

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL  
ÁREA: CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**GEISSELEN ANDRADE LAURIUCHI**

***Bacillus subtilis* CCT-7840 pode ser utilizado como bioinsumo para disponibilizar nutrientes e promover o crescimento do sorgo?**

UBERLÂNDIA - MG  
Janeiro, 2024

**GEISSIELEN ANDRADE LAURIUCHI**

***Bacillus subtilis* CCT-7840 pode ser utilizado como bioinsumo para disponibilizar nutrientes e promover o crescimento do sorgo?**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental – Mestrado, área de concentração em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental, para a obtenção do título de “Mestre”.

Área de concentração: Meio Ambiente e Qualidade Ambiental.

**Orientador: Prof. Dr. Lucas Carvalho Basílio de Azevedo**

UBERLÂNDIA- MG  
Janeiro, 2024

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

L386 2024	<p>Lauriuchi, Geissielen Andrade, 1998- Bacillus subtilis CCT-7840 pode ser utilizado como bioinsumo para disponibilizar nutrientes e promover o crescimento do sorgo? [recurso eletrônico] / Geissielen Andrade Lauriuchi. - 2024.</p> <p>Orientador: Lucas Carvalho Basílio de Azevedo. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Qualidade Ambiental. Modo de acesso: Internet. Disponível em: <a href="http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.71">http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.71</a> Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Desenvolvimento sustentável. I. Azevedo, Lucas Carvalho Basílio de, 1980-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Qualidade Ambiental. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 502.33</p>
--------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Qualidade Ambiental (PPGMQ)				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 02/2024, PPGMQ				
Data:	25 de janeiro de 2024	Hora de início:	08:30	Hora de encerramento:	12:10
Matrícula da Discente:	12212MQA017				
Nome da Discente:	Geissielen Andrade Lauriuchi				
Título do Trabalho:	<i>Bacillus subtilis</i> CCT-7840 pode ser utilizado como bioinsumo para disponibilizar nutrientes e promover o crescimento do sorgo?				
Área de concentração:	Meio Ambiente e Qualidade Ambiental				
Linha de pesquisa:	Processos Ambientais				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	EFEITOS DE ISOLADOS MICROBIANOS SOBRE A PLANTA, A RIZOSFERA E O SOLO				

Reuniu-se por meio de web conferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental (PPGMQ), assim composta: Prof. Dr. Lucas Carvalho Basilio de Azevedo (Orientador); Prof. Dr. Gilberto de Oliveira Mendes (UFU); e Prof. Dr. Eder da Costa dos Santos (UTFPR).

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa Prof. Dr. Lucas Carvalho Basilio de Azevedo apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Lucas Carvalho Basilio de Azevedo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 25/01/2024, às 12:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gilberto de Oliveira Mendes, Professor(a) do Magistério Superior**, em 25/01/2024, às 13:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eder da Costa dos Santos, Usuário Externo**, em 31/01/2024, às 15:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5122346** e o código CRC **D7B3C155**.

*“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará  
ao seu tamanho original.”*

*Albert Einstein*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à empresa BIOSAG® pelo financiamento de toda a pesquisa, que sem ela não teria sido possível a realização desse estudo, estando sempre presente com o fornecimento de recursos técnicos e financeiros

Agradeço à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), a Pró-reitora de Pesquisa e Pós-graduação (PROPP-UFU), ao Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) e ao Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental – UFU pelo incentivo a pesquisa e ao desenvolvimento sustentável e ambiental.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo fomento, apoio financeiro e consolidação do programa de pós-graduação stricto sensu em qualidade Ambiental e demais programas no Brasil

Agradeço ao meu esposo, Yuri Teixeira de Almeida, pelo seu constante companheirismo, incentivo, força, paciência, auxílio, carinho e ombro amigo. Muito obrigada por tornar esta jornada mais leve.

Agradeço aos meus pais, Weder e Francielle, aos meus irmãos (Goda, Didi e Nines) e às amigas de longa data (Mari, Nath e Thaisinha), a Maria Clara, por estarem ao meu lado ao longo desta trajetória.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Lucas Carvalho Basílio de Azevedo, pela oportunidade concedida, pela paciência, compreensão, amizade, incentivo e dedicação durante a orientação na concepção deste projeto. Agradeço imensamente pelo apoio, pelos valiosos conselhos e pela assistência fundamental na construção da minha jornada profissional. Além disso, sou grata à Professora Doutora Adriane de Andrade Silva por sua motivação, incentivo, compreensão e apoio constante nos momentos mais desafiadores.

Agradeço ao Professor Doutor Maurício Martins, pelo conhecimento passado, pela disposição em auxiliar no experimento. Todos os técnicos de laboratórios, técnicos e funcionários da Fazenda Glória.

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 Hipótese.....	16
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
2.1 Geral.....	16
2.2 Específicos .....	16
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
3.1 Bioinsumos.....	17
3.2 Microbiota do solo .....	18
3.3 Bactérias Promotoras do Crescimento de Plantas (BPCP).....	19
3.4 O gênero <i>Bacillus</i> .....	20
3.5 <i>Bacillus subtilis</i> como promotora de crescimento.....	21
3.5 <i>Bacillus subtilis</i> como Agente de Controle Biológico (ACB) em plantas .....	22
3.5 Necessidades nutricionais do sorgo.....	25
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>26</b>
4.1 Localização do experimento em campo .....	26
4.2 Preparação do solo .....	28
4.4 Preparo e aplicação da suspensão com <i>Bacillus subtilis</i> .....	29
4.5 Semeadura .....	30
4.6 Acompanhamento do experimento.....	30
4.7 Parâmetros avaliados.....	31
4.7.1 Determinação da fertilidade do solo, nutrição da planta e massa seca da parte aérea.....	31
4.7.2 Determinação da produtividade .....	31
4.7.3 Determinação da respiração basal do solo (RBS) .....	32
4.7.4 Determinação do Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (CBM-S) e quociente metabólico do solo (qCO <sub>2</sub> ) .....	33
4.7.5 Determinação do potencial enzimático do solo.....	34
4.8 Estatística .....	36
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>37</b>
5.1 Análise de Componentes Principais (PCA).....	37
5.2 Massa seca da parte aérea da cultura de sorgo .....	41
5.3 Fertilidade do solo.....	41
5.4 Nutrição da planta .....	44
5.5 Produtividade .....	46
5.6 Respiração Basal do Solo (RBS) e quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> ) .....	47

5.7 Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (CBM-S).....	48
5.8 Potencial enzimático do solo.....	49
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>53</b>



