

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS E BIOTECNOLOGIA

LUCAS TEIXEIRA MORI

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE UM CONDICIONADOR DE SOLO INOCULADO COM
MICRORGANISMOS NO CRESCIMENTO VEGETAL E NA ATIVIDADE DE
 β -GLICOSIDASE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2

TOLEDO – PR
2021

LUCAS TEIXEIRA MORI

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE UM CONDICIONADOR DE SOLO INOCULADO COM
MICRORGANISMOS NO CRESCIMENTO VEGETAL E NA ATIVIDADE DE
 β -GLICOSIDASE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Bioprocessos e Biotecnologia.

Orientadora: Profa. Dra. Patricia Dayane Carvalho Schaker

Coorientador: Dr. Jeferson Klein

TOLEDO – PR

2021

LUCAS TEIXEIRA MORI

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE UM CONDICIONADOR DE SOLO INOCULADO COM
MICRORGANISMOS NO CRESCIMENTO VEGETAL E NA ATIVIDADE DE
 β -GLICOSIDASE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Bioprocessos e Biotecnologia.

Orientadora: Profa. Dra. Patricia Dayane Carvalho Schaker

Coorientador: Dr. Jeferson Klein

Toledo, 13 de agosto de 2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Patricia Dayane Carvalho Schaker
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Renato Eising
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Thiago Cintra Maniglia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

RESUMO

Os condicionadores de solo orgânicos são responsáveis por melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, sendo uma alternativa para reduzir os impactos causados pelas técnicas de manejo, contribuindo para uma maior qualidade do solo e produtividade no campo. Associados a microrganismos, podem trazer benefícios ainda maiores ao desenvolvimento das plantas, uma vez que estes podem produzir compostos que aceleram o desenvolvimento vegetal, como hormônios, enzimas, e contribuem com a resistência à patógenos. Uma forma de avaliar os benefícios gerados pelo uso de condicionadores e/ou microrganismos promotores de crescimento vegetal é através da análise da atividade enzimática do solo, devido a sua alta sensibilidade a mudanças no ambiente e correlação com o metabolismo da microbiota, fornecendo informações a respeito da qualidade do solo. Dessa forma, o presente trabalho propõe a aplicação de um condicionador de solo orgânico inoculado com bactérias do gênero *Bacillus* em sementes de milho e no solo, com o objetivo de avaliar seu efeito na atividade enzimática da β -glicosidase e seu efeito no crescimento de milho nos estágios iniciais de desenvolvimento. Os experimentos foram conduzidos em condições controladas, com a aplicação do condicionador de solo inoculado em sementes de milho em cinco doses crescentes e sua aplicação diretamente no solo em cinco doses crescentes, sendo avaliados ao final e 14 dias a altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), comprimento da raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e a atividade da enzima β -glicosidase. A aplicação do condicionador de solo inoculado com microrganismos em sementes apresentou resultados promissores no desenvolvimento das plantas, influenciando positivamente o DC e CR. A atividade enzimática da β -glicosidase apresentou um aumento nos tratamentos T2 e T5, quando comparados com o tratamento T1 que não continha a presença do condicionador. Em relação ao tratamento no solo, os parâmetros influenciados positivamente pelo uso do condicionador inoculado foram o CR e MSR. A atividade enzimática da β -glicosidase também apresentou um aumento, quando comparados com o tratamento T6. De acordo com os resultados, sugere-se então que o desenvolvimento inicial de plantas é mais favorecido por meio da aplicação do condicionador de solo inoculado com *Bacillus* nas sementes. Porém, em relação a

atividade enzimática da β -glicosidase, os melhores resultados foram obtidos utilizando o condicionador inoculado diretamente no solo.

Palavras-chave: condicionador de solos; *Bacillus*; atividade enzimática; β -glicosidase; milho.

ABSTRACT

Organic soil conditioners are responsible for improving the physical, chemical and biological properties of the soil, being an alternative to reduce the impacts caused by management techniques, contributing to greater soil quality and productivity in the field. Associated with microorganisms, they can bring even greater benefits to plant development, as they can produce compounds that accelerate plant development, such as hormones, enzymes, and contribute to resistance to pathogens. One way to evaluate the benefits generated by the use of conditioners and/or plant growth promoting microorganisms is through the analysis of the enzymatic activity of the soil, due to its high sensitivity to changes in the environment and correlation with the metabolism of the microbiota, providing information about the soil quality. Thus, the present work proposes the application of an organic soil conditioner inoculated with *Bacillus* in corn seeds and in soil, with the objective of evaluating its effect on the enzymatic activity of β -glucosidase and its effect on corn growth in the early stages of development. The experiments were carried out under controlled conditions, with the application of the soil conditioner inoculated to maize seeds in five increasing doses and its application directly to the soil in five increasing doses, with plant height (PH), stem diameter (SD), root length (RL), shoot dry mass (SDM), root dry mass (RDM) and β -glucosidase enzyme activity being evaluated at the end of 14 days. The application of soil conditioner inoculated with microorganisms in seeds showed promising results in plant development, positively influencing SD and RL. The enzymatic activity of β -glucosidase showed an increase in treatments T2 and T5, when compared to treatment T1 that did not contain the presence of the conditioner. Regarding the treatment in the soil, the parameters positively influenced by the use of the inoculated conditioner were the RL and RDM. The β -glucosidase enzymatic activity also showed an increase when compared to the T6 treatment. According to the results, it is suggested then that the initial development of plants is more favored by applying a soil conditioner inoculated with *Bacillus* in the seeds. However, in relation to the enzymatic activity of β -glucosidase, the best results were obtained using the conditioner inoculated directly into the soil.

Keywords: soil conditioner; *Bacillus*; enzymatic activity; β -glucosidase; corn.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura dos ácidos húmicos segundo Fuchs.....	15
Figura 2 - Fases da compostagem de acordo com a temperatura.....	17
Figura 3 - Microscopia eletrônica de varredura de <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (Aumento de 14.000x).....	19
Figura 4 - Microscopia eletrônica de varredura de <i>Bacillus subtilis</i> (Aumento de 10.000x).....	20
Figura 5 - Microscopia eletrônica de varredura de <i>Bacillus licheniformis</i> (Aumento de 10.000x).....	21
Figura 6 - Microscopia eletrônica de varredura de <i>Bacillus pumilus</i> (Aumento de 10.000x).....	22
Figura 7 - Origem das enzimas presentes no solo e sua localização.....	24
Figura 8 - Processo de degradação da celulose.....	25
Figura 9 - Crescimento dos microrganismos nas placas contendo diferentes diluições do condicionador de solo.....	35
Figura 10 - Desenvolvimento do milho de acordo com as diferentes doses de condicionador aplicados na semente em que T1: (0 g de condicionador/60.000 sementes); T2: (210 g de condicionador/60.000 sementes); T3: (420 g de condicionador/60.000 sementes); T4: (840 g de condicionador/60.000 sementes); T5: (1680 g de condicionador/60.000 sementes).....	37
Figura 11 - Gráficos de regressão do diâmetro do colmo (DC), comprimento da raiz (CR) e massa seca da raiz (MSR) para as diferentes doses de condicionador aplicado nas sementes.....	39
Figura 12 - Atividade enzimática da β -glicosidase de acordo com o tratamento nas sementes em que T1: 0 g de condicionador/60.000 sementes; T2: 210 g de condicionador/60.000 sementes; T3: 20 g de condicionador/60.000 sementes; T4: 840 g de condicionador/60.000 sementes; T5: 680 g de condicionador/60.000 sementes.....	41
Figura 13 - Desenvolvimento do milho de acordo com as diferentes doses de condicionador aplicadas no solo em que T6: (0 ton. de condicionador ha ⁻¹); T7: (2,5 ton. de condicionador ha ⁻¹); T8: (5,0 ton. de condicionador ha); T9: (7,6 ton. de condicionador ha ⁻¹); T10: (10,2 ton. de condicionador ha ⁻¹).....	44

Figura 14 - Gráficos de regressão da altura da planta (AP), comprimento da raiz (CR) e massa seca da raiz (MSR) para as diferentes doses de condicionador aplicado no solo.....	46
Figura 15 - Atividade enzimática da β -glicosidase de acordo com o tratamento no solo em que T6: (0 ton. de condicionador/ha); T7: (2,5 ton. de condicionador ha ⁻¹); T8: (5,0 ton. de condicionador ha ⁻¹); T9: (7,6 ton. de condicionador ha ⁻¹); T10: (10,2 ton. de condicionador ha ⁻¹).....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais enzimas presentes no solo e suas funções.....	23
Tabela 2 - Concentrações aplicadas de condicionador nas sementes e no solo durante a condução do experimento.....	28
Tabela 3 - Quantidade dos componentes adicionados para cada 100 sementes de milho, de acordo com o tratamento.....	29
Tabela 4 - Características físico-químicas do solo utilizado no experimento na profundidade de 0-20 cm.....	33
Tabela 5 - Características químicas do condicionador de solo utilizado no experimento.....	34
Tabela 6 - Valores médios da altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), comprimento da raiz (CR), matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria fresca da raiz (MFR) e matéria seca da raiz (MSR) em função das doses de condicionador aplicado na semente (T1-T5).....	36
Tabela 7 - Resumo da análise de variância para as variáveis altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), comprimento da raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) em função da aplicação do uso de condicionador na semente.....	38
Tabela 8 - Valores médios da altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), comprimento da raiz (CR), matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria fresca da raiz (MFR) e matéria seca da raiz (MSR) em função das doses de condicionador aplicado no solo (T6-T10).....	43
Tabela 9 - Resumo da análise de variância para as variáveis altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), comprimento da raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) em função do uso de condicionador no solo.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP	Altura da planta
CR	Comprimento da raiz
CTC	Capacidade de troca catiônica
DC	Diâmetro do colmo
DIC	Delineamento inteiramente casualizado
IN	Instrução Normativa
LB	Luria-Bertani
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MSPA	Massa seca da parte aérea
MSR	Massa seca da raiz
PNG	<i>p</i> -nitrofenol- β -D-glicopiranosídeo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo geral	12
2.2	Objetivos específicos	12
2.3	Justificativa	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	Condicionadores de solo inorgânicos	14
3.2	Condicionadores de solo orgânicos	14
3.2.1	Condicionadores de solo classe A	15
3.2.2	Compostagem como processo de obtenção de condicionadores de solo.....	16
3.3	Utilização de microrganismos na agricultura	18
3.3.1	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	18
3.3.2	<i>Bacillus subtilis</i>	19
3.3.3	<i>Bacillus licheniformis</i>	20
3.3.4	<i>Bacillus pumilus</i>	21
3.4	Enzimas como indicadores da qualidade microbiológica do solo	22
3.4.1	β -glicosidase	25
4	METODOLOGIA	27
4.1	Preparo do solo e do condicionador utilizado	27
4.2	Delineamento experimental e condução do experimento	28
4.3	Coleta e avaliação dos dados	30
4.3.1	Altura da planta, diâmetro do colmo e comprimento da raiz.....	30
4.3.2	Massa seca da parte aérea e massa seca da raiz	30
4.3.3	Atividade enzimática da β -glicosidase.....	31
4.4	Análise estatística	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1	Composição do solo e do condicionador	32
5.2	Microrganismos viáveis no condicionador	34
5.3	Tratamento na semente	35
5.4	Tratamento no solo	42
6	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil é um dos países que mais investe no agronegócio, dedicando uma grande parcela do espaço territorial para a agricultura e pecuária (AGROW, 2017). Porém, o uso intensivo do solo acaba afetando sua qualidade, havendo a necessidade de suplementação dos nutrientes necessários para o desenvolvimento vegetal por meio do uso de fertilizantes e adubos (REETZ, 2017).

Um meio de melhorar a qualidade do solo é através da utilização de condicionadores de solo orgânicos, que são produtos que contêm um alto teor de matéria orgânica, sendo aplicado no solo com o intuito de melhorar suas características físicas e químicas, favorecendo o desenvolvimento das plantas e da microbiota presente no local, garantindo assim um solo de maior qualidade. Em consequência disso, seu uso pode levar a uma maior produtividade e consequentemente um maior lucro (COOPER; *et al.*,2010; GULLO, 2007). Entre os condicionadores de solo orgânicos estão os condicionadores classe A, que são obtidos a partir de matéria-prima orgânica de fontes vegetais, animais e resíduos agroindustriais que não contenham elementos tóxicos, de acordo com a Instrução Normativa (IN) DAS nº 35/2006 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

De modo semelhante, existem microrganismos que ao serem inoculados no solo auxiliam no desenvolvimento de plantas (PROVENZA; VILLALBA, 2010), sendo uma forma de melhorar a produtividade no campo.

