

2026

# Influência do condicionador de solos nos atributos químicos, microbiológico e produtividade do milho segunda safra

Costa, Eduardo Almeida da

Universidade Estadual do Norte do Paraná

---

COSTA, Eduardo Almeida da. Influência do condicionador de solos nos atributos químicos, microbiológico e produtividade do milho segunda safra. Orientador: Marcos Augusto Alves da Silva. 2026. [60 f.] Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Campus Luiz Meneghel, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2026.

<https://ror.org/0261qja04>

*Baixado de Repositório Institucional UENP*



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRÔNOMIA-**  
**PGAGRO**

**Eduardo Almeida da Costa**

**INFLUÊNCIA DO CONDICIONADOR DE SOLOS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS,  
MICROBIOLÓGICO E PRODUTIVIDADE DO MILHO SEGUNDA SAFRA.**

**BANDEIRANTES, PR, BRASIL**  
**2026**

**Eduardo Almeida da Costa**

**INFLUÊNCIA DO CONDICIONADOR DE SOLOS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS,  
MICROBIOLÓGICO E PRODUTIVIDADE DO MILHO SEGUNDA SAFRA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PGAGRO), da Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel.

**Orientador:** Prof. Dr. Marcos Augusto Alves da Silva.

BANDEIRANTES, PR, BRASIL

2026

Ficha catalográfica elaborada na Biblioteca do Campus "Luiz Meneghel", vinculada ao Sistema de Bibliotecas  
Universitárias da Universidade Estadual do Norte do Paraná (SBU-UENP)

Catálogo-na-Publicação (CIP)

---

C8373i Costa, Eduardo Almeida da.  
Influência do condicionador de solos nos atributos químicos, microbiológico e produtividade do milho segunda safra. - 2026.  
1 arquivo digital.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Augusto Alves da Silva.  
Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Centro de  
Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Agronomia, 2026.  
Inclui bibliografia.

1. Condicionador de solo - Dissertação. 2. *Methylobacterium symbioticum* - Dissertação. 3. *Trichoderma asperellum* -  
Dissertação. 4. Ácido húmico - Dissertação. 5. Massa de mil grãos - Dissertação. 6. Massa seca da parte aérea - Dissertação. 1.  
Silva, Marcos Augusto Alves da Silva. II. Universidade Estadual do Norte do Paraná. Campus Luiz Meneghel. Centro de Ciências  
Agrárias. Programa de Pós-graduação em Agronomia. III. Título.

CDD: 631.4 (22.ed)

---

Eduardo Almeida da Costa

**INFLUÊNCIA DO CONDICIONADOR DE SOLOS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS,  
MICROBIOLÓGICO E PRODUTIVIDADE DO MILHO SEGUNDA SAFRA.**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Agronomia da Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Centro de Ciências Agrárias, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Linha de Pesquisa: Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcos Augusto Alves da Silva

**BANCA EXAMINADORA**

Dr. Mateus Marrafon Nicolosi (Membro Titular) ..... MAIS MÁQUINA

Prof. Dr. Oriel Tiago Kölln (Membro Titular) ..... UENP|CLM

Prof. Dr. Jethro Barros Osipe (Membro Suplente) ..... ESTAÇÃO DASHEN

Profa. Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto (Membro Suplente) ..... UENP|CLM

Data da defesa: 23 de fevereiro de 2026

---

Prof. Dr. Marcos Augusto Alves da Silva

(Orientador)

Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP)

PPAGRO | Campus Luiz Meneghel

### **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus.  
À minha família, pelo apoio incondicional em todos os momentos.

E a toda a comunidade agronômica, especialmente aos pesquisadores que, com dedicação e esforço, impulsionam a inovação e o futuro da agricultura. Espero que este pequeno trabalho possa contribuir, ainda que modestamente, para o avanço da área.

## **AGRADECIMENTOS.**

Agradeço, primeiramente, a Deus por todas as bênçãos concedidas, por me permitir chegar até aqui e por enviar o fogo do Espírito Santo para me guiar com sabedoria e proteger em todos os momentos desta caminhada.

Aos meus pais, Sr. José Aparecido da Costa e Sra. Joelma C. de A. da Costa, pelo apoio, incentivo e orientação que sempre me ofereceram, permitindo que eu me tornasse, a cada dia, uma pessoa melhor. Sua generosidade e os ensinamentos compartilhados comigo foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. À minha noiva, Vitória M. da Silva, por todo o apoio concedido, pelo esforço e pela dedicação para que eu pudesse chegar até este momento, acompanhando-me em cada etapa do desenvolvimento deste trabalho. E a toda a minha família, que sempre me apoiou ao longo desta trajetória.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcos Augusto Alves da Silva, e ao meu coorientador, Dr. Mateus Marrafon Nicolosi, expresso minha profunda gratidão. Sua orientação foi essencial para minha trajetória acadêmica. Agradeço por todos os ensinamentos, pelas contribuições e por terem me acolhido de braços abertos na realização deste sonho.

Ao professor Dr. Erich do Reis Duarte, registro minha profunda gratidão pelo apoio desde o momento em que compartilhei meu desejo de cursar o mestrado e por toda a orientação oferecida durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Dr. Diego Rodrigues Resende, Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto e Dr. Oriel Tiago Kölln, expresso minha sincera gratidão por todos os conselhos e pela disponibilidade em me atender sempre que necessário. As orientações concedidas foram de grande importância para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao estagiário Anderson A. dos Santos e à Esmeralda Aparecida Soares Garcia, minha profunda gratidão por todo o suporte oferecido para a realização das análises laboratoriais.

Ao meu grande amigo, Engenheiro Agrônomo e mestrando Matheus H. da Silva, expresso minha gratidão por toda a parceria desde o início, bem como pelo apoio e pela dedicação sempre demonstrados.

Aos amigos e profissionais Everaldo Bernardes Junior, Jean. Eliziário, Lucas Osmari, Marcos Y. Inoue e Paulo Guilherme R. de O. Ferreira, minha sincera gratidão por todo o apoio oferecido durante o desenvolvimento deste estudo.

Ao Shodji Alex Mogui, representante da Technes, agradeço por todo o apoio oferecido durante o desenvolvimento deste projeto.

Aos demais professores e amigos que fizeram parte desta caminhada, deixo minha

sincera gratidão pelos ensinamentos, pela dedicação e pelo apoio que, de diversas formas, contribuíram para minha formação e para a construção deste trabalho.

À CAPES, minha gratidão pela concessão da bolsa de mestrado, essencial para a realização desta pesquisa.

Este estudo só pôde ser desenvolvido graças à influência e ao apoio de todos que contribuíram da melhor forma possível. Sem vocês, eu jamais teria chegado até aqui.

Minha imensa gratidão por tudo.

Obrigado!

“Muito faz aquele que muito ama”  
- São Lucas.

COSTA, Eduardo Almeida. **Influência do Condicionador de Colos nos Atributos Químicos, Microbiológico e Produtividade do Milho Segunda Safra.** 2026. Dissertação de Mestrado em AGRÔNOMIA (PGAGRO)- Universidade Estadual do Norte do Paraná, *Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes*, 2026.

## RESUMO

Os condicionadores de solo desempenham um papel fundamental na agricultura moderna, pois contribuem para o melhor desenvolvimento das plantas e promovem melhorias na microbiota do solo, favorecendo uma rizosfera mais equilibrada e ativa. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de condicionadores de solo à base de turfa e ácidos húmicos na microbiologia e química do solo, e em nos parâmetros fitotécnicos da cultura do milho (*Zea mays* L.). O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), em quatro repetições. Os tratamentos foram: T1 - Testemunha; T2 - *Methylobacterium symbioticum*; T3 - 100 kg ha<sup>-1</sup> de condicionador granulado + *M. symbioticum*; T4 - 200 kg ha<sup>-1</sup> de condicionador granulado + *M. symbioticum*; T5 - 300 kg ha<sup>-1</sup> de condicionador granulado + *M. symbioticum*; T6 - 100 kg ha<sup>-1</sup> de condicionador em pó + *M. symbioticum*; T7 - 200 kg ha<sup>-1</sup> de condicionador em pó + *M. symbioticum*; T8 - 300 kg ha<sup>-1</sup> de condicionador em pó + *M. symbioticum*; T9 - 100 kg ha<sup>-1</sup> de condicionador em pó enriquecido com *Trichoderma asperellum* + *M. symbioticum*; T10 - 200 kg ha<sup>-1</sup> de condicionador em pó enriquecido com *T. asperellum* + *M. symbioticum*; e T11 - 300 kg ha<sup>-1</sup> de condicionador em pó enriquecido com *T. asperellum* + *M. symbioticum*. Na testemunha foi aplicada 300 kg ha<sup>-1</sup> de ureia, enquanto nos tratamentos contendo *M. symbioticum* houve redução de 30% na dose de ureia. Foram avaliados os seguintes parâmetros: altura de plantas, massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR), atributos microbiológicos, análise química do solo, massa de mil grãos (MMG) e produtividade final (kg ha<sup>-1</sup>). Observou-se que, o tratamento T11 com 300 kg de condicionador em pó + *Methylobacterium symbioticum* apresentou incremento de 1190,4 quilogramas por hectare em relação à testemunha. Além disso, todos os tratamentos com condicionadores de solo promoveram melhorias nos atributos microbiológicos do solo. Sendo assim, conclui-se que o condicionador de solo tem um papel importante e que o melhor tratamento quando comparado entre eles foram as que contém o condicionador de solo com pó enriquecido *Trichoderma asperellum* + *Methylobacterium symbioticum*.

**Palavras chaves:** Solos, *Zea mays*, microrganismos, Rizosfera, biológico.

COSTA, Eduardo Almeida **Influence of Soil Conditioner on Chemical and Microbiological Attributes and Yield of Second-Crop Corn**. 2026. Master's Dissertation in the Graduate Program in Agronomy (PGAGRO) – Northern Paraná State University, Bandeirantes, 2026.

## ABSTRACT

Soil conditioners play a fundamental role in modern agriculture, as they contribute to improved plant development and promote enhancements in soil microbiota, favoring a more balanced and active rhizosphere. In this context, the present study aimed to evaluate the efficiency of peat- and humic acid-based soil conditioners on soil microbiology and chemistry, as well as on the phytotechnical parameters of corn (*Zea mays* L.). The experiment was conducted in a randomized complete block design (RCBD) with four replications. The treatments were as follows: T1 – Control; T2 – *Methylobacterium symbioticum*; T3 – 100 kg ha<sup>-1</sup> of granulated conditioner + *M. symbioticum*; T4 – 200 kg ha<sup>-1</sup> of granulated conditioner + *M. symbioticum*; T5 – 300 kg ha<sup>-1</sup> of granulated conditioner + *M. symbioticum*; T6 – 100 kg ha<sup>-1</sup> of powdered conditioner + *M. symbioticum*; T7 – 200 kg ha<sup>-1</sup> of powdered conditioner + *M. symbioticum*; T8 – 300 kg ha<sup>-1</sup> of powdered conditioner + *M. symbioticum*; T9 – 100 kg ha<sup>-1</sup> of powdered conditioner enriched with *Trichoderma asperellum* + *M. symbioticum*; T10 – 200 kg ha<sup>-1</sup> of powdered conditioner enriched with *T. asperellum* + *M. symbioticum*; and T11 – 300 kg ha<sup>-1</sup> of powdered conditioner enriched with *T. asperellum* + *M. symbioticum*. In the control treatment, 300 kg ha<sup>-1</sup> of urea was applied, while in the treatments containing *M. symbioticum*, there was a 30% reduction in the urea dose. The following parameters were evaluated: plant height, shoot dry mass (SDM), root dry mass (RDM), microbiological attributes, soil chemical analysis, thousand-grain weight (TGW), and final yield (kg ha<sup>-1</sup>). It was observed that treatment T11, with 300 kg ha<sup>-1</sup> of powdered conditioner + *Methylobacterium symbioticum*, showed an increase of 1,190.4 kg ha<sup>-1</sup> compared to the control. Furthermore, all treatments with soil conditioners promoted improvements in soil microbiological attributes. Therefore, it can be concluded that soil conditioners play an important role, and the best treatment among those evaluated was the one containing powdered soil conditioner enriched with *Trichoderma asperellum* + *Methylobacterium symbioticum*.

**Keywords:** Soils; *Zea mays*; Microorganisms; Rhizosphere; Biological.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>16</b>
2.1 A cultura do milho.....	16
2.2 Exigência nutricional do milho .....	17
2.3 Condicionadores de solo .....	18
2.4 Granulometria .....	20
2.5 Microbiota do solo .....	20
2.6 Insumos biológicos.....	21
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
5.1 Caracterização da área.....	25
5.2 Avaliação.....	31
5.3 Atributos Microbiológicos do Solo.....	33
5.3.2 Determinação do Carbono Orgânico Total (COT) .....	34
5.3.3 Determinação da Biomassa de Carbono Microbiano (C_BMS) .....	34
5.3.4 Determinação da Respiração Basal do Solo (RBS) .....	36
5.3.5 Determinação do Quociente Metabólico do solo (qCO <sub>2</sub> ).....	37
5.3.6 Determinação do Quociente Microbiano (qMIC) .....	37
5.4.1 Determinação da Saturação por bases.....	39
5.6 Análise estatística dos dados .....	40
<b>6. RESULTADO E DISCUSSÃO. ....</b>	<b>41</b>
<b>7. CONCLUSÃO.....</b>	<b>49</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>50</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS

**DAE** – Dias após a Emergência  
**C\_BMS** - Biomassa de Carbono Microbiano  
**COT** - Carbono Orgânico total  
***q*MIC** - Quociente Microbiano  
***q*CO<sub>2</sub>** - Quociente Metabólico do Solo  
**RBS** - Respiração Basal do Solo  
**M.O.** – Matéria Orgânica do Solo  
**P** – Fósforo  
**Na<sup>+</sup>** - Sódio  
**K<sup>+</sup>**- Potássio  
**Ca<sup>2+</sup>** – Cálcio  
**Mg<sup>2+</sup>** – Magnésio  
**Al<sup>3+</sup>** – Alumínio  
**H+Al** – Acidez potencial  
**CTC** – Capacidade de Troca Catiônica  
**V%** - Saturação de Base  
**Kg** – Quilogramas  
**mm** - Milímetros  
**MSR** – Massa Seca das Raízes  
**MSPA** – Massa Seca da Parte Aérea  
**MMG** – Massa de Mil Grãos

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

<b>Tabela 01:</b> Distribuição dos tratamentos nas parcelas experimentais de acordo com a descrição e as respectivas dosagens aplicadas.....	25
<b>Tabela 02:</b> Análise química do solo na camada de 00,0–20,0 cm realizada previamente à instalação do experimento.....	26
<b>Tabela 03:</b> Análise química do solo na camada de 20,1–40,0 cm realizada previamente à instalação do experimento.....	27
<b>Tabela 04:</b> Análise dos atributos microbiológicos do solo no estágio fenológico VT (pendoamento) da cultura do milho.....	41
<b>Tabela 05:</b> Relação entre a altura de plantas e o diâmetro do colmo.....	44
<b>Tabela 06:</b> Avaliação das variáveis fitotécnicas da cultura do milho.....	45
<b>Figura 01:</b> Sistema de irrigação por aspersão utilizado na área experimental.....	24
<b>Figura 02:</b> Croqui da distribuição das parcelas experimentais na área de estudo.....	26
<b>Figura 03:</b> Distribuição das parcelas experimentais na área de estudo após o estaqueamento, evidenciando a delimitação das unidades experimentais antes da aplicação dos diferentes tratamentos com condicionadores de solo.....	28
<b>Figura 04:</b> Aplicação dos condicionadores de solo nas parcelas experimentais, realizada manualmente e distribuída em área total, conforme os tratamentos estabelecidos no delineamento experimental.....	29
<b>Figura 05:</b> Aplicação de <i>Methylobacterium symbioticum</i> na cultura do milho nas parcelas experimentais, conforme os tratamentos definidos no delineamento experimental.....	30
<b>Figura 06:</b> Avaliação do desenvolvimento da parte aérea (A 1 sendo T11 - Condicionador de solo pó enriquecido <i>Trichoderma asperellum</i> + <i>Methylobacterium symbioticum</i> e A 2 sendo T1 - Testemunha) e do sistema radicular (B 1 sendo T11 - Condicionador de solo pó enriquecido <i>Trichoderma asperellum</i> + <i>Methylobacterium symbioticum</i> e B 2 T1 - Testemunha) das plantas de milho durante as análises realizadas no experimento. ....	31
<b>Figura 07:</b> Determinação da massa seca da parte aérea das plantas de milho coletadas nas parcelas experimentais posterior secagem e quantificação da biomassa.....	32
<b>Figura 08:</b> Procedimentos de preparo das amostras de solo para análise: peneiramento das amostras (A) e amostras de solo coletadas nas parcelas experimentais (B).....	37

**Figura 09:** Processo de trilha das espigas de milho realizado para a separação e posterior quantificação dos grãos provenientes das parcelas experimentais.....39

**Figura 10:** Análise dos atributos químicos do solo por meio da análise de componentes principais (PCA).....42

## 1. INTRODUÇÃO

Na safra 2024/2025, o Brasil atingiu um novo recorde de produção, totalizando cerca de 350,2 milhões de toneladas de grãos até o fechamento do período em agosto. Dentre as principais culturas, o milho se destacou com uma produção aproximada de 139,7 milhões de toneladas, consolidando-se como uma das commodities de maior representatividade no agronegócio nacional, especialmente com o avanço da segunda safra (CONAB, 2025).