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Representa os principais mecanismos do *Bacillus subtilis* no controle biológico e promoção do crescimento em plantas. Esses mecanismos incluem a síntese de uma variedade de metabólitos secundários, como compostos antimicrobianos, que podem proporcionar vantagens em nichos ecológicos específicos. Além disso, a figura destaca o papel da bactéria na promoção do crescimento das plantas, na resistência sistêmica e na indução de resistência sistêmica, afetando os metabólitos associados a várias vias. Esses mecanismos ilustram a capacidade multifacetada do *B. subtilis* em interagir molecularmente com as plantas para promover seu crescimento e proteção contra patógenos..... 24
- Figura 2:** Localização da fazenda experimental do Campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia..... 26
- Figura 3:** Localização das áreas de instalação do experimento, área 1 textura de média/arenosa a 890m de altitude e área 2 de textura argilosa a 919m de altitude..... 27
- Figura 4:** Volume de precipitação nos meses de ensaio e temperatura média. .... 27
- Figura 5:** Desenho esquemático dos tratamentos e parcelas experimentais na área 1(a) solo de textura média/arenosa e 2 (b) solo de textura argilosa. .... 29
- Figura 6:** Biplot da análise de componentes principais (PCA) em (solo de textura média/arenosa), a partir dos dados de análise químicas e biológicas do solo, produtividade e nutrição do sorgo cultivado a campo com aplicação ou não do produto. Os símbolos de círculo azul representam as amostras do tratamento controle, enquanto os símbolos de círculo vermelho representam o tratamento com aplicação de produto contendo *Bacillus subtilis*. Os símbolos maiores representam os centróides das amostras de cada tratamento. Os vetores representam as variáveis utilizadas na PCA..... 39
- Figura 7:** Biplot da análise de componentes principais (PCA) em (solo de textura argilosa), a partir dos dados de análise químicas e biológicas do solo, produtividade e nutrição do sorgo cultivado a campo com aplicação ou não do produto. Os símbolos de círculo azul representam as amostras do tratamento controle, enquanto os símbolos de círculo vermelho representam o tratamento com aplicação de produto contendo *Bacillus subtilis*. Os símbolos maiores representam os centróides das amostras de cada tratamento. Os vetores representam as variáveis utilizadas na PCA..... 40

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Pesquisas realizadas que obtiveram respostas positivas para promoção do crescimento em plantas utilizando inóculos de <i>B. subtilis</i> . .....	22
<b>Tabela 2:</b> Pesquisas realizadas que obtiveram respostas positivas utilizando inóculos de <i>B. subtilis</i> como agente de controle .....	24
<b>Tabela 3:</b> Fertilidade inicial do solo coletado na Área 1 e 2, para posterior cultivo do sorgo. No mês de março, Uberlândia, 2023. ....	28
<b>Tabela 4:</b> Média mais o desvio padrão referente a massa seca (g), coletadas nas áreas 1 e 2. ..	41
<b>Tabela 5:</b> Fertilidade de solos de textura média/arenosa e argilosa utilizado para desenvolvimento de sorgo comparando os tratamentos de aplicação de isolado bacteriano .....	43
<b>Tabela 6:</b> Apresenta os resultados dos parâmetros de nutrição da planta de sorgo, os quais demonstraram uma interação estatisticamente significativa na análise sob o esquema fatorial, considerando ambas as texturas de solo e entre os tratamentos. ....	44
<b>Tabela 7:</b> Nutrição da planta de sorgo, em ambas as texturas de solo comparando os tratamentos com e sem a aplicação do isolado bacteriano. ....	46
<b>Tabela 8:</b> Apresenta os resultados do parâmetro produtividade da planta de sorgo. ....	47
<b>Tabela 9:</b> Apresenta os resultados da respiração basal do solo e cociente metabólico, nos dois parâmetros não houve interação estatisticamente significativa na análise sob o esquema fatorial, considerando ambas as texturas de solo e entre os tratamentos. ....	47
<b>Tabela 10:</b> Apresenta os resultados do parâmetro CBM-S, considerando ambas as texturas de solo e entre os tratamentos. ....	48
<b>Tabela 11:</b> Atividades médias de FDA, arilsulfatase, $\beta$ -glicosidase e fosfatase ácida em Latossolo vermelho distrófico típico com texturas média/arenosa e argiloso cultivado com sorgo, com e sem aplicação de <i>B. subtilis</i> , Uberlândia-MG. ....	50

## LISTA DE ABREVIações

<b>ACB</b>	Agente de controle biológico
<b>Al</b>	Alumínio
<b>B</b>	Boro
<b>BA-ARG</b>	<i>Bacillus subtilis</i> em solo de textura argilosa
<b>BA-MED</b>	<i>Bacillus subtilis</i> em solo de textura média/arenosa
<b>BPCP</b>	Bactérias promotoras de crescimento de plantas
<b>C</b>	Carbono
<b>Ca</b>	Cálcio
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	Cloreto de Cálcio
<b>CBM-S</b>	Carbono da biomassa microbiana do solo
<b>C-CO<sub>2</sub></b>	Emissão de carbono orgânico
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>C-org</b>	Carbono orgânico
<b>CT-ARG</b>	Controle em solo de textura argilosa
<b>CT-MED</b>	Controle em solo de textura média/arenosa
<b>Cu</b>	Cobre
<b>DBC</b>	Delineamento em blocos casualizados
<b>FDA</b>	Diacetato de Fluoreceína
<b>Fe</b>	Ferro
<b>H+Al</b>	Acidez potencial
<b>HCl</b>	Ácido Clorídrico
<b>K</b>	Potássio
<b>K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub></b>	Dicromato de potássio
<b>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Sulfato de potássio
<b>Mg</b>	Magnésio
<b>Mn</b>	Manganês
<b>MO</b>	Matéria orgânica
<b>Mo</b>	Molibdênio
<b>MS</b>	Massa seca

<b>MUB</b>	Tampão universal modificada
<b>N</b>	Nitrogênio
<b>NaOH</b>	Hidróxido de sódio
<b>NPK</b>	Adubo formulado de nitrogênio, fósforo e potássio
<b>P</b>	Fósforo
<b>PCA</b>	Análise de componentes principais
<b>PCP</b>	Promoção de crescimento em plantas
<b>PGPR</b>	Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas
<b>PNG</b>	P-Nitrophenyl-B-D-glucosidase
<b>PNP</b>	P-nitrofenil fosfato
<b>PNS</b>	P-nitrofenil sulfato
<b>qCO<sub>2</sub></b>	Quociente metabólico
<b>RBS</b>	Respiração basal do solo
<b>S</b>	Enxofre
<b>SB</b>	Soma de bases trocáveis
<b>SS</b>	Superfosfato simples
<b>T</b>	Capacidade de troca de cátions
<b>THAM</b>	Trometamol; tris-hydroxymethyl aminomethane
<b>V%</b>	Saturação por bases
<b>Zn</b>	Zinco