No entanto, é necessário analisar as características do solo para avaliar o impacto resultante das técnicas de manejo. Uma das formas de se avaliar a qualidade de um solo é a partir da sua microbiota, um bioindicador sensível a pequenas variações de manejo. Porém, analisá-la de forma aprofundada é uma tarefa difícil pois o solo possui comunidades microbianas extremamente complexas e diversas. Uma alternativa para acessar de forma indireta a atividade microbiana no solo é através da análise da atividade enzimática no solo, que compreende a somatória da atividade enzimática dos microrganismos, plantas, animais e enzimas abióticas (enzimas adsorvidas em argila ou matéria orgânica) presentes no local. Para cada enzima há substratos específicos que ao serem analisados podem trazer informações a respeito da qualidade do solo (DORAN; PARKIN, 1994). Entre essas enzimas destaca-se a β -

glicosidase, que é responsável pela disponibilização de glicose para os microrganismos presentes no solo.

Nesse contexto, o presente projeto visa aplicar um condicionador de solo classe A inoculado com bactérias do gênero *Bacillus* diretamente em sementes de milho e no solo para avaliar o seu efeito na atividade da enzima β -glicosidase e seu efeito no crescimento vegetal inicial.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos gerados pela aplicação de concentrações crescentes de um condicionador de solo classe A inoculado com diferentes espécies de *Bacillus* na atividade enzimática de β -glicosidase no solo e no crescimento de milho nos estágios iniciais de desenvolvimento.

2.2 Objetivos específicos

- Aplicar um condicionador de solo classe A inoculado com bactérias do gênero *Bacillus* diretamente em sementes de milho e no solo.
- Determinar qual método de aplicação do condicionador de solo inoculado promove um maior desenvolvimento inicial de plantas de milho.
- Avaliar o efeito da aplicação do condicionador de solo inoculado na atividade enzimática da β -glicosidase no solo.

2.3 Justificativa

A transformação de resíduos das atividades agrícolas em produtos com maior valor agregado tem contribuído com a sustentabilidade do agronegócio. Um dos exemplos que tem trazido impactos positivos é a aplicação de condicionadores de solo que melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Da mesma forma, a inoculação microrganismos podem aumentar a sua qualidade, influenciando no desenvolvimento de plantas e na produtividade.

Ao utilizar essas técnicas para melhorar a qualidade do solo e obter maiores produtividades, a análise de enzimas se torna necessária para quantificar a atividade microbiana, com o objetivo de monitorar a qualidade do solo, sendo uma análise que vem ganhando destaque nos laboratórios de análise de solo.

O presente trabalho é relevante no contexto agrícola da região onde o mesmo foi realizado, trazendo informações sobre o efeito da aplicação de um condicionador de solo contendo microrganismos inoculados na atividade enzimática e no crescimento do milho nos primeiros estágios de desenvolvimento. As informações disponibilizadas podem ser utilizadas pelos produtores para tomada de decisão em relação ao manejo do solo e a utilização de condicionadores.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com a intensa utilização do solo pela agricultura, é necessário utilizar técnicas e produtos que mantenham a qualidade do solo para obter melhores produtividades. Uma alternativa é a utilização de condicionadores de solo, que são produtos que ao serem adicionados ao solo promovem uma melhoria nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas, podendo ser classificados de acordo com a composição do material podendo ser orgânicos ou inorgânicos (SHINDE; SARKAR; THOMBARE, 2019).

3.1 Condicionadores de solo inorgânicos

Condicionadores de solo inorgânicos podem ser obtidos na natureza, produzidos a partir de gesso, rochas trituradas, cal entre outros minerais ou podem ser produzidos sinteticamente como por exemplo polímeros solúveis em água, polímeros catalíticos entre outros (SHINDE; SARKAR; THOMBARE, 2019).

Zeólitos são aluminossilicatos cristalinos e são um exemplo de condicionador de solo inorgânico composto por elementos alcalinos e alcalino-terrosos, podendo ser encontrados em mais de 50 formas naturais e 150 formas sintéticas. Quando adicionados ao solo tem uma capacidade de melhorar suas propriedades físicas e químicas, como a taxa de infiltração e retenção de água, condutividade hidráulica saturada e capacidade de troca catiônica, sendo uma ótima alternativa para ambientes áridos e semiáridos (NAKHILI, 2017; SEGATELLI, 2019).

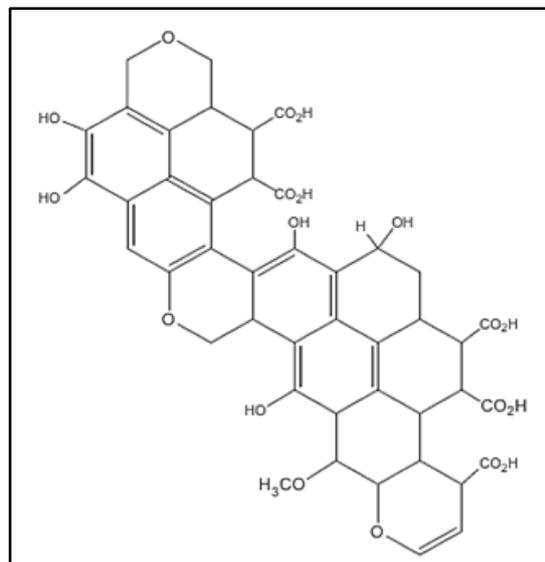
3.2 Condicionadores de solo orgânicos

Condicionadores de solo orgânicos são produtos originados à partir de matéria orgânica. O composto gerado a partir da compostagem, biochar (carvão) e resíduos de esgoto são alguns exemplos desse tipo de condicionador (SHINDE; SARKAR; THOMBARE, 2019).

Entre os efeitos benéficos gerados pelos condicionadores orgânicos estão a capacidade de retenção de água e nutrientes, melhorias na aeração do solo contribuindo para um melhor desenvolvimento das raízes das plantas, além de reduzir a perda de fertilizantes pelo processo de lixiviação (COOPER; *et al.*, 2010; LIMA, 2019; MA, 2015).

Esses efeitos ocorrem devido a presença de diferentes substâncias nos condicionadores, entre elas as substâncias húmicas, como por exemplo os ácidos húmicos, que são produzidos durante o processo de compostagem e possuem um alto número de cargas negativas em sua estrutura (Figura 1), o que favorece a adsorção de cátions de maneira reversível, pelo processo conhecido como capacidade de troca catiônica (CTC) (RONQUIM, 2010). Essa adsorção reduz a perda de nutrientes catiônicos importantes como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ pela água da chuva, mantendo-os no solo e para as raízes de plantas por mais tempo (COOPER; *et al.*, 2010).

Figura 1 - Estrutura dos ácidos húmicos segundo Fuchs.



Fonte: Al-Faiyz (2013).

Os condicionadores de solo orgânicos possuem também em sua composição moléculas de hemicelulose e celulose, que apresentam características hidrofílicas devido a presença de grupos hidroxila em sua estrutura, que interagem com a água e favorecem sua retenção no solo (BERNABÉ, *et al.*, 2010; VILELA, 2017), garantindo uma maior disponibilidade de água para as plantas e para os microrganismos.

3.2.1 Condicionadores de solo classe A

No Brasil há um documento que padroniza e classifica os diferentes tipos de condicionadores de solo. A Instrução Normativa (IN) DAS nº 35/2006 do Ministério da

Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) classifica os condicionadores de solo em Classe A, B, C, D, E e F de acordo com a matéria-prima utilizada.

De acordo com a IN, os condicionadores de classe A são obtidos a partir de matéria orgânica provenientes de fontes vegetais, animais ou até de resíduos da agroindústria que não utilizam metais pesados ou quaisquer elementos tóxicos no processo.

O composto orgânico produzido a partir da técnica de compostagem é um exemplo de condicionador de solo orgânico de classe A, que é obtido a partir da decomposição de matéria orgânica através de microrganismos como fungos e bactérias. É um material que possui em sua composição macronutrientes como nitrogênio, fósforo, magnésio, enxofre e micronutrientes como ferro, zinco, cobre, manganês e boro, que são essenciais para o desenvolvimento de plantas e são fontes de matéria orgânica para os microrganismos, contribuindo para o aumento da atividade microbiana (COOPER; *et al.*, 2010).

3.2.2 Compostagem como processo de obtenção de condicionadores de solo

A compostagem é um processo biológico de oxidação aeróbia e exotérmica de um material orgânico, que gera um material rico em matéria orgânica chamado húmus, CO₂, vapor de água e nutrientes inorgânicos (BERNAL *et al.*, 1998).

A eficiência do processo de compostagem depende da ação e da interação de microrganismos presentes na matéria orgânica, que necessitam de condições adequadas de temperatura, umidade, aeração, relação carbono/nitrogênio (C/N), tipo de material e as dimensões das leiras (BIDONE, 2001).

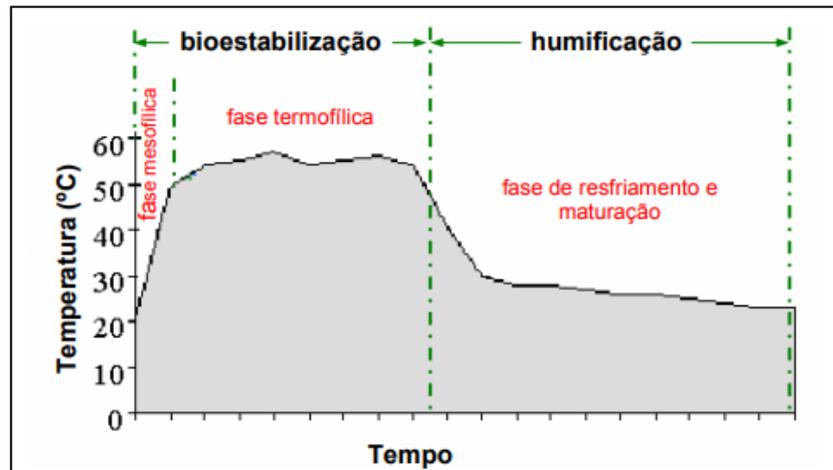
O processo de compostagem é dividido em quatro fases (Figura 2), sendo que a temperatura é utilizada como parâmetro para identificá-las (BERNAL *et al.*, 1998; FIALHO, 2007):

- Fase mesofílica: na primeira fase a temperatura é moderada, em que a matéria orgânica não sofreu nenhuma decomposição e tem duração de dois a cinco dias;
- Fase termofílica: fase em que o material da compostagem atinge temperaturas maiores que 40°C, em que o material é degradado mais rapidamente e pode

ter uma duração de dias até meses, de acordo com a composição dos materiais utilizados;

- Fase de resfriamento: as temperaturas diminuem e ficam próximas à temperatura ambiente;
- Fase de maturação: é a fase em que o material é estabilizado, gerando o húmus. Essa etapa pode durar semanas ou meses.

Figura 2 - Fases da compostagem de acordo com a temperatura.



Fonte: Trautmann, Olynciw (2005).

Essa técnica se torna uma alternativa de tratamento dos resíduos orgânicos gerados pelas agroindústrias, o que reduz impactos ambientais e gera benefícios econômicos através da obtenção de produtos com valor agregado que podem ser utilizados para melhorar a qualidade do solo.

Estudos já demonstraram que a utilização desses compostos melhora as condições do solo e a produtividade das plantas. Junior *et al.*, (2006) aplicaram doses de composto orgânico feito a partir da compostagem de serragem de madeira e esterco bovinos em solos com cultivo de bananeira 'Prata-anã' (Musa AAB), e ao final do experimento observaram melhorias nas propriedades do solo com a adição do composto, aumentando a concentração de matéria orgânica e nutrientes no solo, além de melhorar a CTC e saturação por bases da camada superficial do solo.

Chefetz *et al.* (1996) também observaram efeitos benéficos utilizando compostos com diferentes tempos de compostagem para produção de pepino, e ao final os resultados mostraram que houve uma influência significativa na produção, em

que o composto imaturo inibiu o crescimento de plantas, porém o composto maturado aumentou a produção.

3.3 Utilização de microrganismos na agricultura

O Brasil utiliza um extenso espaço territorial do país para a produção de alimentos. Com a utilização de novas tecnologias e técnicas de manejo do solo, maiores produtividades podem ser obtidas, sendo que a utilização de microrganismos na agricultura é um dos alicerces que tem trazido bons resultados no campo (PROVENZA; VILLALBA, 2010). Entre a ampla diversidade de microrganismos, as bactérias do gênero *Bacillus* apresentam características favoráveis ao desenvolvimento de plantas, com liberação de substâncias que auxiliam na fixação de nitrogênio e solubilização de minerais (TEJERA-HERNÁNDEZ; ROJAS-BADÍA; HEYDRICH-PÉREZ, 2011). Alguns exemplos são as espécies *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis* e *Bacillus pumilus*.