Para isso, a textura do solo em que o milho será cultivado também exerce grande influência sobre o seu desempenho, sendo que atualmente existem híbridos desenvolvidos especificamente para diferentes tipos de solo (EMBRAPA, 2021).

Os condicionadores de solo desempenham um papel complementar aos produtos biológicos, sendo fundamentais para o aumento da produtividade e sustentabilidade agrícola. Além de estimular a atividade biológica do solo, esses condicionadores contribuem significativamente para a melhoria de suas propriedades físicas e químicas (Maeda, 2021). Entre os mais utilizados, destacam-se os condicionadores à base de substâncias húmicas, que promovem a fertilidade do solo e a ciclagem de nutrientes, reforçando sua importância no manejo e conservação dos sistemas produtivos (Ebeling *et al.*, 2011).

Os agentes biológicos têm ganhado destaque no setor agrícola em função do seu papel na promoção da sustentabilidade dos sistemas de produção. Esses agentes auxiliam as plantas no controle de pragas e doenças, contribuem para o aumento da disponibilidade de nutrientes e estimulam o desenvolvimento vegetal. Em geral, esses produtos são constituídos por microrganismos, extratos vegetais ou compostos de origem natural e orgânica, atuando de forma integrada na melhoria do ambiente de cultivo (Lopes, 2018).

Os microrganismos presentes no solo exercem funções diversas, podendo ser benéficos ou prejudiciais ao sistema. Quando predominam os microrganismos benéficos, observa-se melhoria na estrutura e na saúde do solo, favorecendo processos como a ciclagem de nutrientes, a decomposição da matéria orgânica e a formação de agregados estáveis (EMBRAPA, 2021). Esses processos influenciam diretamente o desenvolvimento das culturas, promovendo maior eficiência na absorção de nutrientes e no crescimento radicular. A aplicação de produtos bioestimulantes intensifica essa atividade biológica, estimulando populações microbianas capazes de mineralizar nutrientes, solubilizar fósforo e produzir substâncias promotoras de crescimento vegetal. Como resultado, ocorre maior disponibilidade nutricional e melhoria das condições da rizosfera, refletindo positivamente no vigor e no desempenho das plantas (EMBRAPA, 2021)

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A cultura do milho

A agricultura brasileira é amplamente reconhecida pela sua relevância no cenário mundial, desempenhando um papel essencial na economia nacional. Em 2024, o setor agropecuário foi responsável por aproximadamente 23,2% do Produto Interno Bruto (PIB) do país, evidenciando sua importância para o desenvolvimento econômico (AGROINDÚSTRIA, 2025).

O milho (*Zea mays* L.) é uma planta pertencente à família das gramíneas (*Poaceae*) (Silva *et al.*, 2020). Acredita-se que sua domesticação tenha ocorrido há cerca de 9.000 anos no México, de onde se espalhou inicialmente pelas Américas. Na América do Sul, estima-se que tenha chegado há aproximadamente 6.500 anos, em uma forma mais primitiva. Evidências indicam que o milho evoluiu a partir do *teosinto*, dando origem à espécie cultivada atualmente (EMBRAPA, 2018).

Há milhares de anos, o milho tem desempenhado papel fundamental na alimentação de diversos povos, especialmente das populações indígenas. No Brasil, acredita-se que sua introdução tenha ocorrido a partir do sudoeste da Amazônia. Pesquisas recentes apontam a presença do milho no território brasileiro há cerca de 6.000 anos (Costa *et al.*, 2024).

Atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor de milho do mundo, ficando atrás dos Estados Unidos, que representam cerca de 31% da produção mundial da cultura, e da China, responsável por aproximadamente 24% da produção global (USDA, 2025). A cultura do milho é a segunda mais cultivada no país, sendo superada apenas pela soja. Além disso, trata-se de um dos grãos mais consumidos, constituindo matéria-prima essencial para a produção de rações animais (Souza *et al.*, 2024). Os estados de Mato Grosso, Paraná, Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais concentram mais de 70% da produção nacional de milho (IBGE, 2024).

A ampla adaptação do milho às diferentes condições climáticas e de solo permite sua semeadura em distintas épocas do ano. No Brasil, a cultura é dividida principalmente em duas safras: a primeira safra (ou safra de verão) e a segunda safra, conhecida como safrinha ou safra de inverno. Atualmente, a segunda safra é a mais representativa no cultivo do milho, com estimativa de produção de 109,6 milhões de toneladas, enquanto a primeira safra registrou cerca de 27,4 milhões de toneladas. Destaca-se o estado de Mato Grosso, responsável por aproximadamente 49% da produção nacional, colhendo em torno de 53,55 milhões de toneladas na safrinha (CONAB, 2025).

Entre os principais estados produtores, o Paraná também se destaca na produção de

milho. Nesse estado, a segunda safra é a que concentra a maior área cultivada e volume produzido (Tonin *et al.*, 2022). Na safra 2025, foram colhidos aproximadamente 15,9 milhões de toneladas do grão, enquanto a primeira safra registrou produção de cerca de 2,8 milhões de toneladas (OCEPAR, 2025).

Apesar do destaque do milho na produção nacional, alguns desafios têm se intensificado nos últimos anos. Entre eles, destacam-se o aumento da resistência de pragas e doenças, além de fatores relacionados ao sistema de cultivo adotado. Grande parte dos agricultores brasileiros utiliza o sistema de sucessão de culturas, com a soja na safra de verão e o milho na safrinha. Esse modelo, embora eficiente em termos produtivos, tem gerado preocupações quanto à qualidade e conservação do solo. Como a maior parte das áreas é cultivada sob o sistema de plantio direto, a repetição de cultivos semelhantes pode comprometer o equilíbrio do solo, resultando em redução da matéria orgânica, menor reciclagem de nutrientes e queda da atividade biológica (Contini *et al.*, 2019).

## **2.2 Exigência nutricional do milho**

Considerando os impactos do manejo e da sucessão de culturas sobre o solo, é essencial compreender a dinâmica de absorção e exportação de nutrientes pelo milho. A cultura absorve uma grande quantidade de nutrientes durante o seu ciclo, porém parte significativa permanece nos restos culturais. Estima-se que cerca de 66% do fósforo, 70% do nitrogênio, 60% do enxofre, 26% do potássio e 7% do cálcio sejam exportados pelos grãos (França *et al.*, 2006).

Diversos nutrientes desempenham papéis fundamentais no desenvolvimento da planta (Vidal *et al.*, 2024). O nitrogênio é essencial para o crescimento vegetativo e a síntese de proteínas; o potássio contribui para a resistência a doenças; o fósforo participa do desenvolvimento radicular e da maturação dos grãos; e o cálcio atua na rigidez das paredes celulares e na resistência estrutural. Além disso, os micronutrientes, mesmo exigidos em menores quantidades, são indispensáveis para o equilíbrio fisiológico e o bom desempenho da cultura (Coelho *et al.*, 2021).

Diante da importância dos nutrientes para o desenvolvimento e o desempenho da cultura, o milho apresenta altas exigências nutricionais para alcançar elevados níveis de produtividade. Para produzir entre 8 e 12 toneladas de grãos por hectare, a cultura necessita, em média, de aproximadamente 180 kg de nitrogênio (N), 90 kg de fósforo (P) e 70 kg de potássio (K) (SBCS/NEPAR, 2017).

Dentre os nutrientes essenciais ao desenvolvimento do milho, o nitrogênio destaca-se

por ser o mais demandado pela cultura, exercendo papel determinante no alcance de elevadas produtividades (Farinelli; Lemos., 2012). A absorção desse nutriente ocorre ao longo de todo o ciclo da planta, ainda que em diferentes intensidades, conforme o estágio fenológico (Troyjack *et al.*, 2018). No período compreendido entre os estádios de quatro a seis folhas, ocorre a diferenciação de importantes estruturas vegetativas e reprodutivas, as quais influenciam diretamente o potencial produtivo da cultura. Assim, essa fase é considerada crítica para o suprimento adequado de nitrogênio. A deficiência do nutriente nesse momento pode reduzir o número de óvulos formados nos primórdios da espiga, comprometendo a fecundação e, conseqüentemente, a formação dos grãos (Schröder *et al.*, 2000).

O solo deve ser corrigido de acordo com as exigências da cultura. No caso do milho, é necessário que a saturação por bases apresente valores superiores a 60%, garantindo condições adequadas para o desenvolvimento da planta. Sempre que esse índice estiver abaixo desse valor, torna-se indispensável a realização da correção da acidez do solo (Coelho *et al.*, 2021).

### **2.3 Condicionadores de solo**

Os condicionadores de solo podem ser classificados de diferentes maneiras, conforme regulamentações que consideram sua origem e finalidade de uso. De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2006), esses produtos são divididos em seis classes:

- Classe A: produtos fabricados a partir de matérias-primas de origem animal, vegetal ou de processos agroindustriais, sem a presença de componentes tóxicos, sendo permitida sua utilização na agricultura;
- Classe B: produtos provenientes de atividades industriais ou agroindustriais que contêm componentes tóxicos;
- Classe C: produtos à base de resíduos domiciliares, passíveis de uso agrícola;
- Classe D: produtos obtidos a partir de quaisquer tipos de resíduos sanitários, também podendo ser utilizados na agricultura;
- Classe E: produtos de origem exclusivamente mineral ou química;
- Classe F: produtos resultantes da combinação das classes A e E, destinados ao uso agrícola.

Esses condicionadores têm a capacidade de estimular a bioatividade do solo, promovendo melhor desenvolvimento das plantas (Garcia *et al.*, 2019). Entre os mais utilizados atualmente estão os condicionadores à base de substâncias húmicas e fúlvicas, que também

estão entre os mais estudados sendo classificados na classe A, E e F (Pereira *et al.*, 2024; Baldotto; Baldotto., 2014).

As substâncias húmicas são compostos orgânicos condensados, produzidos pela ação microbiana (Baldotto *et al.*, 2010). Existem algumas hipóteses que explicam o mecanismo de ação dos ácidos húmicos, sendo duas as principais. A primeira hipótese baseia-se na alteração da solubilidade do complexo húmico-metal, o que facilita a assimilação e absorção de nutrientes pelas plantas (Chen; Clapp; Magen., 2004). A segunda hipótese refere-se ao aumento da permeabilidade das membranas celulares, tornando-as mais acessíveis à entrada de íons e, conseqüentemente, melhorando a nutrição celular (Elhindi; Almaná; Al-Yafsi., 2023). Por fim, essa atividade estimula a síntese de ATP, gerando energia e o gradiente eletroquímico necessário para o funcionamento do sistema de translocação de íons e outros metabólitos envolvidos na absorção de nutrientes (Baldotto; Baldotto., 2014).

Os ácidos húmicos podem ser liberados em condições ambientais adequadas, como em função das variações de pH provocadas pelas raízes, o que favorece sua liberação na solução do solo (Rima *et al.*, 2011). Esses compostos estimulam o desenvolvimento e o metabolismo das plantas, atuando principalmente sobre o sistema radicular (Nardi *et al.*, 2002). Além disso, os ácidos húmicos apresentam efeitos semelhantes aos hormônios vegetais, promovendo o crescimento e a proliferação das raízes, o que resulta em maior eficiência na absorção de água e nutrientes. No estudo conduzido por Rima *et al.* (2011), observou-se um aumento de 126% no crescimento de raízes laterais e de 58% na área radicular, em comparação à testemunha.

Além disso, os ácidos húmicos têm a capacidade de auxiliar na ciclagem do fósforo no solo, atuando como transportadores de elétrons e, dessa forma, aumentando a disponibilidade desse nutriente para absorção pelas plantas (Baldotto; Baldotto., 2014).

Os efeitos das substâncias húmicas sobre as plantas podem ocorrer de forma direta ou indireta (Nardi *et al.*, 2002). Os efeitos indiretos estão relacionados ao fornecimento de nutrientes, ao aumento da população microbiana, à elevação da capacidade de troca de cátions (CTC) e à capacidade tampão de nutrientes no solo, à melhoria da estrutura do solo e ao fornecimento de compostos específicos que promovem o desenvolvimento vegetal. Já os efeitos diretos estão relacionados às modificações que essas substâncias podem exercer nos diferentes processos e rotas do metabolismo vegetal (Chen; Aviad; Nobili., 2010).

A regulação do metabolismo redox, ou seja, a transferência de elétrons entre substâncias, promovida pelos ácidos húmicos, induz um estado fisiológico de proteção nas plantas frente ao estresse hídrico (García *et al.*, 2014). Além disso, esses ácidos promovem um melhor desenvolvimento vegetal, contribuindo para o aumento da biomassa e para a

produtividade das culturas (Batista *et al.*, 2018).

Os ácidos húmicos e fúnicos, componentes orgânicos presentes no solo e em materiais orgânicos em decomposição, como húmus e turfa, também desempenham um papel fundamental na fertilidade do solo e na disponibilidade de nutrientes para as plantas (Ampong; Thilakarathna; Gorim., 2022).