## RESUMO

LAURIUCHI, Geissielen Andrade. ***Bacillus subtilis* CCT-7840 pode ser utilizado como bioinsumo para disponibilizar nutrientes e promover o crescimento do sorgo?** 2024, 62p. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024. DOI: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.71>

A agricultura convencional, que utiliza práticas como preparo do solo, pesticidas e cultivos geneticamente modificados, exerce impactos significativos no agroecossistema, o que reduz os recursos naturais e afeta a segurança alimentar em meio às mudanças climáticas. Diante disso, esta pesquisa se concentra em considerar abordagens não convencionais, como o uso de produtos biológicos que contêm a espécie *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*), com o objetivo de aprimorar a disponibilidade de nutrientes no solo, estimular a Promoção de Crescimento em Plantas (PCP) e avaliar o potencial de um produto com a cepa *B. subtilis* CCT-7840 como bioinsumo em sistemas de cultivo convencional de sorgo. Foram examinados parâmetros como massa seca das plantas, fertilidade do solo, produtividade de grãos, taxa de respiração basal do solo, teor de carbono na biomassa microbiana e potencial enzimático do solo. O experimento foi conduzido em campo, conforme o Delineamento em Blocos Casualizados (DBC), em duas classes de solo distintos, com textura média e argilosa, cujos tratamentos incluíam inóculo (ou não) distribuídos em seis blocos. Todos os resultados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e ao teste de Scott-Knott, com nível de significância de 5%, e em esquema de análise fatorial 2x2 (solo com textura média e argilosa, com e sem inóculo). Para variáveis não paramétricas, empregou-se o teste de Kruskal-Wallis, com nível de significância de 5%. Os resultados indicam que a aplicação da bactéria não demonstrou resultados significativos, como bioinsumo na cultura de sorgo e não houve aumento significativo na massa seca da parte aérea, fertilidade do solo, produtividade do sorgo, Respiração Basal do Solo (RBS), qCO<sub>2</sub>, Carbono da Biomassa Microbiana (CBM-S) e atividade enzimática com o uso do produto contendo *B. subtilis*.

**Palavras-chave:** Atividade enzimática; Disponibilidade de nutrientes; Produtividade do sorgo; Produtos biológicos; Promoção de Crescimento em Plantas.

## ABSTRACT

LAURIUCHI, GEISSIELEN ANDRADE. **Can *Bacillus subtilis* CCT-7840 be used as a bioinput to supply nutrients and promote sorghum growth?** 2024, 62p. Dissertation (Master's in Environmental Quality) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia, 2024. DOI: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.71>

Conventional agriculture, which employs practices such as soil preparation, pesticides, and genetically modified crops, has significant impacts on the agroecosystem, reducing natural resources and affecting food security amid climate change. In light of this, this research focuses on considering unconventional approaches, such as the use of biological products containing the *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*) species, with the aim of enhancing nutrient availability in the soil, promoting Plant Growth Promotion (PGP), and assessing the potential of a product with the *B. subtilis* CCT-7840 strain as a bioinput in conventional sorghum cultivation systems. Parameters such as plant dry mass, soil fertility, grain productivity, soil basal respiration rate, carbon content in microbial biomass, and soil enzymatic potential were examined. The experiment was conducted in the field, following a Randomized Complete Block Design (RCBD), in two distinct soil classes with medium and clay textures, and treatments included inoculum (or lack thereof) distributed across six blocks. All results underwent Analysis of Variance (ANOVA) and the Scott-Knott test, with a significance level of 5%, and a 2x2 factorial analysis scheme (medium and clay-textured soil, with and without inoculum). For non-parametric variables, the Kruskal-Wallis test was employed, with a significance level of 5%. The results indicate that the application of the bacterium did not show significant outcomes as a bioinput in sorghum cultivation. There was no significant increase in above-ground dry mass, soil fertility, sorghum productivity, Soil Basal Respiration (SBR), qCO<sub>2</sub>, Microbial Biomass Carbon (MBC-S), and enzymatic activity with the use of the product containing *B. subtilis*.

**Keywords:** Enzymatic activity; Nutrient availability; Sorghum productivity; Biological products; Plant Growth Promotion.

## 1 INTRODUÇÃO

A implementação de práticas de manejo e cultivo tem sido aprimorada ao longo das últimas décadas em um processo evolutivo conhecido como Revolução Neolítica, que resultou no aumento significativo na produtividade agrícola (CHILDE, 1958). Especialistas estimam que a população mundial deverá crescer em 1,7 bilhão de indivíduos até 2050, ao passar de 8 bilhões para 9,7 bilhões, o que evidencia a necessidade de elevar a produção de alimentos para satisfazer as futuras demandas alimentares (ONU, 2023).

Diante disso, a forma predominante de produção agrícola desde a Revolução Verde realiza preparo, correção e adubação do solo, bem como utiliza pesticidas e cultivares melhorados geneticamente, em que essa forma de sistema produtivo impõe impactos no agroecossistema. Em tempos de mudanças climáticas, a agropecuária tem impulsionado a diminuição dos recursos naturais, tais como a qualidade dos solos e o regime hidrológico. Os eventos climáticos extremos afetam uma produção regular de alimentos e, portanto, a segurança alimentar propriamente dita (MIRÓN; LINARES; DÍAZ, 2023).

Em vista do crescimento populacional nos próximos anos, existem maneiras tradicionais para elevar a produtividade nas áreas cultiváveis, sobretudo o uso (e a respectiva intensificação) de fertilizantes e defensivos agrícolas. Todavia, há formas consideradas não tradicionais, a exemplo do emprego de produtos biológicos e das reduções de perda que ocorrem ao longo da cadeia de transportes dos alimentos pós-colheita (CAIXETA FILHO, 2021) – tais insumos biológicos, inclusive, tendem a incorporar processos do sistema produtivo nos ciclos naturais. Diante dessa perspectiva, a inserção de novas tecnologias visa ao aumento produtivo para atender a demandas futuras, especialmente com microrganismos que melhoram a disponibilização de nutrientes na solução do solo.