3.3.1 *Bacillus amyloliquefaciens*

A espécie *Bacillus amyloliquefaciens* é uma bactéria gram-positiva que possui formato de bastonete (Figura 3), com capacidade de formar endósporos resistentes a fatores externos como temperaturas elevadas ou falta de água. No solo essas bactérias colonizam as raízes das plantas e são capazes de inibir o crescimento de competidores bacterianos ou fúngicos fitopatogênicos através da produção de proteínas e aminoácidos (CHEN, X., *et al.*, 2007).

Figura 3 - Microscopia eletrônica de varredura de *Bacillus amyloliquefaciens* (Aumento de 14.000x).



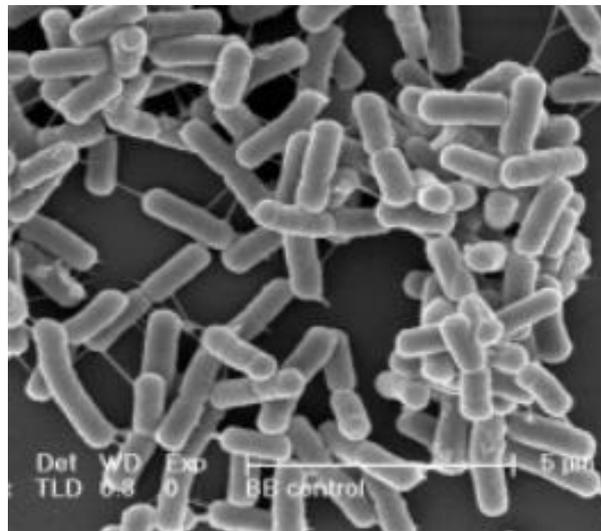
Fonte: Kadaikunnan, *et al.* (2015).

Essas substâncias favorecem o desenvolvimento de plantas, podendo ser utilizada na inoculação de sementes ou solos, gerando efeitos benéficos como o observado por Silva (2019), que ao inocular *B. amyloliquefaciens* em sementes de soja verificou que o microrganismo auxiliou as plantas de soja a adquirir tolerância ao déficit hídrico, evitando a desidratação dos tecidos e perdas no potencial fotossintético das plantas.

3.3.2 *Bacillus subtilis*

A bactéria gram-positiva *Bacillus subtilis* é amplamente utilizada nas indústrias para a produção de enzimas extracelulares (Figura 4), sendo encontrada naturalmente no solo, onde é responsável por secretar proteínas com diversas finalidades, como obtenção de nutrientes, competição com outros microrganismos e para adaptação no ambiente (VAN DIJL; HECKER, 2013).

Figura 4 - Microscopia eletrônica de varredura de *Bacillus subtilis* (Aumento de 10.000x).



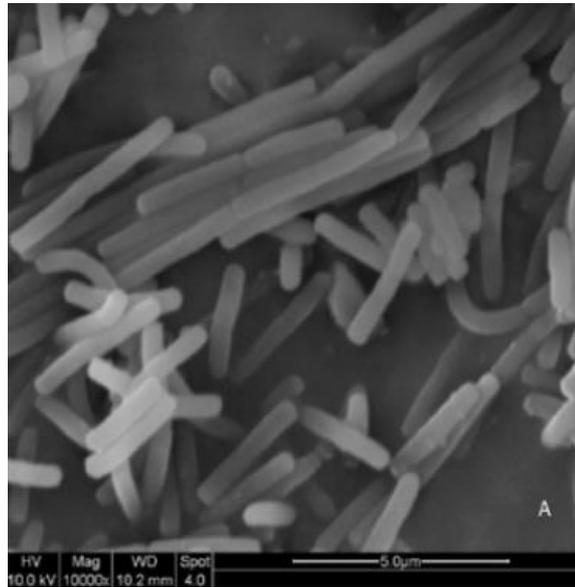
Fonte: Dubey, Ben-Yehuda (2011).

Pesquisas demonstram que a utilização dessa bactéria na inoculação de sementes promove melhorias na produtividade e em características agrônômicas de plantas. Costa *et al.*, (2019), por exemplo, utilizaram diferentes doses de dois produtos à base de *B. subtilis* em sementes de soja e ao final do experimento os resultados indicaram efeitos positivos no índice de clorofila, volume de raízes e massa seca da parte aérea das plantas com a aplicação dos produtos.

3.3.3 *Bacillus licheniformis*

Bacillus licheniformis é uma bactéria gram-positiva distribuída amplamente no ambiente (Figura 5), sendo um microrganismo anaeróbio facultativo e possuindo características semelhantes ao *B. subtilis* (REY, *et al.*, 2004).

Figura 5 - Microscopia eletrônica de varredura de *Bacillus licheniformis* (Aumento de 10.000x).



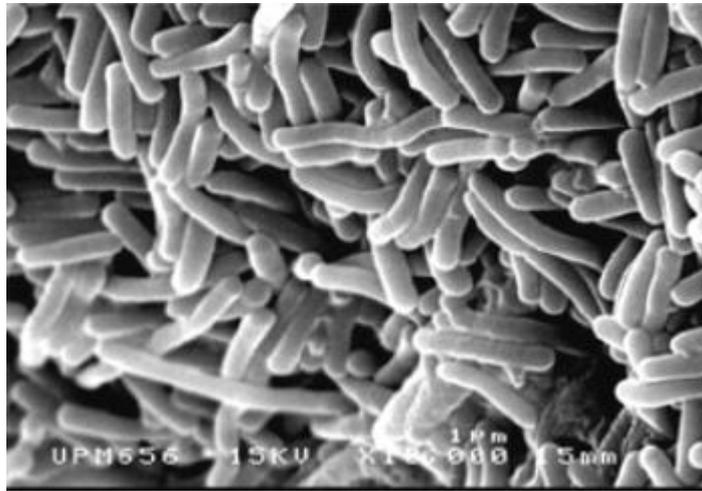
Fonte: Niu *et al.* (2009).

É uma bactéria que é utilizada na produção de detergentes, probióticos e em produtos para o combate de nematóides do solo, como o Quartzo® e o Presence®, os quais contêm também em suas composições *B. subtilis* (MONNERAT *et al.*, 2020). Lima, Costa e Arpini (2018) avaliaram os efeitos do nematicida biológico Quartzo® e verificaram que o mesmo apresentou efeitos positivos no combate de nematóides, o que torna esse microrganismo uma opção para a aplicação em condicionadores para verificar seus efeitos benéficos no desenvolvimento de plantas.

3.3.4 *Bacillus pumilus*

A *Bacillus pumilus* é uma bactéria gram-positiva aeróbica e produtora de esporos (Figura 6), que possui a capacidade de inibir o desenvolvimento de patógenos na superfície foliar e ativar o sistema de defesa da planta através da produção de diferentes substâncias, (D'AGOSTINHO; MORANDI, 2009; SANTOS, 2017). Entre as substâncias produzidas estão os hormônios vegetais auxinas e giberelinas, que estimulam o crescimento de plantas, (GUTIÉRREZ-MAÑERO *et al.*, 2001), podendo influenciar a produtividade.

Figura 6 - Microscopia eletrônica de varredura de *Bacillus pumilus*
(Aumento de 10.000x).



Fonte: Ariffin *et al.* (2006).

3.4 Enzimas como indicadores da qualidade microbiológica do solo

A qualidade do solo está estreitamente ligada a uma diversidade de fatores químicos, físicos e biológicos que juntos atuam nos processos biogeoquímicos, servindo como indicadores da qualidade do solo (DORAN; PARKIN, 1994). Entre os fatores biológicos estão as enzimas, que são produzidas por animais, microrganismos e pelas raízes de plantas e são responsáveis por realizar a reciclagem de nutrientes e participar de reações bioquímicas (DICK; BREAKWELL; TURCO, 1996).

Alguns fatores que as tornam bons indicadores é sua alta sensibilidade ao manejo do solo e a facilidade dos procedimentos para sua determinação/quantificação quando comparados com análises químicas de solo (DICK, 1994).

Para sua sobrevivência, os microrganismos necessitam de fontes de carbono e energia, porém alguns substratos como proteínas, lipídeos e carboidratos possuem uma elevada massa molecular, o que dificulta sua passagem para o interior das células. Por isso, muitas enzimas são secretadas para o ambiente externo, degradando moléculas complexas e facilitando assim sua absorção. Há também aquelas enzimas que são liberadas no meio externo quando ocorre a morte dos microrganismos, ou seja, quando ocorre a lise celular e seu material citoplasmático é liberado (BALOTA *et al.*, 2013). Entre os diversos tipos de enzimas que estão

presentes no solo, as principais estão envolvidas na disponibilização de macronutrientes como C, N, S e P (Tabela 1) (TÓTOLA; CHAER, 2002).

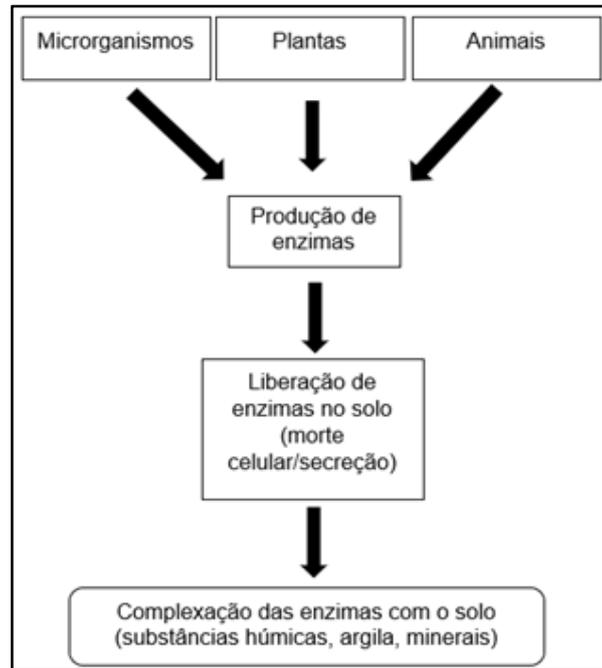
Tabela 1 - Principais enzimas presentes no solo e suas funções.

Enzimas	Funções
Arilsulfatases	Produz sulfatos (SO_4^{2-}) que é utilizado pelas plantas
β -glicosidases	Hidrolisam matéria orgânica utilizada pelos microrganismos
Ureases	Hidrólise de ureia em CO_2 e NH_3
Amidases	Mineralização do N liberando NH_4^+
Fosfatases	Produz PO_4^{3-} que é utilizado pelas plantas
Desidrogenases	Mensurar a população microbiana viável

Fonte: Dick; Breakwell; Turco (1996).

Quando as enzimas entram em contato com o solo, elas conseguem manter sua atividade ao se complexar com colóides orgânicos e inorgânicos, impedindo assim sua degradação (Figura 7). Isso ocorre porque no ambiente externo são glicosilados e formam ligações dissulfeto causando mudanças estruturais que garantem uma maior termoestabilidade em uma faixa ampla de pH e resistência a ação de proteases (ZHANG; TEN HAGEN, 2011).

Figura 7 - Origem das enzimas presentes no solo e sua localização.



