

ZHANG, Q.; HAN, Y.; XIAO, H. Microbial α -amylase: A biomolecular overview. **Process Biochemistry**, v.53, p.88-101. 2017.

ZHOU, H.; ZHANG, D.; WANG, P.; LIU, X.; CHENG, K.; LI, L.; AND Z, J.; ZHANG, X.; ZHENG, J.; CROWLEY, D. Changes in microbial biomass and the metabolic quotient with biochar addition to agricultural soils: A Meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 239, p. 80-89, 2017a.

ZHOU, Y.; WANG, Y.; ZHU, X.; LIU, R.; XIANG, P.; CHEN, J.; LIU, X.; DUAN, Y.; CHEN, L. Management of the soybean cyst nematode *Heterodera glycines* with combinations of different rhizobacterial strains on soybean. **PLoS One** v. 12, n. 8, 2017b. p. e0182654.

ZILLI, J. É.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; COUTINHO, H. L. C.; NEVES, M. C. P.; Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 391-411, 2003.