Algumas espécies de rizobactérias são mencionadas na literatura devido à capacidade de solubilizar compostos (in)orgânicos e disponibilizá-los às plantas. Uma espécie que tem demonstrado efeitos benéficos é a *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*), classificada como gram-positiva e caracterizada pela presença de apenas uma camada de

peptidoglicano em sua parede celular, com morfologia bacilar (WICKE *et al.*, 2023). Ela é naturalmente encontrada em ambientes terrestres e é notável por sua capacidade de formar endósporos altamente resistentes a condições adversas, como calor extremo, radiação e carência de nutrientes. Além disso, demonstra propriedades probióticas; é empregada como Agente de Controle Biológico (ACB) em práticas agrícolas; e, devido à facilidade de cultivo em ambiente laboratorial, se revela altamente versátil, ao se sobressair por sua habilidade de produzir uma variedade de enzimas, antibióticos e compostos bioativos (CHEN *et al.*, 2023; WUMEI *et al.*, 2023; LIU *et al.*, 2023).

Juntamente com *B. subtilis* em feijão-caupi, a coinoculação de rizóbios favoreceu o aumento da massa seca e do comprimento das raízes, com melhorias na fixação biológica de nitrogênio e no crescimento das plantas (ARAÚJO *et al.*, 2009; RAMPIM *et al.*, 2020).

Assim, a aplicação de novas técnicas de cultivo que incorporam inóculos de rizobactérias emerge como alternativa promissora, com o objetivo de atender à crescente demanda por alimentos e assegurar a segurança alimentar. Os inóculos podem desempenhar papel fundamental como condicionadores do solo, ao ampliarem a eficiência na absorção de nutrientes e, por conseguinte, reduzirem a necessidade de fertilizantes e pesticidas na agricultura. Nesse contexto, o presente estudo pretende avaliar o potencial do produto *TESTE 20*, cepa CCT-7840 da rizobactéria *B. subtilis*, como bioinsumo para o condicionamento do solo em sistemas de cultivo convencional de sorgo.

### **1.1 Hipótese**

O produto com *B. subtilis* CCT-7840 pode ser utilizado como bioinsumo para disponibilizar nutrientes e promover o crescimento do sorgo.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Avaliar se a aplicação do inóculo com a cepa *B. subtilis* CCT-7840 pode promover melhorias em propriedades físico-químicas, atividade biológica do solo e crescimento da cultura do sorgo no campo.

### **2.2 Específicos**

- Determinar a massa seca das plantas;



- Indicar a fertilidade do solo e nutrição da planta;
- Apontar a produtividade de grãos;
- Definir a Respiração Basal do Solo (RBS);
- Estabelecer o Carbono da Biomassa Microbiana (CBM-S) e o quociente metabólico ( $qCO_2$ );
- Estipular o potencial enzimático do solo.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Bioinsumos

De acordo com o Artigo 2º, inciso I do Projeto de Lei (PL) n. 3.668/2021, que dispõe sobre produção, registro, comercialização, uso, destino final de resíduos e embalagens, registro, inspeção e fiscalização, pesquisa e experimentação, incentivos à produção de bioinsumos para agricultura e dá outras providências:

I – bioinsumos: o produto oriundo de substâncias de ocorrência natural vegetal, animal, microbiana e mineral, isolados ou em formulações conjugadas ou de produção artificial de substâncias, desde que idênticas as de ocorrência natural o processo ou a tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, destinado ao uso na produção, no armazenamento ou no beneficiamento de produtos agrícolas e florestais, que interfiram positivamente no crescimento, no desenvolvimento ou no mecanismo de resposta de plantas, de microrganismos e de substâncias derivadas e que interajam com produtos e processos físico-químicos e biológicos. (BRASIL, 2021).

O uso de inóculos como bioinsumos representa uma estratégia potencial para mitigar o estresse hídrico em culturas; e é uma alternativa viável para propriedades agrícolas de pequeno e médio porte, em contraste com a implementação de sistemas de irrigação. A última opção, além de demandar um elevado aporte financeiro inicial, requer a disponibilidade de volumes expressivos de água. Ademais, a eficiente absorção de nutrientes pelas plantas está intrinsecamente vinculada à disponibilidade hídrica do solo, ou seja, as condições de estresse hídrico podem comprometer a absorção de diversos nutrientes cruciais (BUITRAGO *et al.*, 2021).

Nessa conjuntura, um estudo consistiu em avaliar o potencial dos bioinsumos na atenuar o estresse no período de seca, em se tratando da cultura do feijoeiro. Constatou-se que o impacto do bioinsumo na produção foliar foi condicionado pela textura em solos franco-arenosos, ao passo que, nos argilosos, a aplicação de *Herbaspirillum frisingense* AP21 elevou a produção de matéria seca foliar após o período de estresse hídrico (ARRUDA *et al.*, 2023).

Outra pesquisa, com o objetivo de testar bioinsumos, *Purpureocillium lilacinum*, *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana* e *Trichoderma harzianum* foram avaliados na proteção de raízes de cafeeiro contra o ataque de nematoides *Meloidogyne incognita* e *M. javanica*. Os resultados demonstraram que a aplicação dos bioinsumos, de forma preventiva, ofereceu maior proteção às raízes contra nematoides – cerca de 80% maior do que com o uso de produtos químicos (CASTRO-TORO; RIVILLAS-OSORIO, 2022). Tais resultados sugerem o potencial do bioinsumo em mitigar os danos causados pelo estresse hídrico e contra espécies patogênicas, além promover melhorias na microbiota do solo.

### **3.2 Microbiota do solo**

Existem várias definições atinentes ao solo. Segundo Lepsch (2011), um dos conceitos mais adequados corresponde ao *Soil Survey Manual* (Manual sobre o Estudo de Solos, em tradução livre). Tal obra descreve o solo como emaranhado de corpos naturais que envolvem a camada superficial da Terra e constituem um meio para o desenvolvimento de plantas integrado ao clima e a organismos vivos.

Comunidades de macro e microrganismos que vivem no solo desempenham funções essenciais para a manutenção da vida, como decomposição da Matéria Orgânica (MO), ciclagem de nutrientes, controle biológico de pragas e doenças, decomposição de xenobióticos e produção de húmus e compostos complexos que atuam na agregação do solo (COBAN; DE DEYN; VAN DER PLOEG, 2022).

De fato, a quantidade de microrganismos existentes no solo é elevada e varia de acordo com as condições ambientais. Nesse sentido, os solos em condições naturais apresentam maior biodiversidade, em comparação aos agrícolas e desmatados, e as condições de altitude e clima podem afetar o número de espécies e/ou biodiversidade (LEPSCH, 2011). Os microrganismos podem ser divididos em dois grupos: microfauna,

composta por nematoides, protozoários e rotíferos; e a microbiota, representada por algas, fungos, bactérias, arqueias, protozoários e vírus (NADARAJAH, 2019).

O equilíbrio das populações de microrganismos no solo pode ser facilmente influenciado por ações inadequadas de manejo, revolvimento, insumos aplicados e variações de temperatura e umidade (MATHEW *et al.*, 2012). Evidentemente, a biomassa microbiana está diretamente responsável pelos processos bioquímicos e microbiológicos do solo.