Fonte: Adaptado de Balota *et al.* (2013)

Quando há essa complexação, sua atividade pode ser afetada, pois a acessibilidade ao substrato pode ser dificultada e seus sítios ativos também podem sofrer mudanças de conformação (ALLISON; JASTROW, 2006). Porém, essas enzimas estão presentes em maior quantidade na fração total de enzimas disponíveis no solo, e por isso tem um maior efeito no processo catalítico na degradação de substratos (BURNS *et al.*, 2013)

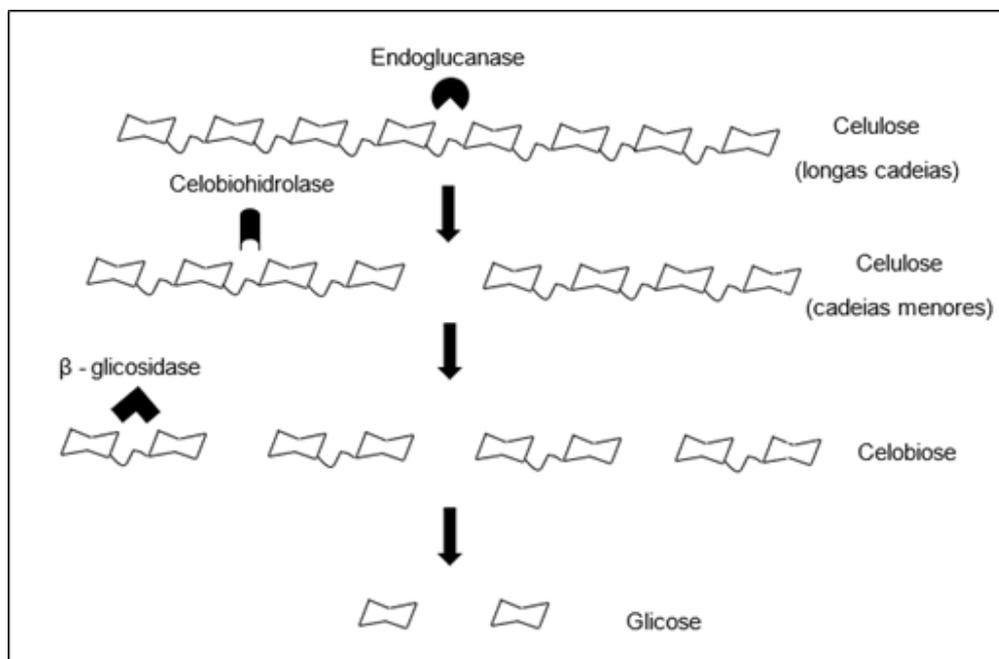
Durante a amostragem do solo, deve-se estar atento a profundidade do solo, pois a atividade enzimática diminui com o aumento da profundidade devido a diminuição de matéria orgânica e nutrientes químicos, o que afeta a atividade microbiana, por isso é recomendado a coleta de amostras a uma profundidade de 0-5 ou 0-10 cm (GARCIA; NAHAS, 2007). Além disso, é necessário estar atento ao tempo entre a coleta e a análise, pois o armazenamento por longos períodos podem causar a degradação das enzimas, influenciando os resultados finais (BALOTA *et al.*, 2013).

3.4.1 β -glicosidase

Glicosidases são enzimas encontradas em plantas, animais e microrganismos e são capazes de hidrolisar ligações glicosídicas disponibilizando monossacarídeos e dissacarídeos. São nomeadas de acordo com o tipo de ligações que elas hidrolisam, como por exemplo a α -glicosidase e β -glicosidase que catalisam a hidrólise de α -D-glicopiranosídeos e β -D-glicopiranosídeos, respectivamente (EIVAZI; TABATABAI, 1988).

Juntamente com outras duas enzimas, endoglucanase e celobiohidrolase, a β -glicosidase está envolvida no processo de degradação da celulose (Figura 8). A endoglucanase quebra ligações dentro da molécula de celulose de maneira aleatória e liberam unidades menores de celulose. A celobiohidrolase conhecida também como exoglucanase age nas extremidades dessas moléculas e liberam celobiose, formada por duas unidades de glicose. Por fim a celobiose é clivada pela enzima β -glicosidase, liberando assim moléculas de glicose no meio (TURNER, *et al.*, 2002; WRIGHT *et al.*, 1988).

Figura 8 - Processo de degradação da celulose.



Fonte: Adaptado de Wright *et al.* (1988).

A β -glicosidase é produzida por diversos microrganismos, incluindo o gênero *Bacillus* (CHEN, Z., *et al.*, 2017) e possui uma grande importância, pois a glicose liberada pela enzima é utilizada como fonte de energia pelos microrganismos do solo, aumentando assim a microbiota, o que afeta diretamente a qualidade do solo (EIVAZI; TABATABAI, 1988). Devido a isso, a β -glicosidase pode fornecer uma noção de como está a concentração de carbono no solo.

A atividade da β -glicosidase sofre variação de acordo com a disponibilidade de matéria orgânica. Em solos utilizados de modo intensivo e que são frequentemente preparados ocorrem maiores perdas de matéria orgânica, reduzindo assim a atividade da β -glicosidase, o que gera uma redução em açúcares disponíveis para os microrganismos (MIRALLES *et al.*, 2012; STOTT *et al.*, 2010).

Estudos demonstraram que a aplicação de compostos orgânicos no solo aumenta a atividade da β -glicosidase quando comparados com solos tratados com fertilizantes sintéticos. Um estudo feito por Vinhal-Freitas *et al.*, (2010) verificou que a adição de um composto orgânico produzido a partir de resíduos domésticos ao solo aumentou significativamente a atividade enzimática da β -glicosidase em concentrações de 20 g kg⁻¹ de solo.

Outro estudo realizado por Chang, Chung e Tsai (2007) avaliou os efeitos de diferentes doses de compostos orgânicos e um fertilizante químico na população microbiana, nas propriedades químicas do solo e também na atividade enzimática, e seus resultados mostraram que houve um aumento linear da atividade enzimática da enzima β -glicosidase de acordo com as doses dos compostos orgânicos aplicados e uma diminuição da atividade enzimática nos solos tratados com fertilizante sintético.

4 METODOLOGIA

O solo utilizado no experimento foi coletado no município de Assis Chateaubriand-PR, com coordenadas 24°24'50.0" de latitude sul e 53°34'18.7" de longitude oeste e o condicionador de solo foi doado por uma empresa da região oeste do Paraná.

4.1 Preparo do solo e do condicionador utilizado

O solo foi homogeneizado e peneirado (2mm) e uma amostra foi separada para realizar uma análise físico-química e enzimática do solo, sendo avaliado a atividade enzimática da β -glicosidase.

A análise físico-química do solo utilizado no experimento foi realizada pelo laboratório PrimorLab - Análises Agroambientais, de acordo com a metodologia de Donagema *et al.*, (2011).

O condicionador de solo classe A utilizado no experimento foi produzido a partir da compostagem de resíduos agroindustriais e agropecuários como cinzas de caldeira, resíduos de incubatório, poda de árvores, resíduos de peixe entre outros. A análise-físico química foi realizada pelo laboratório PrimorLab seguindo a metodologia de Silva *et. al.*, (2009) através da digestão sulfúrica do material (MARRA, et al., 2020).

Após a conclusão do processo de compostagem dos resíduos, foram inoculados no condicionador soluções contendo 10^8 UFC mL⁻¹ de *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis* e *Bacillus pumilus*. A dose aplicada foi de 50 mL de cada inoculante para cada tonelada de condicionador, sendo feita com o auxílio de um pulverizador costal. Após a pulverização, o material foi revolvido com enxadas e posteriormente armazenado. Uma amostra desse condicionador colocada em um saco plástico transparente, sendo fechado e armazenado para ser utilizado no presente trabalho.

Antes da aplicação do condicionador inoculado nas sementes e no solo, foi realizada a contagem de microrganismos viáveis por meio do plaqueamento em meio sólido Luria-Bertani. Para isso, foi realizada inicialmente a diluição de 1 grama do condicionador em 9 mL de solução salina (0,85%) esterilizada, correspondendo à diluição 10^{-1} . Essa amostra foi diluída seriamente até diluição 10^{-7} . Aliquotas de 100 μ L de cada diluição foram plaqueadas e incubadas em estufa bacteriológica por 24

horas a 28°C. Após esse período, as mesmas foram submetidas à contagem de UFC g⁻¹.

4.2 Delineamento experimental e condução do experimento

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com dez tratamentos e cinco repetições, totalizando 50 unidades experimentais. Nos cinco primeiros tratamentos (T1-T5) foram adicionadas doses de condicionador diretamente em sementes de milho nas concentrações de 0; 210; 420; 840; 1680 g/60.000 sementes e nos outros cinco tratamentos (T6-T10) foram adicionadas doses de condicionador diretamente ao solo nas concentrações de 0; 2,5; 5,0; 7,6; 10,2 ton ha⁻¹ respectivamente (Tabela 2). Os valores foram convertidos de maneira mais próxima a realidade do produtor, e devido a isso, foram utilizadas as doses de condicionador para cada 60.000 sementes na aplicação feita diretamente na semente e em toneladas por hectare na aplicação feita diretamente no solo.

Tabela 2 - Concentrações aplicadas de condicionador nas sementes e no solo durante a condução do experimento.

Tratamento na semente	Concentração (g/60.000 sementes)
T1	0
T2	210
T3	420
T4	840
T5	1680
Tratamento no solo	Concentração (ton ha⁻¹)
T6	0
T7	2,5
T8	5,0
T9	7,6
T10	10,2

Fonte: Autoria própria (2021).

O experimento foi realizado em vasos de 0,55 dm³, semeando manualmente três sementes de milho por vaso a uma profundidade de 3 cm.

As sementes de milho para a realização do experimento foram o híbrido DKB265 PRO3[®] da empresa BAYER[™].

Nos tratamentos (T1-T5), as sementes de milho foram distribuídas em cinco sacos de polietileno, contendo 100 sementes em cada embalagem, e em seguida foram adicionados água destilada, condicionador de solo e uma solução de água com açúcar (0,1 g mL⁻¹) conforme a Tabela 3. As embalagens plásticas foram fechadas e agitadas, para haver uma melhor homogeneização e mantidas por uma hora em repouso. Para o cálculo das doses foi utilizado 60.000 sementes como base de cálculo. A solução de açúcar foi utilizada para melhorar a aderência do condicionador nas sementes (JUNIOR; HUNGRIA, 2000).

Tabela 3 - Quantidade dos componentes adicionados para cada 100 sementes de milho, de acordo com o tratamento.

Tratamentos	Água destilada (mL)	Solução de água com açúcar 0,1 (g/mL)	Dose de condicionador (g/100 sementes)
T1	4	1	0
T2	3,65	1	0,35
T3	3,3	1	0,7
T4	2,6	1	1,4
T5	1,2	1	2,8

Fonte: Autoria própria (2021).

Nos tratamentos (T6-T10), o condicionador de solo foi adicionado no solo conforme a Tabela 2, sendo realizado o cálculo da área do vaso para determinar as quantidades de condicionador que seriam adicionadas. Os componentes foram homogeneizados, colocados nos vasos e posteriormente as sementes de milho foram semeadas. As doses de condicionador foram baseadas na recomendação feita pelo fabricante, que indica uma aplicação de 4 a 6 ton. ha⁻¹. Diante disso foram aplicadas

doses maiores e menores que o recomendado para verificar a influência na atividade enzimática e no desenvolvimento inicial do milho.

Após o plantio das sementes, os vasos foram colocados em uma incubadora a uma temperatura de 25°C com um fotoperíodo de 16/8 horas dia/noite por 14 dias, sendo regados periodicamente para manter a umidade do solo.

4.3 Coleta e avaliação dos dados

Foram analisados ao final dos 14 dias a altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), comprimento da raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) e a atividade enzimática da enzima β -glicosidase.

4.3.1 Altura da planta, diâmetro do colmo e comprimento da raiz

A altura das plantas foi analisada com o auxílio de uma trena métrica, indo da base (superfície do solo) até a extremidade da última folha esticada verticalmente.

A avaliação do diâmetro de colmo do milho foi feita com o auxílio de um paquímetro graduado a uma distância de 1 cm do solo. O milho não possui um colmo totalmente esférico, por isso o ajuste do ângulo foi feito de maneira a sempre coletar o maior diâmetro.

Para medir o comprimento da raiz, as plantas foram retiradas cuidadosamente dos vasos juntamente com o solo para evitar possíveis quebras nas raízes, e foram lavadas para tirar todo o excesso de solo. Em seguida foram secas com papel toalha e colocadas em uma bancada para medir o comprimento com o auxílio de uma trena métrica.

4.3.2 Massa seca da parte aérea e massa seca da raiz

A parte aérea foi separada da raiz e ambos foram armazenados em sacos de papel identificados e colocados para secagem em estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de 65°C por 48 horas para atingir a massa constante e logo em seguida foram pesadas em balança analítica.

4.3.3 Atividade enzimática da β -glicosidase

Antes da realização do experimento, uma amostra do solo foi coletada para realizar a análise da atividade da β -glicosidase. Após a conclusão do experimento, o solo contido nos vasos foi homogeneizado de acordo com o tratamento para determinação da atividade enzimática.

As amostras foram levadas para o laboratório PrimorLab - Análises Agroambientais para realizar a análise da atividade enzimática da β -glicosidase, seguindo a metodologia proposta por Eivazi e Tabatabai (1988).

O método proposto consiste na incubação do solo com uma solução tamponada de MUB pH 6,0, contendo *p*-nitrofenol- β -D-glicopiranosídeo (PNG) a uma temperatura de 37°C por uma hora. Após esse período, é realizada a determinação colorimétrica do *p*-nitrofenol liberado pela reação das enzimas com o substrato (PNG) e os valores são calculados a partir de uma curva de calibração feita com concentrações conhecidas de *p*-nitrofenol.