## **2.4 Granulometria**

A granulometria dos condicionadores de solo pode ser um fator determinante para a velocidade com que seus componentes se tornam disponíveis para as plantas. Partículas de menor granulometria, como as formuladas em pó entre 0,2 e 0,5 mm, tendem a se dissolver mais rapidamente no solo, acelerando a disponibilização dos compostos ativos. Em contraste, partículas maiores, acima de 1,0 mm, apresentam dissolução mais lenta, exigindo maior tempo para serem totalmente disponibilizadas. Isso ocorre porque partículas maiores necessitam passar por um processo mais prolongado de decomposição para liberar seus componentes, ao passo que partículas finas possuem maior área superficial e, portanto, uma liberação mais rápida dos elementos benéficos para a cultura. (Paleckiene, Navikaite, Slinksiene., 2021).

Os condicionadores de solo na forma granulada costumam apresentar custo mais elevado, pois sua produção exige equipamentos específicos e maior complexidade no processo de granulação (Ohkouchi, Tsuji., 2022) No entanto, na prática agrícola, os grânulos são amplamente utilizados devido à facilidade de distribuição no campo, já que o material em pó tende a se dispersar com maior facilidade em função da ação do vento. Por esse motivo, muitos produtores optam por produtos com granulometria maior, mesmo com custo superior, visando maior uniformidade de aplicação e menor perda de material.

## **2.5 Microbiota do solo**

Sabe-se que os nutrientes desempenham papel fundamental no desenvolvimento e na produtividade das culturas, influenciando diretamente o metabolismo vegetal. Nesse contexto, os biofertilizantes, biorreguladores, bioativadores e bioestimulantes destacam-se como importantes insumos biológicos capazes de promover efeitos benéficos nas plantas, estimulando o desenvolvimento da comunidade microbiana do solo (Morzelle *et al.*, 2017).

A saúde do solo está intimamente relacionada à sua atividade biológica. Solos com adequada disponibilidade de nutrientes e manejo equilibrado de adubação tendem a apresentar

maior atividade microbiana, favorecendo os processos de ciclagem de nutrientes e o equilíbrio ecológico do ambiente edáfico. A avaliação da biomassa microbiana e da atividade enzimática constitui ferramenta essencial para determinar a qualidade biológica do solo, fornecendo parâmetros que refletem sua funcionalidade. Solos com maior atividade biológica apresentam, em geral, maior potencial produtivo. Para a realização da bioanálise do solo, recomenda-se a amostragem na camada de 0,0–0,10 m de profundidade, onde se concentra a maior parte da atividade microbiana (Mendes *et al.*, 2018).

A atividade da comunidade microbiana do solo é fortemente influenciada pelas condições químicas do ambiente edáfico. Alterações no pH e na disponibilidade de nutrientes podem exercer efeitos diretos sobre essa comunidade, enquanto a presença de elementos tóxicos pode afetá-la indiretamente, comprometendo a dinâmica e a funcionalidade microbiana (Ferreira *et al.*, 2017).

Existem diferentes grupos de microrganismos presentes no solo, podendo ser benéficos ou prejudiciais às culturas (Oliveira *et al.*, 2022). Os microrganismos multifuncionais são considerados benéficos, pois atuam por meio de mecanismos diretos e indiretos, desempenhando papéis importantes no sistema solo-planta. Além de representarem uma alternativa tecnológica sustentável, esses organismos contribuem para a promoção do crescimento vegetal e para a melhoria da eficiência de uso dos nutrientes (Resende *et al.*, 2021).

As interações entre os diferentes microrganismos do solo podem afetar diretamente a estrutura e o funcionamento da comunidade microbiana. Tais interações podem ser benéficas ou prejudiciais, influenciando o equilíbrio dinâmico entre as populações e determinando a composição qualitativa e quantitativa da comunidade. A manutenção desse equilíbrio é fundamental para a estabilidade e funcionalidade do ecossistema edáfico. Além disso, as práticas agrícolas adotadas podem alterar significativamente essas relações, impactando de forma direta a atividade microbiana e, conseqüentemente, a saúde do solo (Pereira *et al.*, 1999).

## **2.6 Insumos biológicos**

O uso de adubação nitrogenada é fundamental para a obtenção de elevada produtividade, porém está associado a custos significativos, principalmente quando aplicada na forma de ureia (Jardini *et al.*, 2025). Como alternativa ao uso convencional da ureia, têm sido desenvolvidas biotecnologias voltadas à disponibilização e utilização eficiente do nitrogênio (Oliveira *et al.*, 2024).

A bactéria *Azospirillum brasilense* foi identificada por volta de 1978, tendo sua

eficiência agrônômica comprovada em 2004 e o lançamento comercial de seu inoculante ocorrido em 2009 (Hungria, 2016). Essa espécie desempenha papel fundamental no estímulo ao crescimento vegetal. Pertencente ao gênero *Azospirillum*, vive em associação com as raízes das plantas e é reconhecida como uma das principais rizobactérias promotoras de crescimento (Burdman *et al.*, 2008). Entre seus mecanismos de ação, destacam-se a produção de substâncias promotoras de crescimento, como fitormônios, e a capacidade de realizar a fixação biológica de nitrogênio, contribuindo diretamente para a nutrição e o desenvolvimento das culturas (Fukami *et al.*, 2016).

Na cultura do milho, diversos experimentos com a inoculação de *Azospirillum brasilense* têm demonstrado aumentos significativos na produtividade, alcançando incrementos de até 25% no rendimento de grãos (Kennedy *et al.*, 2004). Essa bactéria possui a capacidade de romper a tripla ligação do nitrogênio molecular (N<sub>2</sub>) por meio da enzima dinitrogenase, convertendo-o em amônia (NH<sub>3</sub>), forma assimilável pelas plantas (Hungria, 2011).

Uma bactéria recentemente descrita e que vem ganhando destaque no mercado é a *Methylobacterium symbioticum*. Essa espécie apresenta a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico, contribuindo para o suprimento desse nutriente às plantas (Pascual *et al.*, 2020).

Estudos indicam que essa tecnologia pode suprir diferentes proporções da demanda de nitrogênio, variando conforme a cultura. De modo geral, essa contribuição pode oscilar entre 25% e 50% da necessidade de N das plantas. Na cultura do milho, observa-se que esse aporte pode superar 25% do nitrogênio requerido, evidenciando o potencial da fixação biológica como complemento nutricional (Vera *et al.*, 2025).

O processo de fixação ocorre por meio da colonização bacteriana via estômatos, permitindo que o microrganismo capte o nitrogênio atmosférico e o disponibilize à planta em formas assimiláveis. Recomenda-se que a aplicação seja realizada no estágio V4 da cultura, fase caracterizada por elevada atividade fotossintética e maior abertura estomática, condições que favorecem a colonização bacteriana e a eficiência da fixação biológica de nitrogênio (Jardini *et al.*, 2025).

Os fungos do gênero *Trichoderma* estão entre os microrganismos mais estudados como agentes de controle biológico e promotores do crescimento vegetal (Machado *et al.*, 2012). Além de combater patógenos presentes no solo que podem causar doenças nas plantas (Mukherjee *et al.*, 2022), esses fungos desempenham um papel fundamental na decomposição da matéria orgânica e na mineralização de nutrientes, tornando-os mais disponíveis para a planta. Um fator que contribui para a ampla proliferação de *Trichoderma* é seu rápido crescimento, característica que reforça sua eficácia como agente biológico (Lima *et al.*, 2023).

Ademais, o fungo também é capaz de auxiliar a planta na tolerância a estresses abióticos, como seca, salinidade e variações de temperatura (Hermosa *et al.*, 2012).

### **3. OBJETIVO**

#### **3.1 Objetivo geral**

Avaliar a eficiência de condicionadores de solo, com diferentes granulometrias, e do uso de microrganismos sobre a microbiota do solo e variáveis fitotécnicas da cultura do milho

#### **3.2 Objetivo específico**

Avaliar a eficiência dos condicionadores de solo, em razão das granulometrias e doses em razão dos parâmetros a seguir.

- Alterações na microbiota do solo ( $C_{BMS}$ , COT, RBS,  $qCO_2$ ,  $qMIC$ )
- Alterações nas propriedades químicas do solo nas camadas de 0,0–20,0 cm e 20,1–40,0 cm de profundidade;
- Avaliação de altura de planta, diâmetro de raiz, massa seca da raiz, massa seca da parte aérea, produtividade em sacas por hectare, massa de mil grão.

### **4. HIPÓTESES**

H0 - A utilização dos condicionadores de solo não promove melhorias nos parâmetros agronômicos, na microbiota do solo ou na química do solo.

H1 - A utilização dos condicionadores de solo promove melhorias nos parâmetros agronômicos, na microbiota do solo e na química do solo.

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Caracterização da área

O experimento foi conduzido na propriedade rural Sítio São José, localizada no bairro Yara, município de Bandeirantes, estado do Paraná, nas coordenadas geográficas -23.062434, -50.427847 e altitude de 460 metros acima do nível do mar. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho, típico da região. O clima local é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical úmido, segundo a classificação de Köppen-Geiger. A área experimental já possuía histórico agrícola, sendo anteriormente cultivada com milho, e apresentava preparo prévio para a sementeira.

A condução da cultura em campo teve seu início no dia 17 de dezembro de 2024 com a sementeira do milho e foi finalizada em 27 de abril de 2025, foi registrada uma precipitação acumulada de 463 mm no período. Ainda assim, houve a necessidade de suplementação hídrica por meio de irrigação. Para isso, aplicaram-se três lâminas de água de 10 mm cada, distribuídas entre os dias 27 de dezembro de 2024 e 20 de janeiro de 2025, utilizando o sistema de irrigação por aspersão. (Figura 1)

**Figura 1:** Sistema de irrigação por aspersão utilizado na área experimental.



Fonte: do autor, 2025

O experimento foi implantado em uma área total de 792 m<sup>2</sup>, composta por parcelas de 3 metros de largura por 6 metros de comprimento (Figura 2)

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (DBC), composto por 11 tratamentos e 4 repetições, totalizando 44 unidades experimentais. Os tratamentos incluíram uma testemunha sem aplicação de condicionadores de solo e sem a aplicação da

*Methylobacterium symbioticum* e dez combinações com produtos testados. A distribuição detalhada dos tratamentos encontra-se na Tabela 3.

**Tabela 1:** Distribuição dos tratamentos nas parcelas experimentais de acordo com a descrição e as respectivas dosagens aplicadas.

Tratamento	Descrição	Dosagem
T1	Testemunha	
T2	<i>Methylobacterium symbioticum</i>	0,333 kg ha <sup>-1</sup>
T3	Condicionador de solo grânulo + <i>Methylobacterium symbioticum</i>	100 kg ha <sup>-1</sup> + 0,333 kg ha <sup>-1</sup>
T4	Condicionador de solo grânulo + <i>Methylobacterium symbioticum</i>	200 kg ha <sup>-1</sup> + 0,333 kg ha <sup>-1</sup>
T5	Condicionador de solo grânulo + <i>Methylobacterium symbioticum</i>	300 kg ha <sup>-1</sup> + 0,333 kg ha <sup>-1</sup>
T6	Condicionador de solo pó + <i>Methylobacterium symbioticum</i>	100 kg ha <sup>-1</sup> + 0,333 kg ha <sup>-1</sup>
T7	Condicionador de solo pó + <i>Methylobacterium symbioticum</i>	200 kg ha <sup>-1</sup> + 0,333 kg ha <sup>-1</sup>
T8	Condicionador de solo pó + <i>Methylobacterium symbioticum</i>	300 kg ha <sup>-1</sup> + 0,333 kg ha <sup>-1</sup>
T9	Condicionador de solo pó enriquecido <i>Trichoderma asperellum</i> + <i>Methylobacterium symbioticum</i>	100 kg ha <sup>-1</sup> + 0,333 kg ha <sup>-1</sup>
T10	Condicionador de solo pó enriquecido <i>Trichoderma asperellum</i> + <i>Methylobacterium symbioticum</i>	200 kg ha <sup>-1</sup> + 0,333 kg ha <sup>-1</sup>
T11	Condicionador de solo pó enriquecido <i>Trichoderma asperellum</i> + <i>Methylobacterium symbioticum</i>	300 kg ha <sup>-1</sup> + 0,333 kg ha <sup>-1</sup>

Dosagem em quilograma por hectare

**Fonte:** do autor, 2025

Na testemunha, foi aplicada apenas ureia com 46% de nitrogênio (N) em sua formulação, totalizando 300 kg ha<sup>-1</sup>, distribuídos em duas etapas: a primeira aplicação, de 150 kg ha<sup>-1</sup> em V4, e a segunda, também de 150 kg ha<sup>-1</sup>, no estágio V8. Nos demais tratamentos, essa quantidade de nitrogênio foi reduzida em 30%, sendo complementada pela inoculação bactéria *Methylobacterium symbioticum*

**Figura 2:** Croqui da distribuição das parcelas experimentais na área de estudo.

1	6	10	9
2	8	7	11
3	5	4	2
4	10	11	7
5	1	8	3
6	9	2	10
7	3	5	6
8	11	1	4
9	7	6	8
10	2	3	1
11	4	9	5

**Fonte:** do autor, 2025.

Antes da semeadura, foi realizado o preparo do solo pelo sistema convencional, com o objetivo de promover a descompactação. As operações seguiram a seguinte sequência: subsolagem, aração, gradagem pesada e, por fim, nivelamento da área. Após esse processo, foram realizadas as coletas de solo para análises químicas.

Para a análise química, foram definidos 8 pontos de amostragem distribuídos aleatoriamente dentro da área experimental. As amostras foram coletadas nas profundidades de 0,0 a 20,0 cm e 20,1 a 40,0 cm, utilizando-se um trado de rosca. As amostras foram homogeneizadas e uma alíquota de aproximadamente 500 gramas foi separada, armazenada em sacos plásticos e encaminhada no mesmo dia ao Laboratório de Solos da UENP/CLM. (Tabela 1 e 2)

**Tabela 2:** Análise química do solo na camada de 00,0–20,0 cm realizada previamente à instalação do experimento.

M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	V
g/Kg	CaCl	Mg/dm <sup>3</sup>	-----Cmol/dm <sup>3</sup> -----					%
12,1	5,1	13,5	0,08	3,9	1,4	3,7	9,1	59,2

Dados: M.O (Matéria Orgânica); P (Fósforo); K (Potássio); Ca (Cálcio); Mg (Magnésio); H+Al (Acidez potencial); CTC (Capacidade e Trocas de Cátions); V (Saturação por Bases).

**Fonte:** do autor, 2025.

**Tabela 3:** Análise química do solo na camada de 20,1–40,0 cm realizada previamente à instalação do experimento.

M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	V
g/Kg	CaCl	Mg/dm <sup>3</sup>	-----Cmol/dm <sup>3</sup> -----					%
5,4	4,9	6,5	0,03	3,6	1,2	2,8	7,6	63,5

Dados: M.O (Matéria Orgânica); P (Fósforo); K (Potássio); Ca (Cálcio); Mg (Magnésio); H+Al (Acidez potencial); CTC (Capacidade e Trocas de Cátions); V (Saturação por Bases).