Além das inúmeras funções de atuação dos microrganismos, eles possuem potencial biotecnológico, ao se tornarem bioinoculantes para diversas classes de culturas, controle de pragas, biorremediação de locais contaminados, produção de enzimas, fármacos, corantes e antibióticos. No entanto, conhece-se apenas 1% da magnitude da biodiversidade microbiana, o que denota a necessidade de estudos para explorar o potencial de tais microrganismos (OROZCO-MOSQUEDA *et al.*, 2021).

### **3.3 Bactérias Promotoras do Crescimento de Plantas (BPCP)**

Essas bactérias dizem respeito a microrganismos capazes de colonizar as raízes das plantas e incentivar o desenvolvimento e a produção de culturas (CHANWAY *et al.*, 1989). Os efeitos benéficos sobre os vegetais estão relacionados à promoção do crescimento e controle biológico; por conseguinte, a existência da BPCP na rizosfera proporciona resistência a patógenos (ROMEIRO, 2005).

Um dos nutrientes mais importantes e limitantes para o crescimento das plantas é o fósforo (P). No Brasil os solos possuem pouca disponibilidade de P solúvel, enquanto a maior quantidade disponível se encontra na fase insolúvel, quando as plantas não conseguem absorver de fato. As rizobactérias são capazes de utilizar os açúcares excretados nos exsudatos das raízes dos vegetais e os metabolizam, o que resulta na liberação de ácidos orgânicos que funcionam como quelantes de cátions, ao proporcionarem a liberação de fosfatos solúveis que podem ser absorvidos pelas plantas (JHA; SARAF, 2015; DIAZ, 2018).

As BPCP são capazes de produzir hormônios vegetais por meio da fitoestimulação, cujos principais fitormônios ora produzidos são as giberelinas, que instigam o sistema radicular e auxiliam na obtenção de nutrientes para favorecer o crescimento da parte aéreas das plantas; as auxinas, obtidas a partir dos resultados metabólicos das bactérias e

que visam auxiliar em crescimento vegetal, expansão, divisão e diferenciação das células; e citocininas, formadas pelos principais gêneros de bactérias – *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Azospirillum* – e que auxiliam na divisão celular das plantas e no crescimento primário das raízes (GLICK, 2014; WONG *et al.*, 2015; DIAZ, 2018).

Um experimento realizado na província de Sumatra do Norte, na Indonésia, objetivou produzir variedades de soja adaptáveis em solos extremamente ácidos e obter isolados de Rizobactérias Promotoras de Crescimento Vegetal (PGPR), para as culturas de soja apresentarem um melhor desempenho vegetal. Foram feitas aplicações de isolados combinados de *Rhizobium leguminosarum* + *Rhizobium* sp. + *Bacillus* sp. + *Burkholderia* sp. para as variedades de soja DETAM-1 E WILIS, em que os isolados aumentaram significativamente o diâmetro de caule e ramos, a altura da planta, a produtividade, o potencial Hidrogeniônico (pH) do solo, o carbono (C) orgânico, o P disponível e o nitrogênio (N) total; e diminuíram o C/N do solo (AFRIDA *et al.*, 2022).

Em outro estudo, pretendeu-se avaliar o crescimento vegetal de *Eucalyptus urophylla* associados com isolados da bactéria *Azospirillum brasilense*, em que as BPCP levaram ao crescimento inicial de eucalipto nas doses intermediárias de sulfato de amônio (SANTOS *et al.*, 2021b). A inoculação de sementes de tomate com rizobactérias reduziu a propagação de doenças foliares causadas por fungos e elevou a quantidade de atividades enzimáticas (FIGUEIREDO *et al.*, 2008). Em se tratando das rizobactérias mais estudadas como indutoras de resistência, se sobressaem as espécies do gênero *Bacillus*, pois, além de agir como alternadores bióticos, proporcionam o crescimento de plantas (KLOEPPER, 2004).

### 3.4 O gênero *Bacillus*

Bactérias desse gênero pertencem à família Bacillaceae e compreendem mais de 60 espécies. São designadas como microrganismos bacilares gram-positivos, produtoras de endósporos altamente resistentes a fatores físicos como radiação, altas temperaturas e estresse hídrico. Esse gênero pode apresentar tamanhos variados, de 0,5 a 2,5 µm x 1,2-10 µm, e pode ser rotineiramente isolado de solos e plantas (DIAZ, 2018).

Tais bactérias desempenham diversas funções biológicas que conferem resistência às plantas contra patógenos e são capazes de produzir fitormônios que facilitam a solubilização e/ou assimilação de nutrientes, o que promove resistência, principalmente,

contra fitopatógenos. As espécies mais conhecidas do gênero *Bacillus* que desempenham essas funções são *B. pumilus*, *B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis* e *B. firmus* (KOVÁCS, 2019; FERREIRA; CUNHA, 2020)

A aplicação de inóculos de *Bacillus* por meio de sementes tem demonstrado condições ideais para a bactéria colonizar o solo próximo às raízes da planta, o que resulta em benefícios como produção de hormônios e antibióticos que auxiliam no controle biológico do vegetal (FIGUEIREDO *et al.*, 2008). Também se verifica que *Bacillus* spp. podem ser empregadas como agentes de controle biológico e promotoras de crescimento em diversas culturas agrícolas, com a representação de uma abordagem mais atraente e eficiente. Isso torna a prática menos agressiva em comparação às atuais, as quais envolvem o uso excessivo de defensivos agrícolas e fertilizantes químicos, o que resulta em uma técnica mais sustentável nos âmbitos econômico, social e ambiental (CHAGAS JUNIOR *et al.*, 2021).

### **3.5 *Bacillus subtilis* como promotora de crescimento**

A espécie *B. subtilis* pertence ao filo *Firmicutes*, classe *Bacilli*, ordem *Bacillales*, família *Bacillaceae* e gênero *Bacillus* (ARNAOUTELI *et al.*, 2021). É caracterizada como gram-positiva, aeróbica facultativa e com baixa porcentagem de guanina e citosina em seu Ácido Desoxirribonucleico (*Deoxyribonucleic Acid* – DNA), em que produz endósporos resistentes às variações químicas e à temperatura. Além disso, desenvolve enzimas hidrofílicas extracelulares capazes de degradar polissacarídeos, sobrevive em temperaturas de 55 a 77 °C, fornece antibióticos lipopeptídicos e é considerado fonte de controle biológico, capaz de proporcionar o desenvolvimento de culturas e prevenir pragas (RAGAZZO-SÁNCHEZ *et al.*, 2011; DIAZ, 2018).