4.4 Análise estatística

Os dados coletados referentes a AP, DC, CR, MSPA e MSR de todos os ensaios foram submetidos ao teste estatístico de Anderson-Darling utilizando o software Minitab 19.1, para verificação da normalidade dos dados. Após a verificação e comprovação que os dados eram normais, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a 95% de significância, utilizando o software Sisvar 5.8, e os dados que apresentaram diferença estatística significativa ($p < 0,05$) foram submetidos ao teste de regressão utilizando o software Sisvar 5.8 para interpretação dos resultados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados após a aplicação do condicionador de solo inoculado diretamente na semente e diretamente no solo foram submetidos a análise estática e para os resultados que apresentaram resultados significativos foram construídos gráficos de regressão. A atividade enzimática não foi submetida a análise estatística, pois não foram realizadas repetições das análises.

5.1 Composição do solo e do condicionador

De acordo com suas propriedades físico-químicas (Tabela 4), o solo utilizado no experimento continha em sua composição grandes concentrações de argila, favorecendo a complexação das enzimas e mantendo-as por mais tempo no solo (BALOTA *et al.*, 2013). O solo argiloso também favorece a retenção de nutrientes e água, sendo um solo mais produtivo quando comparado com um solo arenoso (CENTENO *et al.*, 2017). O solo utilizado no experimento tinha um pH ácido, no qual é responsável por afetar a disponibilidade de nutrientes para as plantas, o que pode afetar o seu desenvolvimento (CAIRES *et al.*, 2002).

Tabela 4 - Características físico-químicas do solo utilizado no experimento na profundidade de 0-20 cm.

Parâmetros	Teores	Unidade*
Cálcio (Ca)	5,99	cmol _c /dm ³
Magnésio (Mg)	2,14	cmol _c /dm ³
Potássio (K)	0,61	cmol _c /dm ³
Fósforo (P)	25,03	mg/dm ³
Acidez trocável (Al)	0,31	cmol _c /dm ³
Acidez potencial (H + Al)	6,41	cmol _c /dm ³
pH CaCl ₂	4,53	-
pH SMP	5,66	-
Carbono (C)	16,75	g/dm ³
Matéria orgânica (M.O)	28,88	g/dm ³
CTC _{efetiva} (t)	9,04	cmol _c /dm ³
CTC _{pH 7,0}	15,14	cmol _c /dm ³
Areia	18,24	%
Silte	30,51	""%
Argila	51,25	%

* cmol_c: centimol de carga. Fonte: Autoria própria (2021).

O condicionador utilizado no experimento possuía concentrações de diversos nutrientes essenciais para a planta (Tabela 5), além de conter uma alta concentração de carbono, o que torna o material uma boa fonte de matéria orgânica para os microrganismos presentes no solo. Além disso o condicionador possuía uma alta CTC, favorecendo a retenção de nutrientes catiônicos que são essenciais para o desenvolvimento das plantas (COOPER; *et al.*,2010), além de uma retenção de água elevada, o que aumenta a disponibilidade de água no solo. O condicionador possuía um pH próximo da neutralidade, sendo uma faixa de pH que favorece a disponibilização de nutrientes para as plantas (CAIRES *et al.*, 2002).

Tabela 5 - Características químicas do condicionador de solo utilizado no experimento.

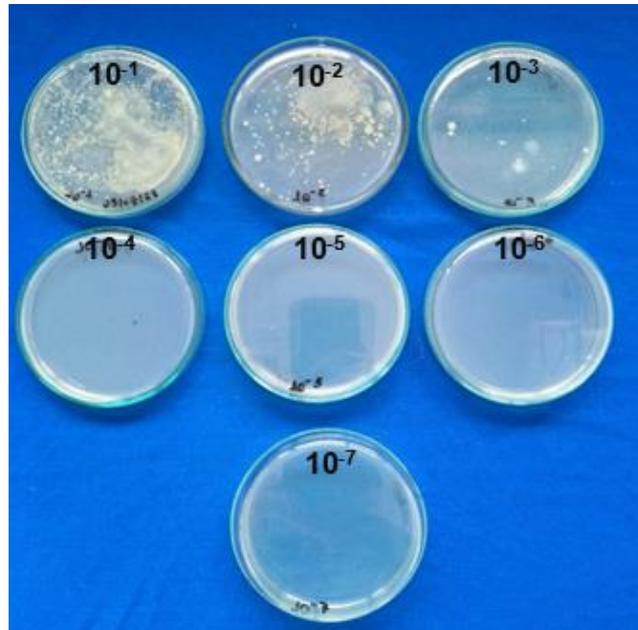
Parâmetros	Teores	Unidade
Nitrogênio Total	1,9	%
Fósforo Total	3,0	%
Potássio Total	1,9	%
Cálcio Total	7,5	%
Magnésio Total	1,0	%
Cobre Total	0,05	%
Manganês Total	0,5	%
Ferro Total	0,01	%
Zinco Total	0,1	%
Carbono Orgânico Total	18,0	%
Capacidade de Retenção de água	110,0	%
Capacidade de Troca Catiônica	230,0	cmol _c /dm ³
pH	6,8	-

Fonte: Marra *et al.* (2020).

5.2 Microrganismos viáveis no condicionador

Nas diluições de 10^{-1} e 10^{-2} houve o crescimento de muitas colônias, o que impossibilitou a contagem. A diluição de 10^{-3} apresentou um número de 106 colônias, e, portanto, foi a diluição escolhida para contagem, obtendo-se o valor final de 10^6 UFC g⁻¹, sendo uma concentração de microrganismos inferior a inoculantes encontrados no mercado, que devem estar na concentração de no mínimo 10^9 UFC g⁻¹ (BRASIL, 2011). Isso ocorreu, pois, a inoculação foi realizada no condicionador e após essa etapa a contagem foi realizada, podendo ter ocorrido a morte de microrganismos ao entrar em contato com o condicionador. Nas diluições de 10^{-4} em diante não houve o crescimento de colônias (Figura 9).

Figura 9 - Crescimento dos microrganismos nas placas contendo diferentes diluições do condicionador de solo.



Fonte: Autoria própria (2021).

5.3 Tratamento na semente

Os valores médios dos dados coletados após a execução do experimento estão na Tabela 6. Em relação a AP, os melhores resultados foram obtidos no T2, T3 e T5 com valores de 30,12 cm, 29,24 cm e 29,28 cm respectivamente. Para o DC, houve um aumento do diâmetro de acordo com o tratamento, com maior valor no T4 de 2,42 mm. Em relação ao CR, os melhores resultados foram obtidos no T5, com comprimento de raiz de 27,13 cm. A MSPA teve melhores resultados no T1, com 76,93 mg e a MSR teve melhores resultados em T1 e T4 com 154,22 mg e 153,20 mg respectivamente.

Tabela 6 - Valores médios da altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), comprimento da raiz (CR), matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria fresca da raiz (MFR) e matéria seca da raiz (MSR) em função das doses de condicionador aplicado na semente (T1-T5).

TRAT	AP (cm)	DC (mm)	CR (cm)	MSPA (mg)	MSR (mg)
T1	25,75 ± 4,96	2,08 ± 0,16	22,88 ± 5,03	76,93 ± 33,78	154,22 ± 41,96
T2	30,12 ± 3,13	2,17 ± 0,17	23,86 ± 2,82	75,98 ± 11,13	119,6 ± 22,82
T3	29,24 ± 2,66	2,29 ± 0,24	21,63 ± 4,00	66,82 ± 9,57	124,43 ± 27,66
T4	27,91 ± 3,41	2,42 ± 0,28	25,32 ± 2,90	63,51 ± 11,83	153,20 ± 39,92
T5	29,28 ± 3,37	2,32 ± 0,23	27,13 ± 4,71	71,36 ± 13,84	126,91 ± 18,37

Fonte: Autoria própria (2021).

Na Figura 10 é possível observar o desenvolvimento do milho 14 dias após o plantio de acordo com as diferentes doses de condicionador aplicados nas sementes, na qual é possível observar um aumento no CR conforme o tratamento, sendo maior no T5, conforme os dados observados na Tabela 6. Porém as raízes estão mais concentradas na parte superior, influenciando nos valores de massa seca da raiz. Por isso há um comportamento diferente quando se compara o CR e a MSR.

Figura 10 - Desenvolvimento do milho de acordo com as diferentes doses de condicionador aplicados na semente em que T1: (0 g de condicionador/60.000 sementes); T2: (210 g de condicionador/60.000 sementes); T3: (420 g de condicionador/60.000 sementes); T4: (840 g de condicionador/60.000 sementes); T5: (1680 g de condicionador/60.000 sementes).



Fonte: Autoria própria (2021).

Na Tabela 7 é apresentado o resumo da análise de variância para as variáveis resposta estudadas em relação às características agronômicas do milho. Por meio da análise de variância, encontrou-se resultados significativos para o diâmetro do colmo (DC), comprimento da raiz (CR) e massa seca da raiz (MSR) ao nível de significância de 5%, diferenças que também podem ser observadas na Figura 10.

Tabela 7 - Resumo da análise de variância para as variáveis altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), comprimento da raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) em função da aplicação do uso de condicionador na semente (T1-T5).

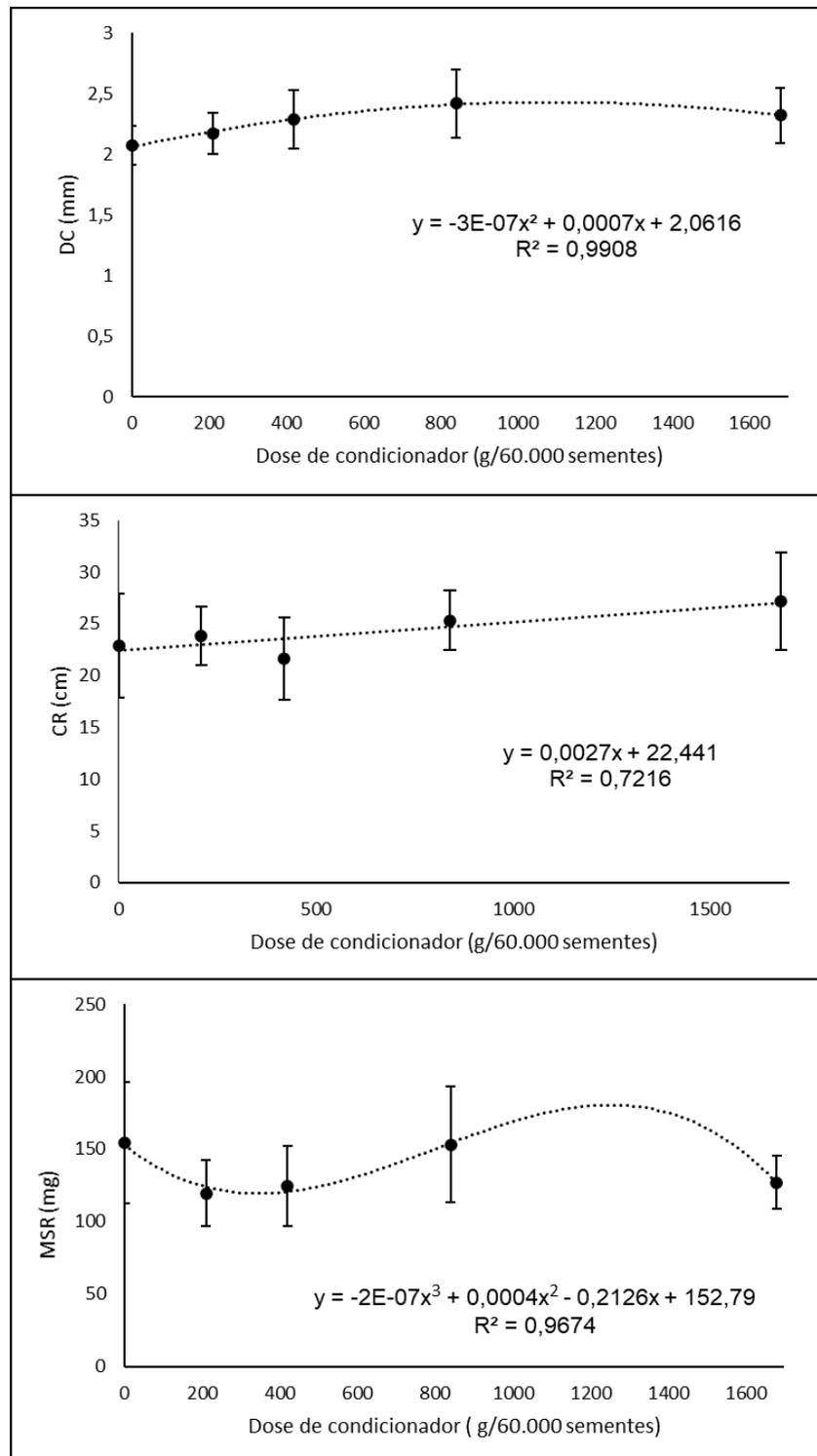
FV	G. L	Quadrados médios				
		AP (cm)	DC (cm)	CR (cm)	MSPA (mg)	MSR (mg)
Trat.	4	29,21 ^{ns}	0,18*	45,74*	334,09 ^{ns}	2781,81*
Erro	45	12,89	0,05	15,97	337,61	995,50
Média	-	28,46	2,26	24,16	70,92	135,67
C.V (%)	-	12,61	9,72	16,54	25,91	23,26

FV = Fontes de variação; G.L = Graus de liberdade; Trat. = tratamentos; C.V = Coeficiente de Variação; ^{ns} = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Aatoria própria (2021).