**Fonte:** do autor, 2025.

A semeadura do milho ocorreu no dia 17 de dezembro de 2024, utilizando trator acoplado a uma semeadora de 9 linhas. A emergência das plantas foi observada em 24 de dezembro de 2024. A variedade utilizada foi o híbrido B2782 PWU da empresa Brevant, de ciclo precoce. As sementes foram adquiridas com tratamento industrial prévio, contendo os produtos: Rancana®, Maxim XL®, K-Obiol® 25 EC e Actellic® 500 EC. No momento da semeadura, as sementes também receberam tratamento biológico com a bactéria *Azospirillum brasilense*.

A semeadura foi realizada com espaçamento de 0,45 m entre linhas, com uma densidade de 3,1 sementes por metro linear, totalizando 68.888 sementes por hectare. Após a emergência, foi realizada a contagem de stand, constatando-se a média de 2,8 plantas por metro linear, resultando em uma população de 62.222 plantas por hectare

Durante a semeadura, foi realizada a adubação de base, conforme recomendações do Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (SBCS/NEPAR, 2017), com base nos resultados das análises de solo. Foi aplicada a dose de 333 kg ha<sup>-1</sup> da formulação N-P-K 12-20-18.

Os condicionadores de solo utilizados neste estudo foram: Ribumin M1, um condicionador com formulação granulada, que segundo o fabricante apresenta capacidade de troca de cátions (CTC) de 900 mmolc/kg, capacidade de retenção de água de 60% e carbono orgânico total de 20%; Ribumin C, também com CTC de 900 mmolc/kg, capacidade de retenção de água de 90% e 20% de carbono orgânico total, porém com granulometria em pó; e Ribumin Max, igualmente em pó, enriquecido com o fungo *Trichoderma asperellum*. Este último apresenta CTC de 800 mmolc/kg, capacidade de retenção de água de 80% e 20% de carbono orgânico total.

Todos os condicionadores são classificados como produtos da classe F e são produzidos a partir de turfas ricas em substâncias húmicas, extraídas de uma mina localizada no município de Guatapar, Estado de So Paulo.

A aplicao dos produtos foi realizada manualmente no mesmo dia da semeadura (17 de dezembro de 2024), buscando garantir a distribuio homognea em toda a rea experimental (Figuras 3 e 4). As doses empregadas seguiram as recomendaes tcnicas fornecidas pela empresa produtora.

**Figura 3:** Distribuio das parcelas experimentais na rea de estudo aps o estaqueamento, evidenciando a delimitao das unidades experimentais antes da aplicao dos diferentes tratamentos com condicionadores de solo.



**Fonte:** do autor, 2024.

**Figura 4:** Aplicação dos condicionadores de solo nas parcelas experimentais, realizada manualmente e distribuída em área total, conforme os tratamentos estabelecidos no delineamento experimental.



**Fonte:** do autor, 2024.

A aplicação do bioinsumo contendo *Methylobacterium symbioticum* com concentração  $10^7$  foi realizada na fase vegetativa da cultura, quando as plantas se encontravam no estágio V4 (quatro folhas desenvolvidas), conforme orientações de bula. Sendo utilizado para a aplicação uma bomba costal de 25 L e com uma barra com 6 bicos ponta leque amarelo (11002 Magno), com uma vazão de 200 L de calda por hectare, sendo aplicado em área total das parcelas na qual iria à aplicação. (Figura 5)

**Figura 5:** Aplicação de *Methylobacterium symbioticum* na cultura do milho nas parcelas experimentais, conforme os tratamentos definidos no delineamento experimental.



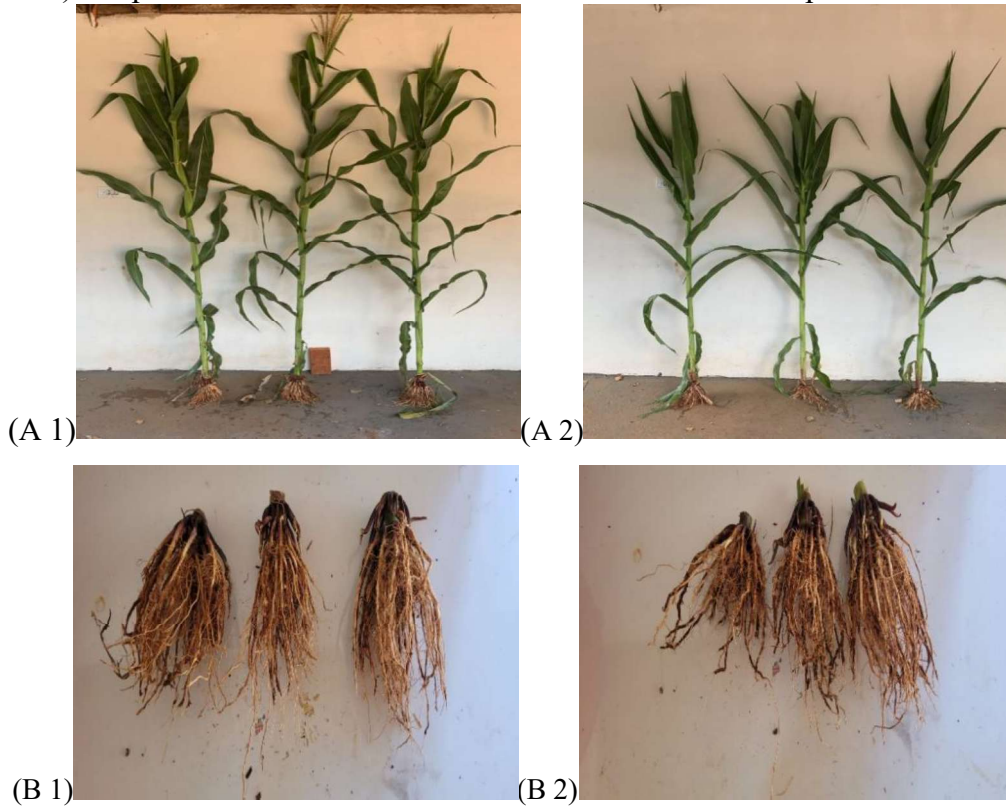
**Fonte:** do autor, 2025.

## 5.2 Avaliação

A primeira avaliação foi realizada em 16 de fevereiro de 2025, momento em que a cultura se encontrava no estágio fenológico VT (pendoamento). Nessa etapa, foram coletadas três plantas inteiras aleatoriamente por parcela, incluindo o sistema radicular sendo utilizado uma pá e sachô de jardinagem retirando cerca de 30 cm de profundidade por 30 cm de largura. O objetivo foi mensurar a altura das plantas, utilizando uma fita métrica. A altura considerada correspondeu ao comprimento desde o final da raiz até a última folha totalmente expandida.

Para a determinação do diâmetro do caule, utilizou-se um paquímetro, realizando a medição acima da última raiz desenvolvida. Com esses dados, foi possível comparar a relação entre os parâmetros avaliados (Figura 6).

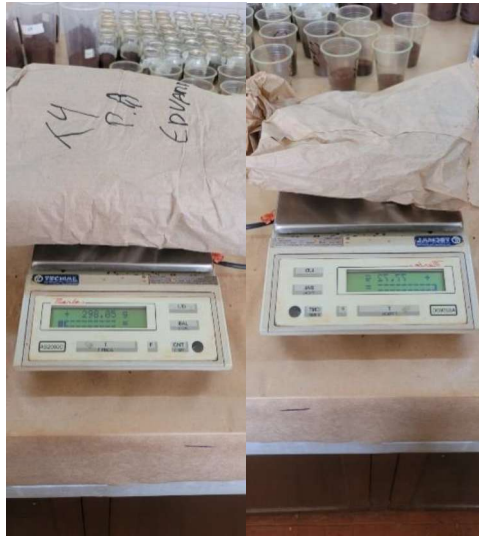
**Figura 6:** Avaliação do desenvolvimento da parte aérea (A 1 sendo T11 - Condicionador de solo pó enriquecido *Trichoderma asperellum* + *Methylobacterium symbioticum* e A 2 sendo T1 - Testemunha) e do sistema radicular (B 1 sendo T11 - Condicionador de solo pó enriquecido *Trichoderma asperellum* + *Methylobacterium symbioticum* e B 2 T1 - Testemunha) das plantas de milho durante as análises realizadas no experimento.



**Fonte:** do autor, 2025.

Após a mensuração, procedeu-se à determinação da massa seca da parte aérea. As plantas foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa, onde permaneceram a 60 °C por sete dias, até obter massa constante. Em seguida, realizou-se a obtenção da massa seca em uma balança de precisão (0,01). O mesmo procedimento foi aplicado ao sistema radicular, possibilitando a avaliação da biomassa seca das raízes (Figura 7).

**Figura 7:** Determinação da massa seca da parte aérea das plantas de milho coletadas nas parcelas experimentais posterior secagem e quantificação da biomassa.



**Fonte:** do autor, 2025.

### 5.3 Atributos Microbiológicos do Solo

A coleta de solo para análise microbiológica foi realizada no dia 17 de fevereiro de 2025. Quando a cultura estava em sua fase de desenvolvimento VT (pendoamento). Sendo coletada na camada superior do solo em uma profundidade de 0,0 – 10,0 cm. Utilizou-se um trado de 10 cm de profundidade, realizando-se cinco amostragens por parcela. As amostras foram inicialmente acondicionadas em um balde plástico com capacidade de 10 litros. Após a homogeneização do solo de cada parcela, foi retirada uma alíquota de 500 gramas, que foi armazenada em sacos plásticos e mantida em caixa térmica para preservar sua integridade microbiológica.

Entre a coleta de uma parcela e outra, o balde foi devidamente higienizado com o objetivo de evitar contaminações cruzadas entre amostras. Após a finalização de todas as coletas, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Microbiologia do Solo da UENP/CLM para análise.

### 5.3.1 Matéria orgânica

A determinação obedece à equação:

$$\% MO = \left( \frac{P_s - P_m}{P_s} \right) \times 100$$

Onde:

%MO= matéria orgânica em porcentagem,

P<sub>m</sub>= massa após ser submetida à combustão,

P<sub>s</sub>= massa total ou inicial.

### 5.3.2 Determinação do Carbono Orgânico Total (COT)

O valor do COT foi calculado com base no volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação dos brancos e da amostra. A partir da equação pode-se determinar a quantidade de carbono orgânico total da amostra em dag kg<sup>-1</sup>. (1) em que, A - Volume calculado (mL); MSF - Molaridade do Sulfato Ferroso (mol L<sup>-1</sup>), e Pa - Peso da amostra (mg) (Mendonça; Matos., 2005).

$$COT = \frac{A \times MSF \times 3 \times 100}{P_a}$$

Onde:

A - Volume calculado (mL);

MSF - Molaridade do Sulfato Ferroso (mol L<sup>-1</sup>), e

P<sub>a</sub> - Peso da amostra (mg).

### 5.3.3 Determinação da Biomassa de Carbono Microbiano (C<sub>BMS</sub>)

O carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) foi determinado pelo método de fumigação-extração indireta (FEI), conforme descrito por Silva *et al.* (2007). As amostras de solo referentes a cada tratamento foram separadas e pesadas (20 g) em duplicata, sendo uma destinada à fumigação e a outra mantida sem fumigação (controle).

Para promover o rompimento das membranas celulares dos microrganismos e a liberação do conteúdo intracelular, as amostras destinadas à fumigação foram colocadas em um dessecador contendo béqueres com 50 mL de clorofórmio (CHCl<sub>3</sub>) livre de etanol. O interior

do dessecador foi forrado com papel toalha umedecido, fechado e submetido a vácuo por 4 minutos, permanecendo incubado por 24 horas em ambiente escuro, conforme protocolo proposto por Vance, Brookes e Jenkinson (1987).

Após a incubação, o dessecador foi aberto para permitir a aeração, sendo novamente submetido a vácuo por 4 minutos. Esse processo foi repetido de cinco a seis vezes, com o objetivo de eliminar completamente o clorofórmio residual.

A extração do C-BMS foi realizada por meio da adição de 50 mL de solução de sulfato de potássio ( $K_2SO_4$ ) 0,5 M às amostras, sob agitação a 175 rpm por 50 minutos. Em seguida, as suspensões foram filtradas em papel quantitativo para obtenção do extrato.

A quantificação do C-BMS foi realizada por titulometria, conforme o método de Walkley e Black (1934), modificado por Tedesco et al. (1995). Para isso, foram transferidos 8 mL do extrato filtrado para erlenmeyers de 250 mL, aos quais foram adicionados 2 mL de solução de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,066 M e 10 mL de ácido sulfúrico concentrado ( $H_2SO_4$ ) P.A. Após o resfriamento, foram adicionados 70 mL de água deionizada, 5 mL de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) concentrado P.A. e 4 gotas de solução de difenilamina a 1% (m/v) em  $H_2SO_4$  P.A., procedendo-se à titulação com sulfato ferroso amoniacal  $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$  0,033 M.

Nesse método, a oxidação do carbono orgânico presente na amostra ocorre pela ação do íon dicromato ( $Cr_2O_7^{2-}$ ), proveniente da solução de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,066 M, em meio fortemente ácido. Essa reação resulta na conversão do carbono a dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e água ( $H_2O$ ). Considera-se que a quantidade de dicromato consumida na reação é equivalente ao teor de carbono oxidado presente na amostra. O dicromato remanescente, ou seja, o que não foi reduzido, é quantificado por meio de titulação com uma solução padronizada de sulfato ferroso amoniacal  $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$  0,033 M.

Onde a determinação do carbono dos extratos fumigados e não fumigados foi calculado de acordo com a equação abaixo:

Equação:

$$C_{(mgC\ Kg^{-1} solo)} = \frac{V_b - V_a \cdot M \cdot 0,003 \cdot V_1 \cdot 10^6}{P_s \cdot V_2}$$

Onde:

C = carbono extraído do solo;

$V_b$  (mL) = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da solução controle (branco);

$V_a$  (mL) = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra;

M = molaridade exata do  $(NH_4)_2 Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ;

$V_1$  (mL) = volume do extrator ( $K_2SO_4$ ) utilizado;

0.003 = miliequivalente do carbono

$P_s$  (g) = massa de solo seco.

Por meio da subtração entre os teores de carbono do solo fumigado e não fumigado, pode-se obter o carbono da biomassa microbiana, sendo calculado conforme a equação 2:

Equação 2:

$$BMS_{(mg\ Kg^{-1})} = \frac{FC}{kc}$$

Onde:

BMS = biomassa de carbono microbiano do solo em mg de C por kg de terra (ou  $\mu g.g^{-1}$ );

FC = fluxo obtido da diferença entre a quantidade de C ( $mgkg^{-1}$ ) recuperada no extrato da amostra fumigada e a recuperada na amostra não fumigada;

kc = fator de correção.

Para estimar o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) a partir da diferença entre os extratos fumigados e não fumigados, é necessário aplicar um fator de correção (kC), que representa a fração do carbono microbiano efetivamente extraída pelo método. Esse fator deve, idealmente, ser determinado experimentalmente para cada tipo de solo, a fim de garantir maior exatidão nos resultados. No entanto, como ainda não há um valor estabelecido especificamente para os solos brasileiros, utiliza-se o valor de 0,33, conforme recomendado por Sparling e West (1988)

### 5.3.4 Determinação da Respiração Basal do Solo (RBS)

Segundo a Embrapa (2007), o cálculo da respiração basal do solo é dado pela Equação abaixo:

$$RBS_{(mg\ de\ C-CO_2\ Kg^{-1}\ solo\ h^{-1})} = \frac{(V_b - V_a) \cdot M \cdot 6.1000}{P_s \cdot T}$$

Onde:

RBS – Carbono oriundo da respiração basal do solo;

$V_b$  (mL) – Volume de ácido clorídrico gasto na titulação da solução controle (branco);

$V_a$  (mL) – Volume gasto na titulação da amostra;

M – Molaridade exata do HCl;

P<sub>s</sub> (g) – Massa de solo seco e

T – Tempo de incubação da amostra em horas.