Nesse caso, a promoção de crescimento nas culturas ocasionadas por inóculos de *B. subtilis* responde ao aumento da fixação de nitrogênio, melhora a solubilização de nutrientes e sintetiza o fitormônio (DIAZ, 2018). Estudos realizados em feijão inoculados com tal rizobactéria mostraram que a bactéria elevou a disponibilização de P, o que gerou maior crescimento de raízes e parte aérea, apesar de não ter obtido efeitos na produção de grãos (ARAÚJO, 2005). Nas culturas do milho e soja, houve acréscimos na parte aérea, massa seca das raízes e quantidade de grãos com a utilização de inóculos bacterianos (RATZ, 2017).

Em outra pesquisa, visou-se avaliar o efeito de *B. subtilis* como promotor de crescimento e ACB contra nematoides no cultivo de tomateiro, em um experimento conduzido na estufa durante 85 dias. A pesquisa demonstrou que o inóculo com *B. subtilis* promoveu o crescimento do tomateiro, o que resultou em aumento da biomassa na parte aérea e redução da reprodução de nematoides – isso demonstra o potencial da bactéria como ACB e promotora de crescimento em plantas.

Na sequência, a Tabela 1 reúne alguns estudos que, apesar de serem relacionados a *B. subtilis*, indicam a necessidade maior aprofundamento sobre a bactéria, diante de seu papel como componente relevante no manejo do solo. Tal situação ocorre tanto no controle de pragas quanto na disponibilização de nutrientes às plantas, sobretudo no momento em que os métodos de controle e adubação se mostram pouco eficazes (ARAÚJO; MARCHESI, 2009):

**Tabela 1:** Pesquisas realizadas com respostas positivas para a Promoção de Crescimento em Plantas por meio dos inóculos de *B. subtilis*.

Autor	Cultura	Bactéria aplicada	Resultado
CABRA CENDALES <i>et al.</i> , 2017	Tomate	<i>B. subtilis</i>	PCP
CHAGAS JUNIOR <i>et al.</i> , 2022	Soja	<i>B. subtilis</i>	PCP
DIAZ, 2018	Algodão	<i>B. subtilis</i>	PCP
EL-GENDI <i>et al.</i> , 2022	Tomate	<i>B. subtilis</i>	ACB e PCB
FERREIRA; CUNHA, 2020	*	<i>B. subtilis</i>	ACB e PCB
KONDO, 2022	Araucaria angustifolia	<i>Azospirillum brasilense</i> ; <i>B. amyloliquefaciens</i> ; <i>B. megaterium</i> ; <i>B. subtilis</i> .	PCP
MELO <i>et al.</i> , 2021	*	<i>B. subtilis</i>	ACB e PCB
ROSA <i>et al.</i> , 2022	Cana-de-açúcar	<i>Azospirillum brasilense</i> , <i>B. subtilis</i> e <i>Pseudomonas fluorescens</i>	PCP
SOUSA <i>et al.</i> , 2019	Arroz	<i>Bacillus spp.</i>	PCP
SOUZA <i>et al.</i> , 2017	Banana	<i>Bacillus sp.</i> ; <i>B. amyloliquefaciens</i> ; <i>B. pumilus</i> ; <i>B. subtilis</i> .	PCP
TAVANTI <i>et al.</i> , 2020	Soja	<i>B. subtilis</i>	PCP
ZUCARELI <i>et al.</i> , 2018	Feijão	<i>B. subtilis</i>	PCP

PCP – Promoção de Crescimento em Plantas, ACB – Agente de Controle Biológico, \* Estudos de revisão sem uma cultura específica.

Fonte: Elaborada pela autora.

### 3.5 *Bacillus subtilis* como Agente de Controle Biológico (ACB) em plantas

Microrganismos considerados ACB em plantas são determinados com base em diversas atribuições a serem cumpridas. Para tanto, eles não podem ser patógenos para vegetais, seres humanos ou animais; precisam sobreviver em condições extremas no solo, na ausência de um hospedeiro; ser facilmente replicados em larga escala e economicamente viáveis; ser eficientes na redução ou supressão da reprodução de

nematoides; manter a eficácia após longos períodos de armazenamento; ser compatíveis com fertilizantes e defensivos químicos; e se disseminar após a aplicação no solo (PASCHOLATI, 2011; MELO, NASCIMENTO, SERRA, 2021).

Diante dessas características, as bactérias *B. subtilis* se encaixam como ACB, cuja aplicação pode ser realizada em várias culturas como metodologia atrativa. Os inóculos são facilmente produzidos e eficazes; e não representam ameaças ao meio ambiente, ao contrário dos defensivos agrícolas e fertilizantes químicos, o que corresponde a uma alternativa viável e sustentável (CHAGAS JÚNIOR, 2022).

Nesse contexto, outra investigação científica pretendeu verificar o efeito de produtos biológicos no controle do nematoide *Pratylenchus brachyurus* na cultura da soja. O experimento incluiu cinco tratamentos, nos quais T1 foi utilizado como controle; T2 continha *B. subtilis* e *B. licheniformis*; T3, *B. firmus*; T4, *Trichoderma harzianum*; e T5m *Paecilomyces lilacinus*. Após 30 dias da inoculação, uma avaliação comparativa entre o tratamento controle e os demais tratamentos revelou a redução no número de nematoides onde os isolados foram aplicados, o que demonstra uma resposta promissora no controle de *Pratylenchus brachyurus* na referida cultura (COELHO *et al.*, 2021).

Outra pesquisa que visava avaliar a eficiência de três isolados com *B. subtilis* como ACB contra a doença antracnose causada por *Colletotrichum spp.* na cultura do pimentão apresentou resultados positivos. Os isolados aumentaram a altura da cultura, o número de folhas, a massa seca e as raízes, além de reduzirem significativamente (cerca de 80,36%) a incidência de antracnose causada por *Colletotrichum spp.* (PRIHATININGSIH *et al.*, 2019).

Estudos conduzidos no Equador e que utilizaram *B. subtilis* em diferentes concentrações no cultivo de morangos visaram avaliar o controle do ácaro rajado (*Tetranychus urticae*), que pode causar perdas significativas nas culturas. Os resultados foram positivos, cujas diferentes concentrações aplicadas resultaram em mortalidade estatisticamente superior do ácaro rajado, em comparação ao grupo-controle. Portanto, a aplicação de *B. subtilis* pode ser vista como alternativa eficaz para diminuir as populações de *Tetranychus urticae* em plantações desse tipo (MENDOZA-LEON *et al.*, 2019).