Por meio da análise de variância, encontrou-se resultados significativos para a diâmetro do colmo (DC), comprimento da raiz (CR) e massa seca da raiz (MSR) ao nível de significância de 5%, ou seja, os tratamentos apresentaram diferença entre si. No entanto através da análise estatística (ANOVA) não é possível identificar em quais tratamentos houve a diferença, por isso foi realizada uma análise de regressão e os melhores modelos foram determinados (Figura 11). As equações obtidas pela regressão podem ser utilizadas então para estimar as melhores concentrações de condicionador que podem ser aplicadas nas sementes. Os parâmetros AP e MSPA não apresentaram diferença entre os tratamentos, indicando que todos apresentaram valores muito semelhantes.

Figura 11 - Gráficos de regressão do diâmetro do colmo (DC), comprimento da raiz (CR) e massa seca da raiz (MSR) para as diferentes doses de condicionador aplicado nas sementes.



Fonte: Autoria própria (2021).

Conforme a Figura 11, o diâmetro do colmo foi influenciado pelas diferentes doses de condicionador utilizadas, com o melhor resultado observado no tratamento T4 (840 g de condicionador/60.000 sementes). Esse comportamento pode ser função da produção de substâncias pelos microrganismos inoculados, como foi observado por Gutiérrez-Mañero *et al.*, (2001), que realizaram um estudo com *B. pumilus* e *B. licheniformis* isolados da rizosfera de amieiro (*Alnus glutinosa* [L.] Gaertn.) e detectaram quantidades relativamente altas do hormônio giberelina produzida pelos microrganismos, sendo uma substância que induz o alongamento do caule das plantas. Outro estudo feito por Neto *et al.*, (2014) também obtiveram melhores resultados no diâmetro do colmo de milho com a utilização de bioestimulantes contendo giberelinas. No entanto, no tratamento T5 (1680 g de condicionador/60.000 sementes), houve uma diminuição no diâmetro do colmo devido a alta dose de condicionador inoculado presente ao redor da semente, sendo uma dosagem que pode ter sido tóxica para a planta. O colmo possui a função de armazenar sólidos solúveis que serão utilizados pela planta para a formação de grãos nos estágios posteriores, de forma que maiores colmos indicam uma maior produção de grãos e conseqüentemente uma maior produtividade (BRITO, *et al.*, 2014), por isso se torna um parâmetro importante na avaliação do desenvolvimento da planta.

O comprimento da raiz apresentou valores crescentes conforme a dose aplicada de condicionador, apresentando melhor resultado no tratamento T5. De acordo com Trevisan *et al.*, (2010), o hormônio auxina produzido pelas plantas é estimulado na presença de ácidos húmicos que estão presentes nos condicionadores, e isso contribui para o crescimento do sistema radicular, sendo um possível fator responsável pelos resultados observados no presente trabalho. Além disso, os microrganismos inoculados são responsáveis pela produção de substâncias que induzem o desenvolvimento radicular, como observado por Ravari e Heidarzadeh (2013) que isolaram *Bacillus spp.* presentes na rizosfera de trigo e do tomate e verificaram que as cepas isoladas produziram auxinas em testes *in vitro*. Posteriormente avaliaram o efeito da inoculação dessas bactérias no desenvolvimento do trigo, obtendo resultados significativos relacionados ao comprimento da raiz quando comparados ao tratamento controle que não foi inoculado.

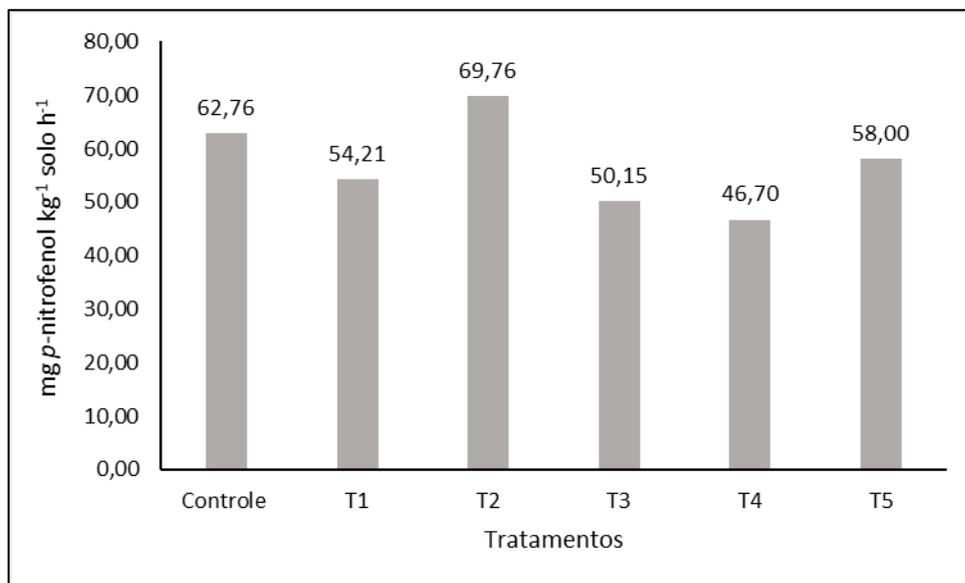
Para a massa seca da raiz, os melhores valores foram obtidos nos tratamentos T1 e T4, porém não houve um comportamento semelhante ao observado no comprimento da raiz, devido ao possível crescimento das raízes ocorrer de maneira

não uniforme durante a duração do experimento, conforme observado na Figura 10, onde o T1 apresentou um menor CR, porém possuía uma alta concentração de raízes próximo as raízes. Avaliar os parâmetros associados as raízes são importantes, pois elas são responsáveis por manter a planta fixa no solo, além de serem responsáveis pela absorção de água e nutrientes presentes no solo e fornecer para a planta, garantindo assim um melhor desenvolvimento (ALMEIDA, M; ALMEIDA, C, 2014). Por isso, o comprimento e massa seca da raiz se tornam parâmetros importantes para verificação de como está o desenvolvimento da planta no solo.

Considerando todos os parâmetros avaliados a dose de 840 g de condicionador/60.000 sementes (tratamento T4) é a mais indicada para promover benefícios nas fases iniciais do desenvolvimento do milho.

Os valores da atividade enzimática da β -glicosidase no solo referentes aos tratamentos na semente são apresentados na Figura 12. A atividade enzimática do solo antes da implementação do experimento foi de 62,76 mg de *p*-nitrofenol kg^{-1} de solo h^{-1} .

Figura 12 - Atividade enzimática da β -glicosidase de acordo com o tratamento nas sementes em que T1: 0 g de condicionador/60.000 sementes; T2: 210 g de condicionador/60.000 sementes; T3: 20 g de condicionador/60.000 sementes; T4: 840 g de condicionador/60.000 sementes; T5; 680 g de condicionador/60.000 sementes.



Fonte: Autoria própria (2021).

De acordo com a Figura 12, ao final do experimento a atividade enzimática nos solos diminuiu, quando comparado ao início do experimento, com exceção do tratamento T2. Esse resultado pode estar relacionado com as condições de incubação dos vasos durante o experimento, que podem afetar a atividade enzimática, em especial a umidade, como descrito por Zhang e colaboradores (2011). Os autores avaliaram parâmetros cinéticos da β -glicosidase em diferentes tipos de solo e com diferentes graus de umidade e concluíram que a umidade foi um fator que influenciou diretamente na atividade da enzima. Além disso, esses resultados podem estar relacionados à baixa concentração de condicionador no solo, estando presente apenas em pequenas quantidades nas sementes, afetando a quantificação da atividade da enzima, pois a análise foi realizada com todo o solo presente nos vasos.

No entanto, em comparação com o tratamento T1, onde não foi realizada a adição do condicionador, os tratamentos T2 e T5 apresentaram valores superiores de atividade da β -glicosidase, indicando um possível efeito positivo na microbiota.

5.4 Tratamento no solo

Os dados coletados do tratamento no solo após a execução do experimento estão na Tabela 8. Em relação a AP, os melhores resultados foram obtidos no T6, T7 e T8 com valores de 28,78, 28,57 e 28,97 cm respectivamente, havendo uma diminuição da altura nos tratamentos T9 e T10. Para o DC, os tratamentos apresentaram valores próximos, com maior valor no T4 de 2,42 mm. Em relação ao CR, os melhores resultados foram obtidos em T8 e T9, com comprimento de raiz de 32,54 e 32,06 cm respectivamente. A MSPA teve melhores resultados no T8 e T9, com 70,46 e 69,64 mg respectivamente e a MSR teve melhores resultados em T5 com 145,14 mg.

Tabela 8 - Valores médios da altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), comprimento da raiz (CR), matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria fresca da raiz (MFR) e matéria seca da raiz (MSR) em função das doses de condicionador aplicado no solo (T6-T10).

TRAT	AP (cm)	DC (mm)	CR (cm)	MSPA (mg)	MSR (mg)
T6	28,78 ± 2,78	2,44 ± 0,20	27,35 ± 4,16	67,13 ± 14,13	104,54 ± 13,23
T7	28,57 ± 2,93	2,46 ± 0,25	26,72 ± 4,13	59,07 ± 14,43	117,52 ± 18,00
T8	28,97 ± 1,61	2,42 ± 0,27	32,54 ± 4,16	70,46 ± 13,40	110,61 ± 15,34
T9	26,39 ± 1,87	2,34 ± 0,28	32,06 ± 5,71	69,64 ± 10,59	127,83 ± 23,16
T10	25,43 ± 2,43	2,36 ± 0,33	28,30 ± 3,38	60,34 ± 11,69	145,14 ± 30,58

Fonte: Autoria própria (2021).

Na Figura 13 é possível observar o desenvolvimento do milho 14 dias após o plantio de acordo com as diferentes doses de condicionador aplicados no solo, na qual é possível observar maiores CR nos tratamentos T8 e T9, conforme os dados da Tabela 8. Porém como pode ser observado, as raízes estão mais concentradas na parte superior, havendo uma maior concentração nos T3, T4 e T5 influenciando os valores de massa seca da raiz. Devido a esse fator, há um comportamento diferente quando se compara o CR e a MSR.

Figura 13 - Desenvolvimento do milho de acordo com as diferentes doses de condicionador aplicadas no solo em que T6: (0 ton. de condicionador/ha); T7: (2,5 ton. de condicionador/ha); T8: (5,0 ton. de condicionador/ha); T9: (7,6 ton. de condicionador/ha); T10: (10,2 ton. de condicionador/ha).



Fonte: Autoria própria (2021).

Na Tabela 9 é apresentado o resumo da análise de variância para as variáveis resposta estudadas em relação às características agronômicas do milho na presença de diferentes doses de condicionador no solo, de modo a comparar quais tratamentos apresentaram alguma diferença entre si.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância para as variáveis altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC), comprimento da raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) em função do uso de condicionador no solo.