### 5.3.5 Determinação do Quociente Metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>)

O quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>) é definido como a razão entre a respiração basal e o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), conforme descrito por Silva *et al.* (2010). Esse índice tem sido utilizado como um indicador da eficiência do uso do substrato pelos microrganismos do solo, sendo particularmente sensível a alterações ambientais ou de manejo. Valores elevados de qCO<sub>2</sub> geralmente indicam situações de estresse microbiano, nas quais há maior demanda energética para manutenção celular, especialmente quando o C-BMS encontra-se reduzido. O cálculo qCO<sub>2</sub> da respiração basal do solo é dado pela equação abaixo:

$$qCO_{2(mg\ C-CO_2g^{-1}BMS-C\ h^{-1})} = \frac{RBS_{(mg\ C-CO_2Kg^{-1}solo\ h^{-1})}}{BMS - C_{(mg\ C\ Kg^{-1}solo)} \times 10^{-3}}$$

Onde:

qCO<sub>2</sub> – Quociente metabólico do solo;

RBS – Respiração basal do solo e

BMS-C – Carbono da biomassa microbiana do solo.

O quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) é definido como a razão entre a respiração basal e o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), por unidade de tempo (Anderson; Domsch, 1993). Esse parâmetro expressa a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada pela biomassa microbiana ao longo do tempo, refletindo a taxa de respiração específica dessa biomassa (Alves *et al.*, 2011). Valores elevados de qCO<sub>2</sub> podem indicar menor eficiência no uso do carbono pelos microrganismos, estando frequentemente associados a condições de estresse ambiental ou perturbações no solo.

### 5.3.6 Determinação do Quociente Microbiano (qMIC)

O quociente microbiano (qMIC) representa a relação entre o carbono da biomassa microbiana (C-BMS) e o carbono orgânico total (COT) do solo. Esse índice tem sido amplamente utilizado como indicador da qualidade da matéria orgânica, por refletir a fração do carbono total que está imobilizada na biomassa microbiana, além de evidenciar a eficiência dos microrganismos na utilização dos compostos orgânicos disponíveis (Silva *et al.*, 2010).

O qMIC expressa, portanto, a proporção do COT que se encontra sob a forma biologicamente ativa. Valores reduzidos de qMIC são geralmente associados a áreas com baixa atividade microbiana e menor reserva de compostos orgânicos estabilizados (Carneiro *et al.*, 2009). Em contrapartida, altos valores de qMIC indicam que a matéria orgânica do solo está mais ativa e, conseqüentemente, mais susceptível à decomposição pela microbiota.

#### 5.4 Determinação de pH e Nutrientes químicos

As amostragens de solo foram realizadas em 27 de abril de 2025. Em cada parcela, foram coletadas oito subamostras em duas profundidades: 0,0–20,0 cm e 20,1–40,0 cm. Utilizando um trado de 0,0 – 20,0 cm. Em seguida, essas subamostras foram acondicionadas em um balde de 10 litros para homogeneização. Após esse procedimento, retirou-se uma amostra composta de 500 g de solo, devidamente armazenada em sacos plásticos posterior análise. Entre cada amostragem, o balde foi higienizado a fim de evitar contaminação entre as parcelas (Figura 8). Após encaminhada no mesmo dia ao Laboratório de Solos da UENP/CLM.

**Figura 8:** Procedimentos de preparo das amostras de solo para análise: peneiramento das amostras (A) e amostras de solo coletadas nas parcelas experimentais (B).



Fonte: do autor, 2025.

As amostras de solo foram condicionadas em sacos plásticos e foram secas ao ar, foram determinados o pH em  $\text{CaCl}_2$  0,01 M, P,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , e  $\text{Al}^{3+}$ . Os teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  foram extraídos com KCl 1 N e a determinação dos teores de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) trocáveis foi realizada utilizando o método de titulação com solução de EDTA, de acordo com

a metodologia proposta por Raij *et al.* (2001) e titulação com NaOH 0,025 M ( $\text{Al}^{3+}$ ); P e  $\text{K}^+$  foram extraídos com o extrator Mehlich-1 e determinados por espectrofotometria de ionização de chama ( $\text{K}^+$ ) e pelo método do azul de molibdênio (P), conforme Embrapa (2009).

#### 5.4.1 Determinação da Saturação por bases

$$V (\%) = 100 \times \frac{SB}{CTC^{(*)}}$$

Onde:

SB = soma de bases

CTC = capacidade de troca catiônica

(\*) na fórmula utiliza-se o valor da “CTC total” (EMBRAPA, 2010).

#### 5.5 Produtividade e massa de mil grãos (MMG)

O encerramento do ensaio ocorreu em 27 de abril de 2025, com a realização da última avaliação de campo, referente à produtividade. Nessa etapa, foram determinadas a produtividade e a massa de mil grãos.

Para a determinação da produtividade, utilizaram-se as três linhas centrais de cada parcela. Nessas linhas, foram coletadas aleatoriamente 12 espigas, que posteriormente foram submetidas à trilha mecânica (Figura 9). Os grãos obtidos tiveram a massa mensurada e, em seguida, procedeu-se à determinação do peso de mil grãos por meio de um contador eletrônico de sementes. O teor de umidade foi determinado utilizando um medidor eletrônico de umidade, garantindo a padronização dos valores de produtividade.

**Figura 9:** Processo de trilha das espigas de milho realizado para a separação e posterior quantificação dos grãos provenientes das parcelas experimentais.



Fonte: do autor, 2025.

## 5.6 Análise estatística dos dados

A análise estatística dos dados de solo foi realizada no software RStudio (RStudio Team., 2025). A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk ( $\alpha = 0,05$ ), enquanto a homogeneidade das variâncias foi avaliada pelo teste de Levene ( $\alpha = 0,15$ ). Em seguida, procedeu-se à análise de variância (ANOVA), e, quando significativa, foi realizado o desdobramento dos fatores. Para melhor compreensão das relações entre as variáveis, aplicou-se a Análise de Componentes Principais (PCA) para a análise de solo. As análises estatísticas foram conduzidas no software SASM-AGRI (Canteri *et al.*, 2001), onde a produtividade foi submetida à ANOVA e após realizada a comparação de média pelo teste Duncan, os demais dados estatísticos foram submetidos à ANOVA, e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ( $\alpha = 0,05$ ).

## 6. RESULTADO E DISCUSSÃO.

### 6.1 Avaliação dos microbiológicos do solo

Nos atributos microbiológicos (Tabela 4), observou-se que, ao analisar o carbono orgânico total (C.O.T.), não houve diferença significativa entre os tratamentos. Dessa forma, tanto a testemunha quanto as parcelas tratadas apresentaram valores semelhantes, não se diferenciando estatisticamente entre si. O C.O.T. é um parâmetro que, em curto prazo, dificilmente apresenta variações expressivas, sendo considerado um indicador de mudanças de médio a longo prazo na qualidade do solo, e, portanto, pouco sensível a alterações imediatas (Mendonça; Matos., 2017).

Ao analisar o carbono da biomassa microbiana do solo (C\_BMS), observou-se que a testemunha, o tratamento com *Methylobacterium symbioticum* e o tratamento com 100 kg do condicionador granulado (C.G.) não diferiram estatisticamente entre si. No entanto, verificou-se um aumento significativo a partir do tratamento com 200 kg C.G., indicando uma elevação gradual dos valores de CBM. O tratamento que apresentou o maior incremento foi o de 100 kg do condicionador pó enriquecido *Trichoderma asperellum* (C.P.T.), evidenciando um estímulo mais expressivo na atividade e no crescimento da população microbiana do solo.

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) corresponde à razão entre a respiração basal (RBS) e a biomassa microbiana do solo (C\_BMS) (Anderson; Domsch., 1993). Esse índice indica a quantidade de  $CO_2$  liberada pela biomassa microbiana, representando a taxa de respiração específica (Alves *et al.*, 2011). A partir da análise dos dados, observou-se que a testemunha apresentou valores mais elevados de  $qCO_2$ , indicando maior nível de estresse da comunidade microbiana em comparação aos demais tratamentos. Os tratamentos que apresentaram melhor desempenho foram 100 kg C.P.T. e 200 kg C.G., refletindo menor estresse e maior eficiência metabólica da biomassa microbiana.

**Tabela 4:** Análise dos atributos microbiológicos do solo no estágio fenológico VT (pendoamento) da cultura do milho.

TRAT	C.O.T g Kg <sup>-1</sup>	C <sub>BMS</sub> mg Ckg <sup>-1</sup> solo	RBS mg de C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> . H <sup>-1</sup>	qCO <sub>2</sub> RBS/BMS	q MIC %
TESTEMUNHA	11,87 a	58,18 d	0,30 a	5,28 a	0,49 c
BM	12,46 a	81,17 d	0,15 b	1,92 c	0,67 c
100kg C.G	11,49 a	91,84 d	0,24 a	2,62 b	0,82 c
200kg C.G	11,87 a	120,95 c	0,14 b	1,14 e	1,02 b
300kg C.G	11,87 a	138,87 c	0,28 a	2,08 c	1,17 b
100kg C.P	11,49 a	103,78 c	0,17 b	1,65 d	0,90 c
200kg C.P	11,87 a	105,89 c	0,30 a	2,86 b	0,89 c
300kg C.P	11,10 a	168,34 b	0,24 a	1,45 d	1,52 a
100kg C.P.T	12,07 a	205,17 a	0,14 b	0,68 e	1,71 a
200kg C.P.T	11,29 a	129,27 c	0,25 a	2,04 c	1,15 b
300kg C.P.T	12,26 a	103,14 c	0,15 b	1,52 d	0,84 c
C.V (%)	9,89	17,51	29,56	22,2	21,65

Dados: Carbono Orgânico Total (C.O.T); Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (CBMS); Respiração Basal (RBS); quociente metabólico do solo quociente (qCO<sub>2</sub>); quociente Microbiano (qMIC); Testemunha; ; *Methylobacterium symbioticum* (MB); 100 kg condicionador granulo; 200 kg condicionador granulo; 300 kg condicionador granulo; 100 kg condicionador pó; 200kg condicionador pó; 300 kg condicionador pó; 100 kg Condicionador de solo pó enriquecido *Trichoderma asperellum*; 200 kg Condicionador de solo pó enriquecido *Trichoderma asperellum*; 300 kg Condicionador de solo pó enriquecido *Trichoderma asperellum*. Utilizou-se o teste estatístico Scott-Knott a (5%)

O quociente microbiano (qMIC) apresentou diferença entre a testemunha e os tratamentos aplicados. Observou-se que os tratamentos testemunha, BM, 100 kg C.G., 100 kg C.P., 200 kg C.P. e 300 kg C.P.T. não diferiram entre si. No entanto, os tratamentos 100 kg C.P.T. e 300 kg C.P. apresentaram os maiores valores de qMIC, indicando que a atividade microbiana nesses tratamentos estava mais favorecida, promovendo maior decomposição e mineralização da matéria orgânica no solo. As substâncias húmicas fornecem fontes de carbono facilmente assimiláveis, além de melhorarem a estrutura do solo, criando condições mais favoráveis para o desenvolvimento microbiano (Olivares *et al.*, 2017).

Segundo Conceição *et al.* (2009), a aplicação de ácidos húmicos pode promover o aumento da população microbiana no solo, exercendo, conseqüentemente, efeitos benéficos sobre o desenvolvimento das plantas. O uso prolongado desses compostos pode ainda alterar a atividade enzimática e a estrutura microbiana do solo, aumentando a população de bactérias e fungos benéficos (Li *et al.*, 2019), o que se reflete em maior diversidade e riqueza microbiana (Hita *et al.*, 2020).

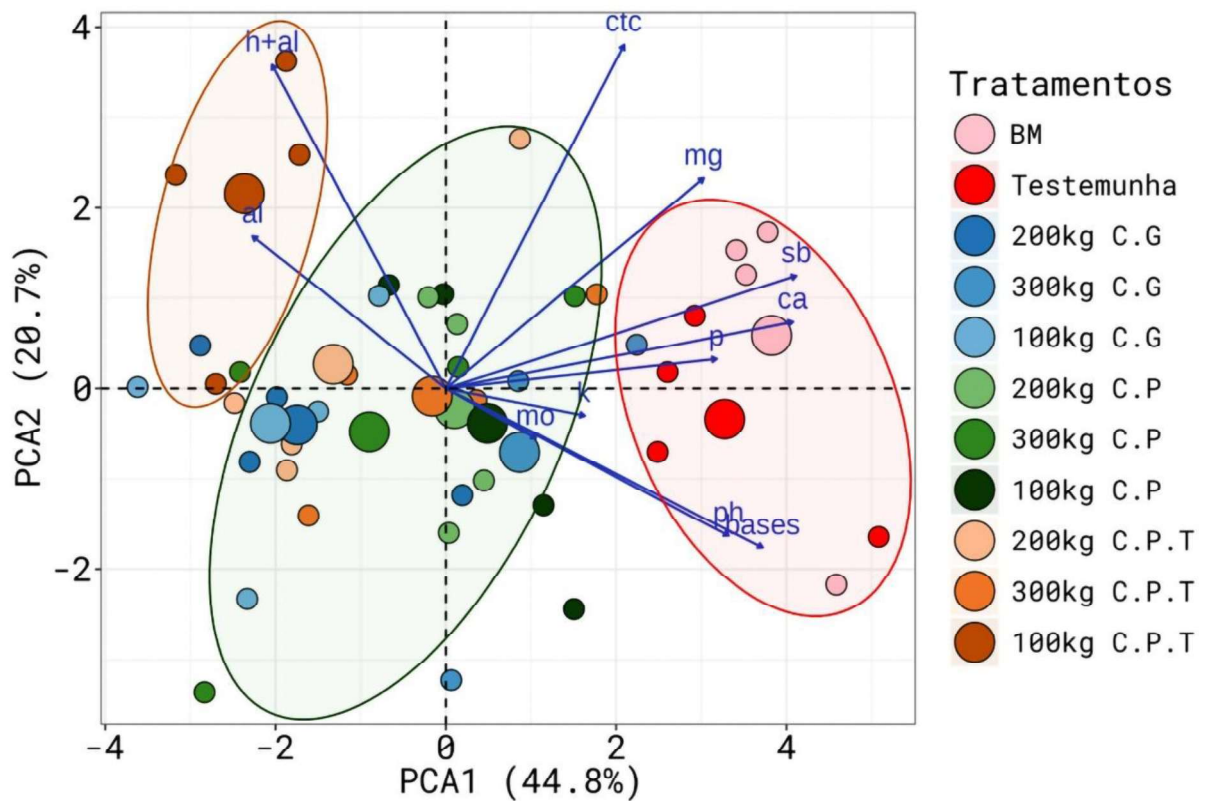
## **6.2 Atributos Químicos**

Ao analisar a figura 10, observa-se a distribuição dos tratamentos a partir da análise de componentes principais (PCA), a qual resultou em dois eixos principais. O Eixo 1 separa os solos mais férteis daqueles com maior acidez, enquanto o Eixo 2 diferencia os tratamentos conforme o teor de alumínio e a capacidade de troca catiônica (CTC).