Além disso, pesquisa com o envolvimento de *B. subtilis* têm obtido resultados promissores em diferentes classes de culturas, como tomate, soja e pimentão, conforme apresentado na Tabela 2, o que reforça a eficácia do uso da bactéria como bioinoculante

e representa uma alternativa eficaz para reduzir a dependência de defensivos agrícolas altamente prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana. A Figura 1 resume os principais mecanismos da *B. subtilis*, que incluem a síntese de uma variedade de metabólitos secundários, como compostos antimicrobianos, que proporcionam vantagens em nichos ecológicos específicos, além de incentivarem o crescimento das plantas e atuarem como ACB:

**Tabela 2:** Pesquisas realizadas que obtiveram respostas positivas por meio de inóculos de *B. subtilis* como ACB.

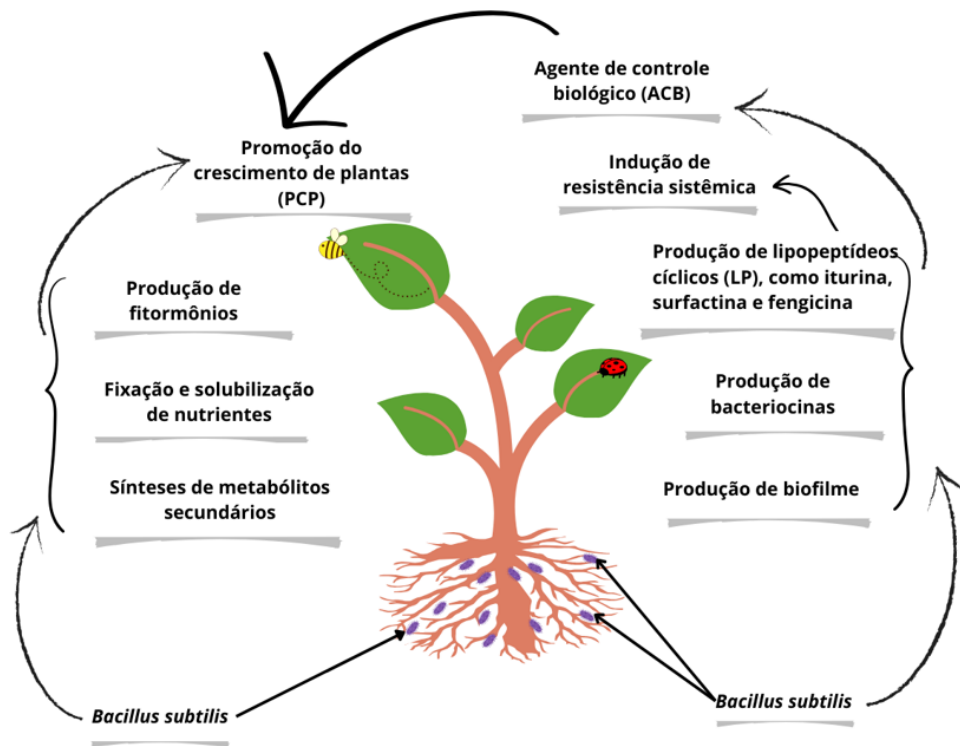
Autor	Cultura	Bactéria aplicada	Resultado
ALVES <i>et al.</i> , 2018.	*	<i>B. subtilis</i>	ACB
COELHO <i>et al.</i> , 2021.	Soja	<i>B. subtilis</i> , <i>B. li-cheniformis</i> e <i>B. firmus</i> .	ACB
EL-GENDI <i>et al.</i> , 2022.	Tomate	<i>B. subtilis</i>	ACB e PCB
FERREIRA; CUNHA, 2020.	*	<i>B. subtilis</i>	ACB e PCB
MELO <i>et al.</i> , 2021.	*	<i>B. subtilis</i>	ACB e PCB
MENDOZA-LEON <i>et al.</i> , 2019.	Morango	<i>B. subtilis</i>	ACB
OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2017.	Soja	<i>B. subtilis</i>	ACB
PRIHATININGSIH <i>et al.</i> , 2019.	Pimentão	<i>B. subtilis</i>	ACB
SILVA CANUTO <i>et al.</i> , 2021.	Soja	<i>Bacillus spp.</i>	ACB
TAVARES <i>et al.</i> , 2022.	Tomate	<i>Bacillus spp.</i>	ACB
VOSS <i>et al.</i> , 2013.	Tomate	<i>B. subtilis</i>	ACB

**ACB** – Agente de Controle Biológico, **PCP** – Promoção de Crescimento em Plantas, \* Estudos de revisão sem uma cultura específica.

**Fonte:** Elaborada pela autora.

**Figura 1:** Representação dos principais mecanismos do *B. subtilis* no controle biológico e na Promoção de Crescimento em Plantas (PCP), o que inclui a síntese de uma variedade de metabólitos secundários, como compostos antimicrobianos, que podem proporcionar vantagens em nichos ecológicos específicos. Além disso, a figura destaca o papel da bactéria na PCP, na resistência sistêmica e na indução desta última, o que afeta os metabólitos associados a várias vias. Com isso, ilustra-se a capacidade multifacetada do *B. subtilis* em interagir molecularmente com as plantas para promover o crescimento e a proteção contra patógenos.





Fonte: Autoral.

### 3.5 Necessidades nutricionais do sorgo

O *Sorghum bicolor* é conhecido popularmente como sorgo e pertence à família Poaceae, tribo Paniceae e gênero *Sorghum* (JARDIM, 2020), tendo sido utilizado há mais de cinco mil anos e amplamente difundido na África e na Ásia. Tal cultura é dividida em três grupos – granífero para consumo humano, forrageiro para ração animal e sacarino – e conhecida como a quinta mais rica em carboidratos, depois do trigo, milho, arroz e cevada. Ademais, possui papel significativo no combate à fome e à insegurança alimentar (HOSSAIN *et al.*, 2022; BAZIÉ *et al.*, 2023).

A cultura do sorgo é considerada tolerante ao estresse hídrico e pode ser cultivada em locais com regime hidrológico reduzido (SAFIAN *et al.*, 2022). Além de possuir resiliência à seca, apresenta alta produtividade e pequena demanda por nutrição, o que induz a baixos custos na produção (CIPRIANO *et al.*, 2023). A eficiência da planta se deve ao sistema fotossintético (C<sub>4</sub>); com isso, consegue aperfeiçoar a fixação de CO<sub>2</sub> por meio de um menor volume de água (FARDIN *et al.*, 2023).