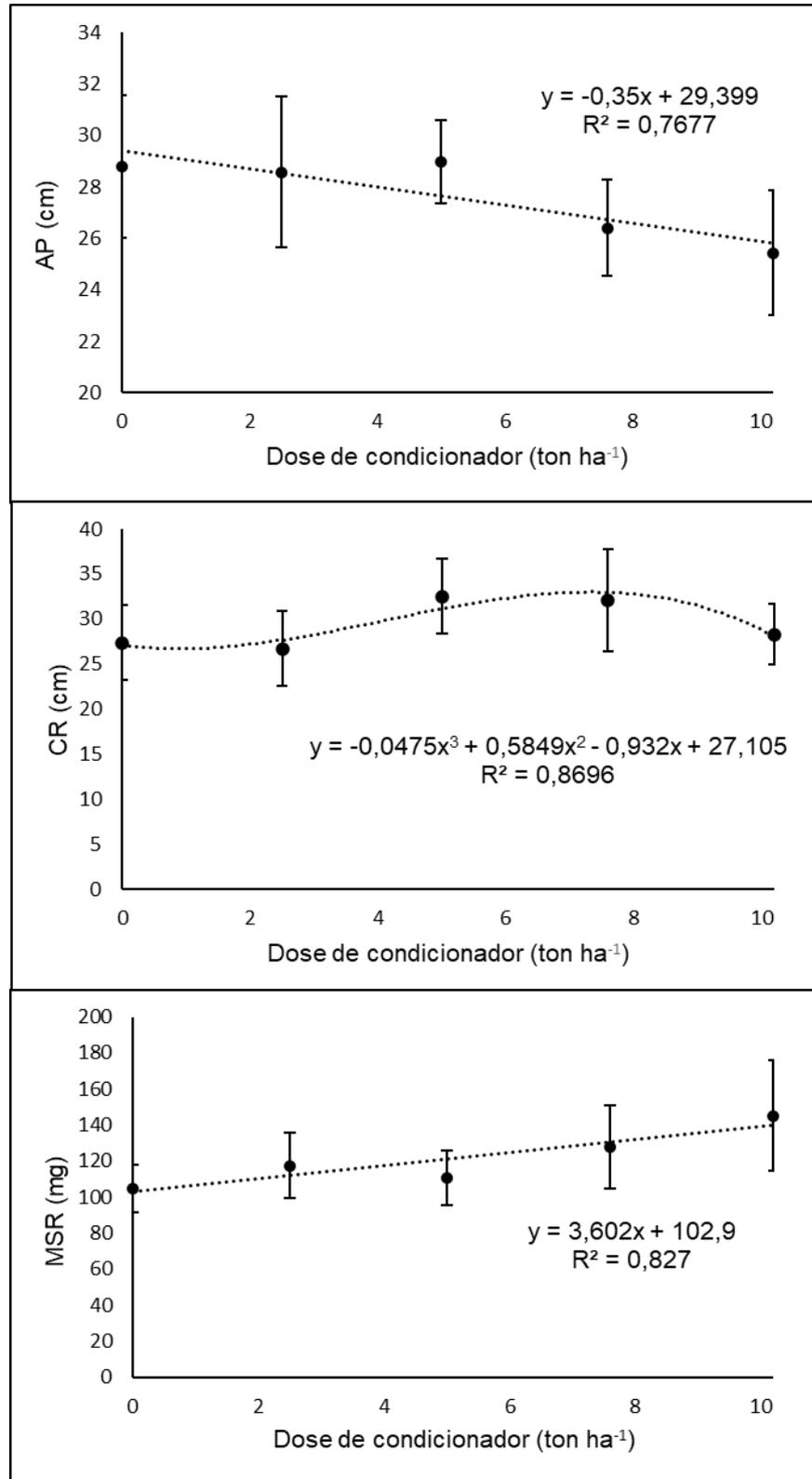
FV	G. L	Quadrados médios				
		AP (cm)	DC (cm)	CR (cm)	MSPA (mg)	MSR (mg)
Trat.	4	25,95*	0,03 ^{ns}	73,79*	280,55 ^{ns}	2550,75*
Erro	45	5,66	0,07	19,14	167,26	440,93
Média	-	27,63	2,40	29,39	65,33	121,13
C.V (%)	-	8,61	11,26	14,88	19,80	17,34

FV = Fontes de variação; G.L = Graus de liberdade; Trat. = tratamentos; C.V = Coeficiente de Variação; ^{ns} = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Aatoria própria (2021).

Por meio da análise de variância, encontrou-se resultados significativos para a altura da planta (AP), comprimento da raiz (CR) e massa seca da raiz (MSR) ao nível de significância de 5%, ou seja, os tratamentos apresentaram diferença entre si. No entanto através da análise estatística (ANOVA) não é possível identificar em quais tratamentos houve a diferença, por isso foi realizada uma análise de regressão e os melhores modelos foram determinados (Figura 14). As equações contidas nos gráficos de regressão podem ser utilizadas para estimar as melhores concentrações de condicionador que podem ser aplicadas no solo. Os parâmetros DC e MSPA não apresentaram diferença entre os tratamentos, ou seja, apresentaram valores muito semelhantes entre si.

Figura 14 - Gráficos de regressão da altura da planta (AP), comprimento da raiz (CR) e massa seca da raiz (MSR) para as diferentes doses de condicionador aplicado no solo.



Fonte: Autoria própria (2021).

A partir do gráfico de regressão para a altura da planta (Figura 14), é possível observar que conforme o aumento da concentração de condicionador no solo, a altura da planta foi influenciada negativamente, com tamanhos reduzidos quando comparados com o T6 que não continha o condicionador. Esse comportamento pode estar relacionado ao curto período de tempo no qual o experimento foi conduzido, pois de acordo com Bar-Tal *et al.*, (2004) um composto feito a partir da compostagem vai estabilizando o N no solo a médio e longo prazo, sendo absorvido pelas plantas e garantindo seu melhor desenvolvimento. Devido a isso, estudos com maiores períodos podem trazer resultados diferentes, assim como o observado por Araújo *et al.*, (2008), que avaliou o desenvolvimento de milho por dois cultivos sucessivos de 60 dias, sob a influência de lodo de curtume *in natura* e compostado e verificou que no primeiro plantio a altura da planta não sofreu influência do lodo compostado, devido a liberação mais lenta de N ao solo pelo material. Outro fator que pode ter influenciado a altura da planta negativamente é a alta concentração de condicionador no solo, principalmente no T9 e T10. Avaliar os parâmetros relacionados a parte aérea são importantes pois, as folhas são responsáveis por realizar a fotossíntese e transpiração das plantas de milho, de modo que um bom desenvolvimento inicial desses parâmetros pode indicar altas produtividades no final do ciclo (VIEIRA JUNIOR *et al.*, 2006; SOUZA *et al.*, 2016).

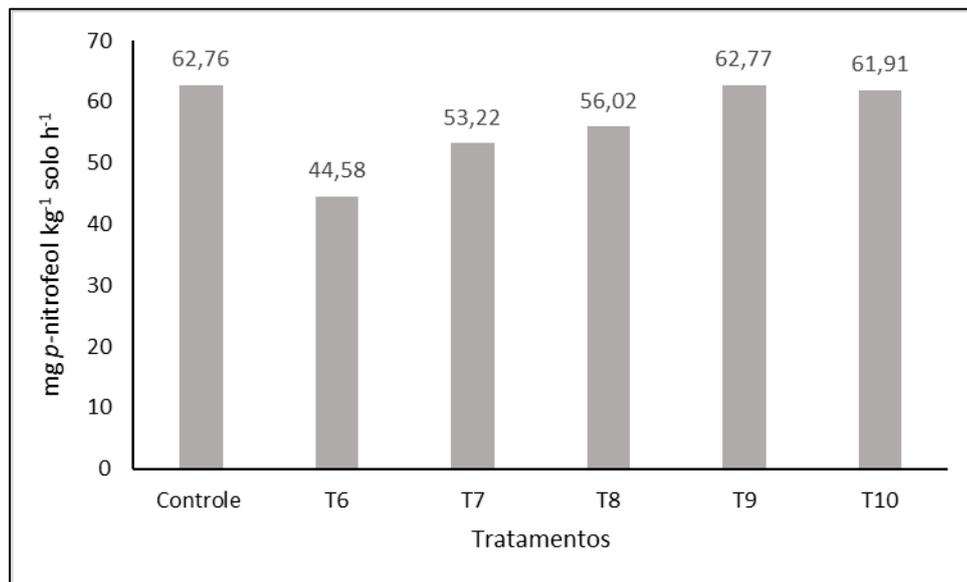
O comprimento da raiz apresentou um comportamento variável de acordo com a dose de condicionador aplicada, apresentando melhores resultados nos tratamentos T8 e T9, sendo que o T8 é a dose recomendada pelo fabricante do produto utilizado no trabalho. A massa seca da raiz apresentou um comportamento linear crescente variando de acordo com a dose de condicionador aplicado. Como condicionadores melhoram as propriedades físicas do solo, como a aeração (SHINDE; SARKAR; THOMBARE, 2019), isso pode ter favorecido o desenvolvimento das raízes, assim como a presença de ácidos húmicos influenciando a produção de auxinas pelas raízes da planta e pelos microrganismos inoculados (RAVARI; HEIDARZADEH, 2014; TREVISAN *et al.*, 2010).

As bactérias inoculadas também contribuíram para o melhor desenvolvimento das raízes, conforme o observado por Mena-Violante e Olalde-Portugal (2007), utilizando sementes de tomate inoculadas com um produto a base de *Bacillus subtilis* verificou melhores comprimentos e massa seca das raízes no tratamento inoculado

em comparação ao tratamento controle, demonstrando os efeitos benéficos que a utilização de microrganismos traz para o desenvolvimento de plantas.

Os valores da atividade enzimática da β -glicosidase referentes aos tratamentos no solo são apresentados na Figura 15. A atividade enzimática da β -glicosidase no solo antes da implementação do experimento foi de 62,76 mg de *p*-nitrofeol kg⁻¹ de solo h⁻¹.

Figura 15 - Atividade enzimática da β -glicosidase de acordo com o tratamento no solo em que T6: (0 ton. de condicionador/ha); T7: (2,5 ton. de condicionador/ha); T8: (5,0 ton. de condicionador/ha); T9: (7,6 ton. de condicionador/ha); T10: (10,2 ton. de condicionador/ha).



Fonte: Autoria própria (2021).

Nos tratamentos que o condicionador foi adicionado diretamente no solo, a atividade enzimática da β -glicosidase apresentou valores inferiores comparados ao início do experimento, porém em comparação com o tratamento T6, houve um aumento da atividade enzimática, possivelmente devido a uma maior disponibilidade de compostos orgânicos fornecidos pelo condicionador para os microrganismos presentes no solo e pela relação da enzima com o ciclo do carbono, conforme observado por De Varennes *et al.*,(2010), na qual verificaram um aumento da atividade enzimática da β -glicosidase em solos contendo diferentes concentrações de um composto feito a partir de resíduos municipais. No mesmo estudo, o tratamento

que não havia a adição do composto, a atividade enzimática observada foi afetada, apresentando valores inferiores.

De acordo com as Tabelas 6 e 7, que apresentam o resumo da análise de variância, os parâmetros AP, MSPA e MSR apresentaram melhores resultados (médias) ao se utilizar o tratamento na semente, enquanto que os parâmetros DC e CR foram maiores ao realizar o tratamento no solo. Dessa forma, o condicionador inoculado na semente influenciou uma maior quantidade de parâmetros da planta, tornando-se uma melhor opção de uso em relação a aplicação do condicionador diretamente no solo, considerando o desenvolvimento inicial das plantas. Trabalhos futuros poderão avaliar os efeitos da aplicação desse produto na produtividade do milho.

6 CONCLUSÃO

A aplicação do condicionador de solo classe A inoculado com microrganismos em sementes apresentou resultados promissores no desenvolvimento das plantas, influenciando positivamente o diâmetro do colmo e comprimento da raiz. A atividade enzimática da β -glicosidase nos solos que continham as sementes tratadas com o condicionador apresentou um aumento nos tratamentos T2 e T5, quando comparados com o tratamento T1 que não continha a presença do condicionador. Em relação ao tratamento no solo, os parâmetros influenciados positivamente pelo uso do condicionador inoculado foram o comprimento da raiz e massa seca da raiz, porém a altura da planta foi afetada negativamente com a utilização do condicionador. A atividade enzimática da β -glicosidase nos solos que continham diferentes doses do condicionador apresentaram um aumento, quando comparados com o tratamento T6, possivelmente devido a uma maior disponibilidade de compostos orgânicos fornecidos pelo condicionador para os microrganismos.

Baseado nos resultados deste trabalho, sugere-se que o desenvolvimento inicial de plantas é favorecido por meio da aplicação do condicionador de solo inoculado com *Bacillus* spp. nas sementes. Porém, em relação a atividade enzimática, os melhores resultados foram obtidos utilizando o condicionador inoculado diretamente no solo, devido a uma maior quantidade de material orgânico para os microrganismos presentes no solo. Para trabalhos futuros são recomendados realizar experimentos com uma maior duração e com a aplicação do condicionador de solo inoculado nas sementes e no solo de maneira associada, para verificar o desenvolvimento das plantas em diferentes estágios de crescimento e como a atividade enzimática será afetada ao longo de períodos maiores, bem como o efeito na produtividade da planta.