A interpretação dos eixos demonstra que o tratamento controle posicionou-se próximo ao centro do gráfico, indicando um solo mais equilibrado quanto ao pH e aos demais atributos químicos avaliados. Nos tratamentos com aplicação de ácidos húmicos, especialmente nas doses mais elevadas, observou-se uma tendência de aumento da acidez do solo, o que pode estar relacionado à liberação de compostos orgânicos ácidos durante o processo de mineralização. Essa tendência, entretanto, não foi observada nas doses intermediárias e menores, que apresentaram comportamento mais estável.

Em relação à CTC, o tratamento 200 kg G.P. apresentou o melhor desempenho, indicando maior capacidade do solo em reter e trocar cátions, o que está diretamente associado ao aumento da matéria orgânica e à melhora na qualidade química do solo.

**Figura 10:** Análise dos atributos químicos do solo por meio da análise de componentes principais (PCA).



Testemunha; *Methylobacterium symbioticum* (BM); 100 kg condicionador granulo (100kg C.G); 200 kg condicionador granulo (200kg C.G); 300 kg condicionador granulo (300kg C.G); 100 kg condicionador pó (100kg C.P); 200kg condicionador pó (200kg C.P); 300 kg condicionador pó (300kg C.P); 100 kg Condicionador de solo pó enriquecido *Trichoderma asperellum* (100 kg C.P.T); 200 kg Condicionador de solo pó enriquecido *Trichoderma asperellum* (200 kg C.P.T); 300 kg Condicionador de solo pó enriquecido *Trichoderma asperellum* (300 kg C.P.T).

Os condicionadores à base de substâncias húmicas tendem a melhorar a fertilidade do solo por meio do aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) (Chen; Aviad; Nobili., 2010). Segundo Li *et al.*, (2019), a aplicação contínua de ácidos húmicos no solo promove melhorias significativas na qualidade química e física, destacando-se o aumento dos teores de nutrientes essenciais, principalmente nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Esses efeitos estão relacionados à maior capacidade das substâncias húmicas em complexar íons metálicos e disponibilizar nutrientes de forma gradual, contribuindo para um ambiente radicular mais favorável ao desenvolvimento das plantas.

De modo geral, as substâncias húmicas podem atuar como corretivos de solo, fertilizantes e reguladores de crescimento, fornecendo melhores condições para o desenvolvimento vegetal. Além disso, auxiliam na retenção de água e nutrientes, na melhoria

da estrutura do solo e na capacidade de supressão de doenças, promovendo maior estabilidade e produtividade do sistema agrícola (Guo; Liu; Wu., 2019).

### **6.3 Variáveis fitotécnicas.**

Na variável altura de plantas (Tabela 5), foram observadas variações significativas entre os tratamentos. Os melhores resultados foram obtidos com o condicionador de solo enriquecido com o fungo *Trichoderma asperellum*, sendo que as doses de 200 e 300 kg não diferiram estatisticamente entre si, indicando que a dose de 200 kg já seria suficiente para promover o máximo desenvolvimento da planta. Entre os outros condicionadores de solo, o granulado (C.G.) apresentou melhor desempenho do que o pó (C.P.), especialmente nas doses mais altas. De forma geral, todos os tratamentos que receberam condicionadores de solo ou micro-organismos superaram a testemunha, na qual foi aplicada apenas ureia, evidenciando o efeito positivo desses insumos no crescimento da parte aérea das plantas.

Plantas tratadas com ácidos húmicos apresentam maior diversidade e riqueza microbiana, com predominância de Proteobacteria, o que causa impactos benéficos no crescimento vegetal (Hita *et al.*, 2020). De forma semelhante, Galambos *et al.* (2020) observaram que a inoculação combinada de bactérias promotoras de crescimento e ácidos húmicos é vantajosa, pois tanto protege quanto promove o desenvolvimento da planta.

Quando substâncias húmicas são combinadas com bactérias e fungos promotores de crescimento, observa-se uma melhora no desenvolvimento da cultura, especialmente sob condições de estresse abiótico durante o ciclo de desenvolvimento da planta (Olivares *et al.*, 2017).

Ao analisar a média da altura das plantas em relação ao diâmetro do caule, observou-se diferença significativa apenas na altura entre os tratamentos. Quanto ao diâmetro do caule, a diferença significativa ocorreu apenas com a adição do condicionador de solo. Nos tratamentos testemunha e somente com *Methylobacterium symbioticum*, não houve diferença entre si. Por outro lado, a inclusão do condicionador resultou em aumento do diâmetro do caule em comparação com os tratamentos sem condicionador. Entretanto, entre os tratamentos que receberam o condicionador, não foram observadas diferenças significativas.

**Tabela 5:** Relação entre a altura de plantas e o diâmetro do colmo.

Tratamento	Diâmetro de caule (cm)	Altura (cm)
TESTEMUNHA	2,6 b	132,9 g
BM	3 b	144,6 f
100kg C.G	3,5 a	153,2 e
200kg C.G	3,9 a	178,6 d
300kg C.G	3,8 a	179,9 d
100kg C.P	4 a	180,9 d
200kg C.P	4 a	190 b
300kg C.P	3,8 a	187,1 c
100kg C.P.T	3,6 a	185,1 c
200kg C.P.T	4 a	198,4 a
300kg C.P.T	4 a	197,2 a
C.V (%)	8,54	1,9

Testemunha; *Methylobacterium symbioticum* (BM); 100 kg condicionador granulo (100kg C.G); 200 kg condicionador granulo (200kg C.G); 300 kg condicionador granulo (300kg C.G); 100 kg condicionador pó (100kg C.P); 200kg condicionador pó (200kg C.P); 300 kg condicionador pó (300kg C.P); 100 kg Condicionador de solo pó enriquecido *Trichoderma asperellum* (100 kg C.P.T); 200 kg Condicionador de solo pó enriquecido *Trichoderma asperellum* (200 kg C.P.T); 300 kg Condicionador de solo pó enriquecido *Trichoderma asperellum* (300 kg C.P.T); Coeficiente de variação (C.V). Utilizou-se o teste estatístico Scott-Knott a (5%).

Resultados semelhantes foram observados por Bayat *et al.* (2021), que verificaram que a aplicação de bioestimulantes à base de ácidos húmicos e fúlvicos promoveu maior desenvolvimento das plantas, refletido no aumento da altura e do diâmetro do caule.

Nos parâmetros fitotécnicos avaliados, observou-se que a aplicação dos condicionadores de solo proporcionou melhoria em praticamente todas as variáveis analisadas, exceto para a massa de mil grãos, que não apresentou diferença significativa entre os tratamentos.

Ao analisar a massa seca da parte aérea, verificou-se que a utilização dos condicionadores de solo influenciou positivamente esse parâmetro em relação à testemunha e ao tratamento com *Methylobacterium symbioticum* (BM). No entanto, entre os diferentes tipos e dosagens de condicionadores aplicados, não foram observadas diferenças significativas, indicando que o efeito benéfico está mais associado à presença do condicionador no solo do que à variação de dose ou formulação. Esse resultado sugere que os condicionadores à base de substâncias húmicas promovem melhorias nas condições do solo e na disponibilidade de nutrientes, refletindo em maior acúmulo de biomassa na parte aérea. De acordo com Canellas *et al.* (2024), a aplicação de substâncias húmicas estimula o desenvolvimento vegetal por meio da ativação de processos fisiológicos e bioquímicos, resultando em maior crescimento da parte aérea e

incremento no metabolismo das plantas.

**Tabela 6:** Avaliação das variáveis fitotécnicas da cultura do milho.

TRAT	MSPA		MSR	MMG	PRODUTIVIDADE	
	g	g	g	g	Kg há <sup>-1</sup>	Sacas há <sup>-1</sup>
TESTEMUNHA	299,00 b	31,33 c	365 a	365 a	2883,6 b	48,06 b
BM	333,70 b	47,44 b	373 a	373 a	3476,4 ab	57,94 ab
100kg C.G	368,43 a	68,57 a	371 a	371 a	3585,9 ab	58,46 ab
200kg C.G	363,72 a	72,90 a	406 a	406 a	3680,34 a	61,34 a
300kg C.G	381,28 a	67,65 a	377 a	377 a	3654,6 a	60,91 a
100kg C.P	358,41 a	75,36 a	400 a	400 a	3673,8 a	61,23 a
200kg C.P	377,99 a	72,38 a	379 a	379 a	3790,8 a	63,18 a
300kg C.P	364,19 a	75,06 a	375 a	375 a	4074 a	67,90 a
100kg C.P.T	358,41 a	72,36 a	373 a	373 a	3827,4 a	63,79 a
200kg C.P.T	353,73 a	74,16 a	395 a	395 a	3965,4 a	66,09 a
300kg C.P.T	352,51 a	73,31 a	382 a	382 a	3895,8 a	64,93 a
C.V (%)	8,47	9,11	3,96	3,96	12,45	12,45

**MSR** – Massa seca das raízes (VT); **MSPA** – Massa seca da parte aérea (VT); **MMG** – Massa de mil grãos; Testemunha; *Methylobacterium symbioticum* (BM); 100 kg condicionador granulo (100kg C.G); 200 kg condicionador granulo (200kg C.G); 300 kg condicionador granulo (300kg C.G); 100 kg condicionador pó (100kg C.P); 200kg condicionador pó (200kg C.P); 300 kg condicionador pó (300kg C.P); 100 kg Condicionador de solo pó enriquecido *Trichoderma asperellum* (100 kg C.P.T); 200 kg Condicionador de solo pó enriquecido *Trichoderma asperellum* (200 kg C.P.T); 300 kg Condicionador de solo pó enriquecido *Trichoderma asperellum* (300 kg C.P.T); Coeficiente de variação (C.V). utilizou-se teste Scott-Knott (5%) para as variáveis MSPA, MSR e MMG, e para a produtividade utilizou-se Duncan (5%)

A massa seca das raízes (MSR) foi uma das variáveis fitotécnicas que apresentou melhor resposta aos tratamentos. Observou-se que a testemunha apresentou o menor desenvolvimento radicular, enquanto o tratamento com *Methylobacterium symbioticum* (BM) apresentou leve incremento em relação à testemunha. Nos tratamentos com condicionadores de solo, verificou-se um aumento significativo da MSR em comparação à testemunha, indicando efeito positivo das substâncias húmicas sobre o crescimento radicular. Entretanto, entre os diferentes tipos e doses de condicionadores aplicados, não foram observadas diferenças estatísticas, sugerindo que a resposta das plantas está mais relacionada à presença das substâncias húmicas no solo do que à variação de granulometria ou à quantidade aplicada.

Estudos anteriores também corroboram esses resultados. Em plantas de milho, a aplicação de ácidos húmicos nas raízes promoveu aumentos significativos na MSR e na emergência de raízes laterais (Aguiar *et al.*, 2013). De forma semelhante, Rima *et al.*, (2011) observaram que a aplicação de ácido húmico resultou em aumento de 126% no número de raízes laterais e de 58% no tamanho total do sistema radicular em comparação à testemunha

Ao analisar a produtividade, observou-se que a aplicação de *Methylobacterium symbioticum* (BM) proporcionou um aumento significativo em relação à testemunha. Nos

tratamentos com condicionador de solo, verificou-se incremento de até 19,84 sacas por hectare no tratamento 300 kg de condicionador pó (300 kg C.P.) em comparação à testemunha, sendo observado aumento semelhante nos demais tratamentos. Esses resultados indicam que a aplicação de condicionadores de solo constituiu um fator determinante para o aumento da produtividade das plantas. Isso se dá uma melhora na disponibilidade de nutrientes e em fator de uma microbiota mais ativa no solo.

Considerando a importância dos nutrientes para as plantas e seus efeitos no desenvolvimento e na produtividade, os ácidos húmicos, quando utilizados como bioestimulantes, são capazes de promover impactos significativos, estimulando a atividade microbiana do solo e, conseqüentemente, aumentando a produtividade das culturas (Morzelle *et al.*, 2017).

Considerando todos os parâmetros analisados e discutidos, observa-se que todos os tratamentos que receberam a aplicação de condicionadores de solo apresentaram melhorias significativas nos fatores avaliados. Esses efeitos foram mais evidentes, especialmente, nos tratamentos com condicionadores na forma de pó, o que pode ser explicado pela sua maior rapidez de reação no solo em comparação à formulação granulada.

Ao analisar as variáveis fitotécnicas, essa resposta torna-se ainda mais evidente, com destaque para as doses de 200 e 300 kg ha<sup>-1</sup> do condicionador em pó (C.P.), bem como para as doses de 100, 200 e 300 kg ha<sup>-1</sup> do condicionador em pó enriquecido com *Trichoderma asperellum* (C.P.T.), que proporcionaram os melhores resultados entre os tratamentos avaliados. Esses incrementos indicam maior eficiência no desenvolvimento vegetativo, refletindo melhores condições nutricionais e fisiológicas das plantas.

De forma semelhante, as análises biológicas e químicas do solo também evidenciaram melhorias, especialmente nos tratamentos de maior desempenho agrônômico. A aplicação dos condicionadores favorece a atividade microbiana e a dinâmica da microbiota do solo, promovendo maior ciclagem de nutrientes e equilíbrio biológico da rizosfera. Além disso, as substâncias húmicas contribuem para o aumento da capacidade de troca de cátions, retenção de água e disponibilização gradual de nutrientes, sendo analisado quando você observa na (Figura 1) os tratamentos mais equilibrados estão aí centro, assim criando um ambiente radicular mais favorável ao crescimento das plantas. A associação com *Trichoderma asperellum* potencializa esses efeitos por meio da promoção do crescimento radicular e da indução de mecanismos de proteção vegetal. Em conjunto, esses fatores explicam a melhoria estrutural e funcional do solo, refletindo diretamente no desempenho fitotécnico observado.

## 7. CONCLUSÃO

Conforme apresentado, os condicionadores de solo à base de ácidos húmicos mostraram capacidade de melhorar tanto o desenvolvimento das plantas quanto a qualidade do solo, promovendo uma rizosfera mais adequada ao crescimento e à atividade dos microrganismos. Sua aplicação resultou em maior produtividade, independentemente da dose ou da granulometria utilizada, evidenciando os benefícios do seu uso. Por outro lado, a aplicação isolada da *Methylobacterium symbioticum* apresentou apenas pequenas melhorias na cultura; entretanto, quando combinada com os ácidos húmicos, observou-se um aproveitamento significativamente maior, destacando o potencial da associação entre bioestimulantes e microrganismos benéficos. Com isso vemos que a dose que obteve melhor desempenho comparado entre elas foram as que contém o condicionador de solo com pó enriquecido *Trichoderma asperellum* + *Methylobacterium symbioticum*.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROINDÚSTRIA. **Participação do agronegócio no PIB brasileiro em 2024**. Brasília: Ministério da Agricultura e Pecuária, 2025. Disponível em: <https://agroindustria.com.br/principais-produtos-agricolas-do-brasil-e-sua-importancia/>. Acesso em: 03 set. 2025.