De acordo com os resultados obtidos, foi observado uma alteração da atividade enzimática de acordo com diferentes formas de aplicação do condicionador de solo inoculado. Dessa forma, os produtores devem estar atentos as manipulações feitas no solo quando são adicionados fertilizantes e adubos. Uma forma de verificar os impactos gerados por essas aplicações é através das análises de enzimas, realizadas pelos laboratórios de análise de solo. Com essas análises é possível monitorar a qualidade do solo da maneira correta, garantindo maiores produtividades e sua utilização adequada.

REFERÊNCIAS

- aGROW. **Quais os países que mais investem no agronegócio?**. Minas Gerais, 5 dez. 2017. Disponível em: <https://agrownegocios.com.br/blog/revendas/quais-os-paises-mais-investem-em-agronegocio>. Acesso em: 10 jun. 2021.
- AL-FAIYZ, Y. S. S. CPMAS 13C NMR characterization of humic acids from composted agricultural Saudi waste. **Arabian Journal of Chemistry**, 2013.
- ALLISON, S. D.; JASTROW, J. D. Activities of extracellular enzymes in physically isolated fractions of restored grassland soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, p. 3245-3256, 2006.
- ALMEIDA, M.; ALMEIDA, C. V. **Morfologia da raiz de plantas com sementes**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2014. 71 p. v. 1. Disponível em: <http://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/48>. Acesso em: 25 jun. 2021.
- ARAÚJO, F. F. *et al.* Desenvolvimento do milho e fertilidade do solo após aplicação de lodo de curtume e fosforita. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.5, p.507-511, 2008.
- ARIFFIN, H. *et al.* Production and characterisation of cellulase by *Bacillus pumilus* EB3. **International Journal of Engineering and Technology**, v. 3, n. 1, p. 47-53, 2006.
- BALOTA, E. L. *et al.* Enzimas e seu papel na qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 8, p. 221-278, 2013.
- BAR-TAL, A. *et al.* Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Uptake by Wheat and Their Distribution in Soil following Successive, Annual Compost Applications. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, p. 1855-1865, 2004.
- BERNABÉ, G. A. Comportamento térmico de lignina e celulose provenientes de resíduos do processo de compostagem. **VII Congresso Brasileiro de Análise térmica e calorimetria**. São Pedro, 2010.
- BERNAL, M. P. *et al.* Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 69, p. 175-189, 1998.
- BIDONE, F. A. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. FINEP/PROSAB, Brasília, 2001.
- BRASIL. Instrução Normativa SDA nº 13, de 24 de março de 2011. **Diário Oficial da União**, p.1-10, 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-35-de-4-7-2006-corretivos.pdf>. Acesso em 20 jun. 2021.

BRASIL. Instrução Normativa SDA nº 35, de 4 de julho de 2006. **Secretaria de Defesa Agropecuária**, p. 1-10, 2006. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-35-de-4-7-2006-corretivos.pdf>>. Acesso em 10 maio. 2021.

BRITO, C. F. B. *et al.* Desenvolvimento inicial do milho submetido a doses de esterco bovino. **Revista Verde**, v. 9, n. 3, p. 244-250, 2014.

BURNS, R. G. *et al.* Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 58, p. 216-234, 2013.

CAIRES, E. F. *et al.* Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 26, p. 1011-1022, 2002.

CENTENO, L. N. *et al.* Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4, n. 1, p. 31-37, 2017.

CHANG, E. H; CHUNG, R. S; TSAI, Y. H. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 53, p. 132-140, 2007.

CHEFETZ, B. *et al.* Chemical and Biological Characterization of Organic Matter during Composting of Municipal Solid Waste. **Journal of Environmental Quality**, v. 25, p. 776-785, 1996.

CHEN, X. H. *et al.* Comparative analysis of the complete genome sequence of the plant growth-promoting bacterium *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. **Nature biotechnology**, v. 25, n. 9, p. 1007-1014, 2007.

CHEN, Z. *et al.* Characterization of a beta-glucosidase from *Bacillus licheniformis* and its effect on biofocculant degradation. **AMB Express**, v. 7, n. 197, p. 1-7, 2017.

COOPER, M. *et al.* **Compostagem e Reaproveitamento de Resíduos Orgânicos Agroindustriais**: teórico e prático. Série Produtor Rural, Edição Especial. Piracicaba: USP/ESALQ, 2010. 35 p.

COSTA, L. C. *et al.* Desenvolvimento de cultivares de soja após inoculação de estirpes de *Bacillus subtilis*. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 7, n. 2, p. 126-132, 2019.

D'AGOSTINO, F.; MORANDI, M. A. B. **Análise da viabilidade comercial de produtos à base de *Bacillus subtilis* e *Bacillus pumilus* para o controle de fitopatógenos no Brasil**. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M.A.B (Ed.). Biocontrole de doenças de plantas: Uso e perspectivas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p. 299-316.

DE VARENNES, A. *et al.* Enzymatic activity of a mine soil varies according to vegetation cover and level of compost applied. **International Journal of Phytoremediation**, v.12, p.371-383, 2010.

DICK, R. P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. *In*: DORAN, J. W *et al.* **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, cap. 7, p. 107-124, 1994.

DICK, R. P; BREAKWELL, D. P; TURCO, R. F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. *In*: DORAN, J. W. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, cap.15, p. 247-271, 1996.

DONAGEMA, G. K. *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and Assessing Soil Quality. *In*: DORAN, J.W *et al.* **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, cap.1, p. 3-21, 1994.

DUBEY, G. P; BEN-YEHUDA, S. Intercellular Nanotubes Mediate Bacterial Communication. **Cell**, v. 144, n. 4, p. 590-600, 2011.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, n. 5, p. 601-606, 1988.

FIALHO, L. L. **Caracterização da matéria orgânica em processo de compostagem por métodos convencionais e espectroscópicos**. 2007. 170p. Tese (Doutor em Ciências - Química Analítica). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

GARCIA, M. R. L.; NAHAS, E. Biomassa e atividades microbianas em solo sob pastagem com diferentes lotações de ovinos. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 31, p. 269-276, 2007.

GULLO, M.J.M. **Uso de condicionador de solo a base de ácido húmico na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007, 59p.

GUTIÉRREZ-MAÑERO, F. J. *et al.* The plant-growth-promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus* and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. **Physiologia Plantarum**, v. 111, p. 206-211, 2001.

JUNIOR, E. R. D. *et al.* Alterações em propriedades de solo adubado com doses de composto orgânico sob cultivo de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 3, p. 546-549, 2006.

JUNIOR, O. B; HUNGRIA, M. Efeito de concentrações de solução açucarada na aderência do inoculante turfoso às sementes, na nodulação e no rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 24, p. 515-526, 2000.

KADAIKUNNAN, S. *et al.* *In-vitro* antibacterial, antifungal, antioxidant and functional properties of *Bacillus amyloliquefaciens*. **Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials**, v. 14, n. 9, p. 1-11, 2015.

LIMA, A. Y. V. **Condicionadores orgânicos e inorgânicos nas propriedades químicas de um solo arenoso**. 2019. 42 f. Monografia (Bacharel em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

LIMA, I. M.; COSTA, N. S.; ARPINI, B. S. **Controle de *Meloidogyne exigua* em cafeeiro arábica com uso de nematicida biológico Quartzo**. 2018.

MA, J.; LIB, X.; BAO, Y. Advances in cellulose-based superabsorbent hydrogels. **RSC Adv.**, v. 5, p. 59745-59757, 2015.

MARRA, B. M *et al.* Inoculação e sobrevivência de diferentes *Bacillus* spp. isolados e associados em condicionador de solo Classe A. In: TEÓFILO, T. M. S. **Meio Ambiente: Impacto do Convívio entre Vegetação, Animais e Homens**. Ponta Grossa: Atena Editora, cap. 6, p. 45-54, 2020.

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, p. 103-106, 2007.

MIRALLES, I. *et al.* Modifications of organic matter and enzymatic activities in response to change in soil use in semi-arid mountain ecosystems (southern Spain). **European Journal of Soil Science**, v. 63, p. 272-283, 2012.

MONNERAT, R. *et al.* Manual de produção e controle de qualidade de produtos biológicos à base de bactérias do gênero *Bacillus* para uso na agricultura. **Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia-Documentos (INFOTECA-E)**, 2020.

NETO, D. D. *et al.* Ação de bioestimulante no desempenho agronômico de milho e feijão. **Bioscience Journal**, v. 30, p. 371-379, 2014.

NIU, D. *et al.* High yield recombinant thermostable α -amylase production using an improved *Bacillus licheniformis* system. **Microbial Cell Factories**, v. 8, n. 58, p. 1-7, 2009.

PROVENZA, F. D.; VILLALBA, J. J. The role of natural plant products in modulating the immune system: an adaptable approach for combating disease in grazing animals. **Small Ruminant Research**, v. 89, n. 2-3, p.131- 139, 2010.

RAVARI, S. B; HEIDARZADEH, N. Isolation and characterization of rhizosphere auxin producing *Bacilli* and evaluation of their potency on wheat growth improvement. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 60, n. 7, p. 895-905, 2014.

REETZ, H. F. **Fertilizantes e seu uso eficiente**. São Paulo: ANDA, 2017. 178 p.

REY, M. W. *et al.* Complete genome sequence of the industrial bacterium *Bacillus licheniformis* and comparisons with closely related *Bacillus* species. --**Genome Biology**, v. 5, n. 10, p. 1-12, 2004.

Ronquim, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Embrapa Monitoramento por Satélite. Campinas, 2010.

SANTOS, M. P. **Produção e caracterização da xilanase de *Bacillus pumilus* e potencial uso na extração de xilana do bagaço de cana-de-açúcar pré-tratado**. 2017. 123 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, 2017.

SILVA, F. C. *et al.* **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

SILVA, M. C. A. P. **Impacto da inoculação com cepas da bactéria *Bacillus amyloliquefaciens* BV03 sobre os processos fisiológicos de soja exposta à seca**. 2019. 36 p. Monografia (Bacharel em Ciências Biológicas) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2019.

SHINDE, R.; SARKAR, P. K.; THOMBARE, N. Soil Conditioners. **Agriculture & Food: e-Newsletter**, v. 1, ed. 10, 2019.

SOUZA, E. C. *et al.* Crescimento de milho em latossolo com aplicação de água residuária de suinocultura. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 23, p. 369-376, 2016.

STOTT, D. E. *et al.* Evaluation of β -Glucosidase Activity as a Soil Quality Indicator for the Soil Management Assessment Framework. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 74, n. 1, p. 107-119, 2010.

TEJERA-HERNÁNDEZ, B.; ROJAS-BADÍA, M. M.; HEYDRICH-PÉREZ, M. Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. **Revista Cenic**, v. 42, n. 3, p. 131-138, 2011.

TÓTOLA, M. R; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 2, p. 195-276, 2002.

TRAUTMANN, N; OLYNCIW, E. Compost Microorganisms. In: CORNELL Composting, **Science & Engineering**, 2005.

TREVISAN, S. *et al.* Humic substances induce lateral root formation and expression of the early auxin-responsive IAA 19 gene and DR5 synthetic element in Arabidopsis. **Plant Biology**, v. 12, p. 604-614, 2010.

TURNER, B. L. *et al.* β -glucosidase activity in pasture soils. **Applied Soil Ecology**, v. 20, p. 157-162, 2002.

VAN DIJL, J. M; HECKER, M. *Bacillus subtilis*: from soil bacterium to supersecreting cell factory. **Microbial Cell Factories**, v. 12, n.3, p. 1-6, 2013.

VIEIRA JUNIOR, P. A.; NETO, D. D.; CICERO, S. M.; CASTRO, L. A.; MANFRON, P. A.; MARTIN, T. N. Estimativa da área foliar em milho através de análise de imagens. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, n.1, p.58-66, 2006.

VILELA, F. J. **Desenvolvimento de um Condicionador de Solos com valor agregado a partir da biomassa de *Magonia pubescens***. 2017. 91p. Tese (Doutor) - Instituto de Química da Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

VINHAL-FREITAS, I. C. *et al.* Microbial and enzymatic activity in soil after organic composting. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 757-764, 2010.

WRIGHT, J. D.; WYMAN, C. E.; GROHMANN, K. Simultaneous saccharification and fermentation of lignocellulose: Process evaluation. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 17, p. 75-90, 1988.

ZHANG, L.; TEN HAGEN, K. G. The cellular microenvironment and cell adhesion: a role for O-glycosylation. **Biochemical Society transactions**, v. 39, p. 378-382, 2011.

ZHANG, Y. *et al.* Kinetic parameters of soil β -Glucosidase response to environmental temperature and moisture regimes. **Revista brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, p.1285-1291, 2011.