AGUIAR, N. O.; NOVATNY, E. H.; OLIVEIRA, A. L.; RUMJANEK, V. M.; OLIVARES, F. L.; CANELLAS, L. P. Prediction of humic acids bioactivity using spectroscopy and multivariate analysis. **Journal of Geochemical Exploration**. v. 129. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.10.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0375674212002051>. Acesso em: 19 out. 2025.

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. **ActaScientiarumAgronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, 2011. DOI: 10.4025/actasciagron.v33i2.4841. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/HmCx5Sck4436B5G3TknN5Gh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 jul. 2025.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G. J. L.; Sparovek, G. *Köppen's climate classification map for Brazil*. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Disponível em: [https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen\\_s\\_climate\\_classification\\_map\\_for\\_Brazil?af=crossref](https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref). Acesso em: 27 mar. 2025.

AMPONG, K., THILAKARANTHNA, M. S., & GORIM, L. Y. Understanding the Role of Humic Acids on Crop Performance and Soil Health. **Frontiers in Agronomy**. 2022. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.84862>. Disponível em: <https://www.mendeley.com/catalogue/fb3b9428-83bd-3446-9d51-5b90bd16bb18/>. Acesso em: 17 out. 2025.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 3, p. 393–395, 1993. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0038071793901407>. Acesso em: 26 jul. 2025.

BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Rev. Ceres**. V. 61. 2014. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/94wksVHhCDcDxkVdYqb4Pqw/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 15 out. 2025.

BALDOTTO, M. A.; CANELA, M. C.; CANELLAS, L. P.; DOBBSS, L. B.; VELLOSO, A. C. X. Redox index of soil carbon stability. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. V. 34. 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000500007. Disponível em: <https://www.rbcjournal.org/article/redox-index-of-soil-carbon-stability/>. Acesso em: 16 out. 2025.

BATISTA, V. V.; FERREIRA, M. L.; ADAMI, P. F.; GIACOMEL. Ácidos húmicos/fúlvicos e nitrogênio na produtividade da cultura do milho / humic/fulvic acid and nitrogen in the corn crop yield. **Rev. Bras. Eng. Biosistemas**. v. 12. 2018.

DOI:10.18011/bioeng2018v12n3p257-267. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/327978744\\_ACIDOS\\_HUMICOSFULVICOS\\_E\\_NITROGENIO\\_NA\\_PRODUTIVIDADE\\_DA\\_CULTURA\\_DO\\_MILHO\\_HUMICFULVIC\\_ACID\\_AND\\_NITROGEN\\_IN\\_THE\\_CORN\\_CROP\\_YIELD](https://www.researchgate.net/publication/327978744_ACIDOS_HUMICOSFULVICOS_E_NITROGENIO_NA_PRODUTIVIDADE_DA_CULTURA_DO_MILHO_HUMICFULVIC_ACID_AND_NITROGEN_IN_THE_CORN_CROP_YIELD). acesso em: 17 out. 2025.

BURDMAN, S. OKON, Y. JURKEVITH, E. Surface Characteristics of Azospirillum brasilense in Relation to Cell Aggregation and Attachment to Plant Roots. **Critical Reviews in Microbiology**. 2008. <https://doi.org/10.1080/10408410091154200>. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/ref/10.1080/10408410091154200?scroll=top>. Acesso em: 15 set. 2025.

CANELAS, L. P.; SILVA, R. M.; BUSATO, J. G.; OLIVARES, F. L. Humic substances and plant abiotic stress adaptation. **Chem. Biol. Technol. Agric.** 2024.

<https://doi.org/10.1186/s40538-024-00575-z>. disponível em:

<https://chembioagro.springeropen.com/articles/10.1186/s40538-024-00575-z>. Acesso em: 19 out. 2025.

CANTERI, M. G.; ALTHAUS, R. A.; VIRGENS, J. S. F.; GICLOTI, E. A.; GODOY, G. V. SASM – AGRI: Sistema para análise e separação de medias. **Revista Brasileira de Agrocomputação**. v. 1. 2001.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. D.; REIS, E. F. D.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 147-157, 2009.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/bnxYX3F8qNyvcYqZNCmR4Tn/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em: 22 jul. 2025

CHEN, Y.; CLAPP, C. E.; MAGEN, H. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances: The role of organo-iron complexes. **Soil Science and Plant Nutrition**. v. 50.

2004. DOI:10.1080/00380768.2004.10408579. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/254319767\\_Mechanisms\\_of\\_plant\\_growth\\_stimulation\\_by\\_humic\\_substances\\_The\\_role\\_of\\_organo-iron\\_complexes](https://www.researchgate.net/publication/254319767_Mechanisms_of_plant_growth_stimulation_by_humic_substances_The_role_of_organo-iron_complexes). Acesso em: 17 out. 2025.

CHEN, Y.; AVIAD, T.; NOBILI, M. Stimulatory Effects of Humic Substances on Plant Growth. **Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture**. 2010.

DOI:10.1201/9780203496374.ch4. disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/365537288\\_Stimulatory\\_Effects\\_of\\_Humic\\_Substances\\_on\\_Plant\\_Growth](https://www.researchgate.net/publication/365537288_Stimulatory_Effects_of_Humic_Substances_on_Plant_Growth). Acesso em: 17 out. 2025.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; ALVEZ, V. M. C.; PITTA, G. V. E. Exigências Nutricionais da Planta. **EMBRAPA**. 2021. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/manejo-do-solo-e-adubacao/adubacao-e-fertilidade-do-solo/exigencias-nutricionais-da-planta>.

Acesso em: 05 jun. 2025

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2024/2025 – 12º levantamento**. Brasília: CONAB, 2025. Disponível em: [https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/12o-levantamento-safra-2024-25/e-book\\_boletim-de-safras-12o-levantamento\\_2025.pdf](https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/12o-levantamento-safra-2024-25/e-book_boletim-de-safras-12o-levantamento_2025.pdf). Acesso em: 03 set. 2025.

CONCEIÇÃO, P. M.; VIEIRA, H. D.; CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; CONCEIÇÃO, P. S. Efeito dos ácidos húmicos na inoculação de bactérias diazotróficas endofíticas em sementes de milho. **Cienc. Rural**. v. 39. 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000137>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/qZHGzW3R6gCjwy88FRbd9Nf/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 20 out. 2025.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R. BORGHI, E. MIRANDA, R. A.; SILVA, A. F.; SILVA, D. D.; MACHADO, J. R. A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V.; MENDES, S. M. Milho - Caracterização e Desafios Tecnológicos. **ReserchGate**. 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Rubens-Miranda-2/publication/342476155\\_SERIE\\_DESAFIOS\\_DO\\_AGRONEGOCIO\\_BRASILEIRO\\_NT2\\_Milho\\_-\\_Caracterizacao\\_e\\_Desafios\\_Tecnologicos/links/5ef5f8a1a6fdcc4ca4313222/SERIE-DESAFIOS-DO-AGRONEGOCIO-BRASILEIRO-NT2-Milho-Caracterizacao-e-Desafios-Tecnologicos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rubens-Miranda-2/publication/342476155_SERIE_DESAFIOS_DO_AGRONEGOCIO_BRASILEIRO_NT2_Milho_-_Caracterizacao_e_Desafios_Tecnologicos/links/5ef5f8a1a6fdcc4ca4313222/SERIE-DESAFIOS-DO-AGRONEGOCIO-BRASILEIRO-NT2-Milho-Caracterizacao-e-Desafios-Tecnologicos.pdf). Acesso em: 25 mai. 2025.

COSTA, F. M.; VIDAL, F.; SILVA, N. C. A.; VEASEY, E. A.; FREITAS, F. O.; ZUCCHI, M. I. Archaeological findings show the extent of primitive characteristics of maize in South America. **Science Advances**. 2024. DOI: 10.1126/sciadv.adn1466. Disponível em: <https://www.science.org/doi/full/10.1126/sciadv.adn1466>. Acesso em: 19 mai. 2025.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; PINHEIRO, E. F. M.; VALLADARES, G. S. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. **Solos e Nutrição de Plantas**. 2011. [doi.org/10.1590/S0006-87052011000100022](https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000100022). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/WYdJwNgDS7cPBhzsLN6ztMJ/?lang=pt>. Acesso em: 12 set. 2025.

ELHINDI, K. M.; ALMANA, F. A.; AL-YAFRSI, M. A. Role of Humic Acid on Inducing Salt Tolerance of Ivy Geranium (*Pelargonium peltatum* L.) **Plants. Horticulturae**. v. 9. 2023. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9091012>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2311-7524/9/9/1012>. Acesso em: 16 out. 2025.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para regiões tropicais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, nº8, novembro de 2010. Acesso em: 23 ago. 2025.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – **Nutrição e adubação do milho**. 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2025.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Agropensa**. 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agropensa/agro-em-dados/agricultura/milho>. Acesso em: 23 mai. 2025.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Relações com o solo**. 2021 Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente/relacoes-com-o-solo>. Acesso em: 04 set. 2025.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Biologia do Solo**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/sistema-plantio-direto/fundamentos/beneficios/ao-solo/biologia-do-solo>. Acesso em: 05. jan. 2026.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Microrganismos**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/sistema-plantio-direto/fundamentos/beneficios/ao-solo/biologia-do-solo/microrganismos>. Acesso em: 05. jan. 2026.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Nitrogênio em cobertura na cultura do milho em preparo convencional e plantio direto consolidados. **Pesq. Agropec. Trop.** v. 42, n. 1. P. 63-70. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/mqNL3dMR5Sqjzbz9JCzg9fVr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18. mai. 2025.

FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; DIDONET, C. C. G. M. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Rev. Ciênc. Agron.** 48 (1). 2017. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/Rg5L5zBmmxzRr5Jn4YtjHXq/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 05 out. 2025.

FRANÇA, G. E.; COELHO, A. M. 2006. **Nutrição e Adubação do Milho**. Ed1. Sete Lagoas. EMBRAPA. 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2025

FUKAMI, J.; NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S. & HUNGRIA, M. Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. **AMB Express**, vol. 6, art. 3. <https://doi.org/10.1186/s13568-015-0171-y>. Disponível em: <https://www.amb-express.com/content/6/1/3>. Acesso em: 12. set. 2025.

GALAMBOS, N., COMPANT, S., MORETTO, M., SICHER, C., PUOPOLO, G., WÄCKERS, F. Humic acid enhances the growth of tomato promoted by endophytic bacterial strains through the activation of hormone-, growth-, and transcriptionrelated processes. **Front. Plant Sci.** v. 11. 2020. doi: 10.3389/fpls.2020.582267, 2020. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2020.582267/full>. Acesso em: 18 out. 2025

GARCÍA, A. C.; CASTRO, T. A. V. T.; BERBARA, R. L. L.; TAVARES, O. C. H.; ELIAS, S. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; PEREIRA, M. G.; ZONTA E. Revisão Sobre a Relação Estrutura-Função das Substâncias Húmicas e a sua Regulação do Metabolismo Oxidativo em Plantas. **Rev. Virtual Quim.**, 2019, 11 (3). DOI: 10.21577/1984-6835.20190055. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v11n3a14.pdf>.

Acesso em: 15 out. 2025.

GARCÍA, A. C.; SANTOS, L. A.; IZQUIERDO, F. G.; RUMJANEK, V. M.; CASTRO, R. N.; DOS SANTOS, F. S.; BERBARA, R. L. L. Potentialities of vermicompost humic acids to alleviate water stress in rice plants (*Oryza sativa* L.). **Journal of Geochemical Exploration**. v. 48. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.10.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0375674213001969>. Acesso em: 17 out. 2025.

GUO, X.; LIU, H.; WU, S. Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. **Sci Total Environ**. 2019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.137. disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30695750/>. Acesso em: 21 out. 2025.

HERMOSA, R.; VITERBO, A.; CHET, I.; MONTE, E. Efeitos benéficos para as plantas de *Trichoderma* e de seus genes. **Microbiologia Society** .2012; v. 158 DOI: 10.1099/mic.0.052274-0. Disponível em: <https://www.microbiologyresearch.org/content/journal/micro/10.1099/mic.0.052274-0>. Acesso em: 14 out. 2025.

HITA, D.; FUENTES, M.; ZAMARREÑO, A. M.; RUIZ, Y.; GARCIA-MINA, J. M. Culturable bacterial endophytes from sedimentary humic acid-treated plants. **Front. Plant Sci**. 2020. doi: 10.3389/fpls.2020.00837. disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32636861/>. Acesso em: 18 out. 2025.

HUNGRIA, M. Azospirillum: um velho novo aliado. **Embrapa**. 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1057259/azospirillum-um-velho-novo-aliado>. Acesso em: 19. set. 2025.

HUNGRIA, M. Inoculação com *Azospirillum* brasilense: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: **EMBRAPA SOJA**, 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/879471/inoculacao-com-azospirillum-brasilense-inovacao-em-rendimento-a-baixo-custo>. Acesso em: 19 set. 2025.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/milho-em-grao/br>. Acesso em: 23 mai. 2025

JARDINI, D. C.; SOUZA, I. T. J.; ORMOND, M. S.; MAIA, R. F. S. R. Eficiência da bactéria *methylobacterium symbioticum* e *azospirillum brasilense* na fixação biológica de nitrogênio e promoção de crescimento na cultura do milho. **Revista FT**. v. 29. 2025. DOI: 10.69849/revistaft/fa10202508301609. Disponível em: <https://revistaft.com.br/eficiencia-da-bacteria-methylobacterium-symbioticum-e-azospirillum-brasilense-na-fixacao-biologica-de-nitrogenio-e-promocao-de-crescimento-na-cultura-do-milho/>. Acesso em 13. out. 2025.

KENNEDY, I. R.; CHOUDHURY, A. T. M. A.; KECSKÉS, M. L. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better explored. **Soil Biology and Biochemistry**. 2004. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.04.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071704001221>. Acesso em 19 set.

2025.

LI, Y.; FANG, F.; WEI, J.; WU, X.; CUI, R.; LI, G.; ZHENG, F.; TAN, D. Humic acid fertilizer improved soil properties and soil microbial diversity of continuous cropping peanut: a three year experiment. **Scientific reports**, v. 9. 2019. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48620-4>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-48620-4>. Acesso em: 20 out. 2025.

LIMA, L. S.; ARRIEL, M. T. E.; PACHECO, K. R.; PEIXOTO, J. C. Uso de trichoderma spp. na promoção de crescimento na cultura do arroz. **Ipê Agronomic Journal** – V.7. 2023. DOI: 10.37951/2595-6906.2023v7i1.9454. Disponível em: <file:///C:/Users/eduar/Downloads/jmoura,+9454+USO+DE+Trichoderma+spp.+NA+PROMO%C3%87%C3%83O+DE+CRESCIMENTO+NA+CULTURA+DO+ARROZ.pdf>. Acesso em: 14 out. 2025

MAEDA, S. **Condicionadores de solo**. Embrapa Floresta. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/eucalipto/pre-producao/insumos/condicionadores-de-solo>. Acesso em: 27 set. 2025.

MACAHDO, D. F. M.; PARZIANELLO, F. R.; SILVA, A. C. F.; ANTONIOLLI, Z. I. Trichoderma no Brasil: o fungo e o bioagente. **Rev. de Ciências Agrárias** vol.35 no.1 Lisboa. 2012. Disponível em: [https://scielo.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0871-018X2012000100026](https://scielo.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2012000100026). Acesso em: 14 out. 2025.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 35**, Brasília. 2006. Disponível em: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/bra67952.pdf>. Acesso em: 15 out. 2025.

MENDES, I. C.; SOUZA, D. M. G.; REIS, J. F. B.; KAPPES, C.; ONO, F. B.; SEMLER, T. D.; ZANCANARO, L.; LOPES, A. A. C. **Qualidade biológica do solo: Por que e como avaliar**. Boletim de Pesquisa da Fundação MT. 1.ed. Rondonópolis: Fundação MT, v. 1, 2017. p. 98-105. disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199833/1/CircTec-38-Ieda-Mendes.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2024

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. de. **Matéria orgânica do solo: métodos de análise**. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 217 p. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/323613044\\_Materia\\_Organica\\_do\\_Solo\\_Metodos\\_de\\_Analises](https://www.researchgate.net/publication/323613044_Materia_Organica_do_Solo_Metodos_de_Analises). Acesso em: 08 ago. 2025

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. **Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises**. 3. ed. UFV-Gefert. 2017. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/323613044\\_Materia\\_Organica\\_do\\_Solo\\_Metodos\\_de\\_Analises](https://www.researchgate.net/publication/323613044_Materia_Organica_do_Solo_Metodos_de_Analises). Acesso em: 20 out. 2025.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p. Disponível em: <https://www.bibliotecaagpatea.org.br/agricultura/biologia/livros/MICROBIOLOGIA%20E%20BIOQUIMICA%20DO%20SOLO.pdf>. Acesso em: 19. jun. 2025.

MORZELLE, M. C.; PETERS, L. P.; ANGELINI, B. G.; CASTRO, P. R. C.; MENDES, A. C. C. M. **Agroquímicos estimulantes, extratos vegetais e metabólitos microbianos na agricultura**. Série produtor rural – nº63. 1. ed. Piracicaba: ESALQ – Divisão de biblioteca, 2017. 96 p. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/biblioteca/sites/default/files/publicacoes-a-venda/pdf/SPR63.pdf>. Acesso em: 01 out. 2025.

MUKHERJEE, P. K.; MENDOZA, A. M.; ZEILINGER, S.; HORWITZ, B. A. Mycoparasitism as a mechanism of Trichoderma-mediated suppression of plant diseases. **Fungal Biology Reviews**. v 39. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2021.11.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1749461321000567>. Acesso em: 14 out. 2025.

NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D. MUSCOLO, A.; VIANELLO, A. Physiological effects of humic substances on higher plants. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 34. 2002. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00174-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00174-8). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071702001748>. Acesso em: 16 out. 2025.

OCEPAR - **Sindicato e Organização das Cooperativas do Estado do Paraná**. 2025. Disponível em:

[https://www.paranacooperativo.coop.br/images/unidades/pr/comunicacao/2025/informes/IA\\_n01\\_Acompanhamento\\_Safra.pdf](https://www.paranacooperativo.coop.br/images/unidades/pr/comunicacao/2025/informes/IA_n01_Acompanhamento_Safra.pdf). Acesso em: 15 set. 2025.

OLIVEIRA, A. P. L.; OLIVEIRA, E. P.; LIMA, Z. C. M.; MIRANDA, P. S.; NOBREGA, R. S. A.; LEAL, P. L. Contribuições das bactérias fixadoras de nitrogênio em parâmetros de desenvolvimento do milho. **Cadernos Macambira**, [S. l.], v. 8, n. especial2, p. 74, 2024. Disponível em: <https://revista.lapprudes.net/CM/article/view/1302>. Acesso em: 13 out. 2025.

OLIVEIRA, K. C.; SANTOS, T. F. S. S.; ROSA, C. R. J.; VIEIRA, R. C. Alteração da biodiversidade microbiana do solo devido ao cultivo agrícola: uma revisão.

**Research Society and Development** 11(15). 2022. DOI:10.33448/rsd-v11i15.37168.

Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/365954409\\_Alteracao\\_da\\_biodiversidade\\_microbiana\\_do\\_solo\\_devido\\_ao\\_cultivo\\_agricola\\_uma\\_revisao](https://www.researchgate.net/publication/365954409_Alteracao_da_biodiversidade_microbiana_do_solo_devido_ao_cultivo_agricola_uma_revisao). Acesso em: 14 out. 2025.

OLIVEIRA, J. A. D., CASTRO, C. D., OLIVEIRA, F. A., KLEPKER, D. Fertilidade do solo e avaliação do estado nutricional da soja. In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C.

**Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa, 2020. Cap. 7, p. 133-184. disponível em: [https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1128401?locale=pt\\_BR](https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1128401?locale=pt_BR). Acesso em: 14 mar. 2024.

OLIVARES, F. L.; BUSATO, J. G.; PAULA, A. M.; LIMA, L. S.; AGUIAR, N. O.; CANELLAS, L. P. Plant growth promoting bacteria and humic substances: crop promotion and mechanisms of action. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**. v. 4. 2017. DOI: 10.1186/S40538-017-0112-X. disponível em: <https://chembioagro.springeropen.com/articles/10.1186/s40538-017-0112-x>. Acesso em: 18 out. 2025

OHKOUCHI, T.; TSUJI, K. Basic Technology and Recent Trends in Agricultural Formulation and Application Technology. **Journal of Pesticide Science**. 2022. <https://doi.org/10.1584/jpestics.D22-055>. Disponível em: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpestics/47/4/47\\_D22-055/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpestics/47/4/47_D22-055/_article).

PALECKIENE, R.; NAVIKAITE, R.; SLINKSIENE, R. Turfa como matéria-prima para nutrientes vegetais e substâncias húmicas. **Sustainability**, 13, 6354. 2021. <https://doi.org/10.3390/su13116354>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/11/6354>. Acesso em: 10 nov. 2025.

PASCUAL, J. A.; ROS, M.; MARTÍNEZ, J.; CARMONA, F.; BERNABÉ, A.; TORRES, R.; FERNÁNDEZ, F. *Methylobacterium symbioticum* sp. uma nova espécie isolada de esporos de *Glomus iranicum* var. *tenuihypharum*. **Current Microbiology**, v. 77, n. 9, p. 2031–2041, 2020. doi: 10.1007/s00284-020-02101-4. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32594222/>. Acesso em: 02 out. 2025.

PEREIRA, J. C.; NEVES, M. C. P.; DROZDOWICZ, A. Dinâmica das populações bacterianas em solos de Cerrados. **Pesq. agropec. bras.** v.34, n.5, p. 801-811, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999000500011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/MPBhjMW8rrVjpVHznCVK4fy/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 08 out. 2025.

PEREIRA, B. L. S.; COELHO, E. F.; XAVIER, F. A. S.; SOUZA, L. D.; LIMA, J. C. L. Ácidos húmicos melhoram atributos de um Latossolo Amarelo, mas sem afetar a produtividade da bananeira (cv. BRS Princesa). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**. v. 12 n. 1. 2024. DOI:10.5281/zenodo.11266599. Disponível em: <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/1514>. Acesso em: 15 out. 2025.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. J.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285 p. Disponível em: [https://lab.iac.sp.gov.br/Publicacao/Raij\\_et\\_al\\_2001\\_Metod\\_Anal\\_IAC.pdf](https://lab.iac.sp.gov.br/Publicacao/Raij_et_al_2001_Metod_Anal_IAC.pdf). Acesso em: 17 dez. 2025.

REZENDE, C. C.; SILVA, M. A.; FRASCA, L. L. M.; FARIA, D. R.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; NASCENTE, A. S. Microrganismos multifuncionais: uso na agricultura. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 2, p. e50810212725, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i2.12725. Disponível em: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/12725>. Acesso em: 13 out. 2025.

RIMA, J. A. H.; MARTIM, S. A.; DOBBS, L. B.; EVARISTO, J. A. M.; RETAMAL, C. A.; FAÇANHA, A. R.; CANELLAS, L. P. Adição de ácido cítrico potencializa a ação de ácidos húmicos e altera o perfil proteico da membrana plasmática em raízes de milho. **Cienc. Rural**. v. 41. 2011. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000400011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/dwvWsD4hvhxtxz9Z8KmxFHn/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 16 out. 2025.

R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.r-project.org/>.

SCHRÖDER, J.J.; NEETESON, J.J.; OENEMA, O. & STRUIK, P.C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. **Field Crop Res.**, 66:151-154, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00072-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00072-1). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429000000721>. Acesso em: 29 mai. 2025.

SILVA, R. R. D.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. D. S.; CURI, N.; ALVIM, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 1585–1592, 2010.

SILVA, R. R. D.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. D. S.; CURI, N.; ALIVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 1585-1592, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000500011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/7yR7dzVHKWywBNhLkJphLjz/?lang=pt>. Acesso em: 19 jul. 2025.

SILVA, L. E. B.; SILVA, J. C. S.; SOUZA, W. C. L.; LIMA, L. L. C.; SANTOS, R. L. V. Desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.): revisão de Literatura. **ResearchGate**. 2020. DOI:10.17648/diversitas-journal-v5i3-869. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/343387964\\_Desenvolvimento\\_da\\_cultura\\_do\\_milho\\_o\\_Zea\\_mays\\_L\\_revisao\\_de\\_literatura](https://www.researchgate.net/publication/343387964_Desenvolvimento_da_cultura_do_milho_o_Zea_mays_L_revisao_de_literatura). Acesso em: 19 mai. 2025.

SIMÃO, E. P.; RESENDE, A. V.; GONTIJO, N. M. M.; BORGHI, E.; MARTINS, D. C.; VANIN, A. Demanda de nutrientes pelo milho safrinha em função da época de semeadura e adubação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, n.3, p. 481-494, 2017. [doi.org/10.18512/1980-6477/](https://doi.org/10.18512/1980-6477/). Disponível em: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/83436179/pdf-libre.pdf?1649423447=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3Doff\\_season\\_corn\\_nutrient\\_demand\\_accordin.pdf&Expires=1759880507&Signature=DxiodED~Bd1yJneKAGPPEw~6IYkadsVclwEvm7oQ509G5L0kKID075TsFIRp3dzFQIRihNmowdtBRBZ205O543FG3t5XuEHNQPXfPV3smx9EjfxBCMavw-EvpYBN2Lsb-QSIIAeQaITC~i7uCGFpYPJesunZ1EMbFOCnquZxyhWiRxZa0XoO84S4yAVpJE90TYdpFZxaJcSV0wFo5BnNqr61VBXDDmBwAyQPeUBL5D0Eq4AGdPi1-PrOUwBpznO4IpbVHc4q0kWoV1ZQwHfGB9tLuD26K56X70PxdpwpqT6xhmPXB5G~JFYym8eYgIICw~urxnJib6III1DKK6baQA\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/83436179/pdf-libre.pdf?1649423447=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3Doff_season_corn_nutrient_demand_accordin.pdf&Expires=1759880507&Signature=DxiodED~Bd1yJneKAGPPEw~6IYkadsVclwEvm7oQ509G5L0kKID075TsFIRp3dzFQIRihNmowdtBRBZ205O543FG3t5XuEHNQPXfPV3smx9EjfxBCMavw-EvpYBN2Lsb-QSIIAeQaITC~i7uCGFpYPJesunZ1EMbFOCnquZxyhWiRxZa0XoO84S4yAVpJE90TYdpFZxaJcSV0wFo5BnNqr61VBXDDmBwAyQPeUBL5D0Eq4AGdPi1-PrOUwBpznO4IpbVHc4q0kWoV1ZQwHfGB9tLuD26K56X70PxdpwpqT6xhmPXB5G~JFYym8eYgIICw~urxnJib6III1DKK6baQA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA). Acesso em: 07 set. 2025.

SPARLING, G. P.; WEST, A. W. Modifications to the fumigation–extraction technique to permit simultaneous measurement of soil microbial biomass C and soil enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 20, n. 3, p. 337–343, 1988.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO – SBCS; NÚCLEO ESTADUAL PARANÁ – NEPAR. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. 1. ed. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482 p. Disponível em: <https://sbc-snepar.org.br/>. Acesso em: 14 dez. 2025.

SOUZA, A. E.; REIS, J. G. M.; RAYMUNDO, J. C.; PINTO, R. S. Estudo da produção do milho no Brasil: regiões produtoras, exportação e perspectivas. **South American Development Society Journal**, v. 4, n. 11, p. 182, 2018. <https://doi.org/10.24325/issn.2446-5763.v4i11p182-194>. Disponível em: <http://sadsj.org/index.php/revista/article/view/150>. Acesso em: 23 mai. 2025

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, n. 5). Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/362494561/Analise-de-solos-plantas-e-outros-materiais-Tedesco-et-al-1995-pdf>. Acesso em: 12 ago. 2025.

TONIN, J. ROSALEM, L. J. O. S. JUNIOR, A. P. ALVES, A. F. Milho safrinha no estado do Paraná: análise para os anos dos censos agropecuários de 2006 e 2017. **ResearchGate**. 2022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/364114008\\_Milho\\_safrinha\\_no\\_estado\\_do\\_Parana\\_analise\\_para\\_os\\_anos\\_dos\\_censos\\_agropecuarios\\_de\\_2006\\_e\\_2017](https://www.researchgate.net/publication/364114008_Milho_safrinha_no_estado_do_Parana_analise_para_os_anos_dos_censos_agropecuarios_de_2006_e_2017). Acesso em: 28 mai. 2025

TROYJACK, C.; PIMENTEL, J. R.; PADILHA, Í. T. D.; ESCALERA, R. A. V.; JAQUES, L. B. A.; KOCH, F.; MONTEIRO, M. A.; DEMARI, G. H.; SZARESKI, V. J.; CARVALHO, I. R.; SCHUCH, L. O. B.; AUMONDE, T. Z.; PEDÓ, T. Nitrogen Fertilization on Maize Sowing: Plant Growth and Seed Vigor. **American Journal of Plant Sciences**, Capão do Leão, Federal University of Pelotas, 2018. DOI: 10.4236/ajps.2018.91008. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=81799>. Acesso em: 10 jun. 2025.

USDA: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Why Do Ag Exports Matter to U.S. Farmers and the U.S. Economy. 2025. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/>. acesso em: 07 nov. 2025.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, n. 6, p. 703–707, 1987. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0038071787900526>. Acesso em: 10 ago. 2025.

VERA, R. T.; GARCIA, A. J. B.; ALVAREZ, F. J. C.; RUIZ, J. M.; MARTIN, F. F. Application and effectiveness of *Methylobacterium symbioticum* as a biological inoculant in maize and strawberry crops. **Folia Microbiologica**. V 69, 2024. <https://doi.org/10.1007/s12223-023-01078-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12223-023-01078-4>. Acesso em: 10 jan. 2026.

VIDAL, J. L.; SIMÕES, C. T.; SILVA, C. R.; SCHLOSSER, L. M. L.; MADALOSSO, T. MALLMANN, C. A. Productivity, nutritional composition, and presence of mycotoxins in different corn hybrids. **Cienc. Rural**. V 54, 2024. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20230549>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/FrVhCvyzJt3WxWtQCb5rHbc/?lang=en>. Acesso em: 08 jun. 2025

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil**

**Science**, v. 37, p. 29–38, 1934. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/AN-EXAMINATION-OF-THE-DEGTJAREFF-METHOD-FOR-SOIL-A-Walkley-Black/eecb5d669b581f6c0bfdabc3da678a709e624a7f>. Acesso em: 12 ago. 2025.