Assim como toda cultura e conforme a categoria do solo, o fornecimento de determinados nutrientes depende da quantidade de reservas totais contidas no solo. Por conseguinte, torna-se necessário quantificar, mediante análises químicas, a capacidade dos solos no tocante ao fornecimento de nutrientes – após determinar tais elementos, é

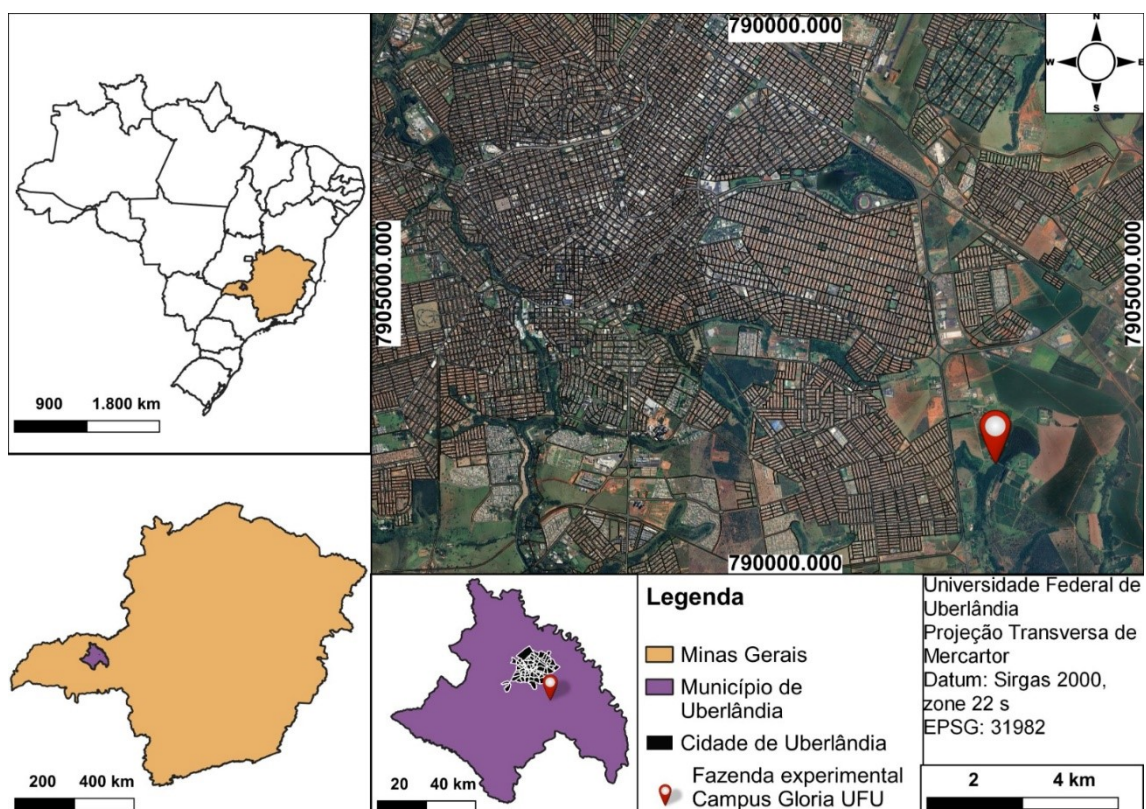
possível suprir as demandas nutricionais de acordo com os resultados. Nessa cultura, quase todo P e N disponível se transcola para os grãos, seguidos por magnésio (Mg), potássio (K) e cálcio (Ca), e o que fica incorporado na parte aérea do vegetal é devolvido ao solo por meio da palhada (COELHO, 2015).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização do experimento em campo

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental do *Campus* Glória, localizada na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), conforme a Figura 2:

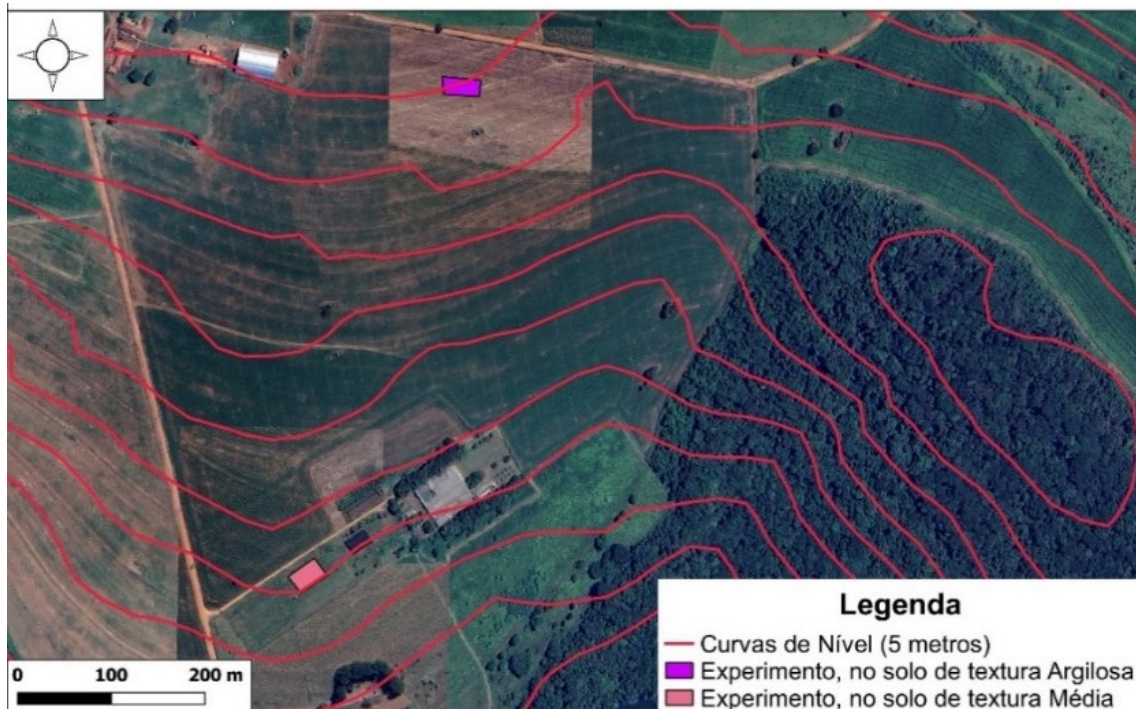
**Figura 2:** Localização da fazenda experimental do *Campus* Glória, da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).



Fonte: Autoral

O ensaio foi conduzido em campo, mais precisamente nas áreas 1 ( $18^{\circ}57'13.85''S$  e  $48^{\circ}12'38.74''O$ ), cujo solo é latossolo vermelho distrófico, típico de textura média/arenosa (66% de areia, 8% de silte e 26% de argila); e 2 ( $18^{\circ}56'56.62''S$  e  $48^{\circ}12'33.74''O$ ), com a mesma categoria do solo, porém com uma textura mais argilosa (41% de areia, 14% de silte e 45% de argila), como pode ser visto na Figura 3.

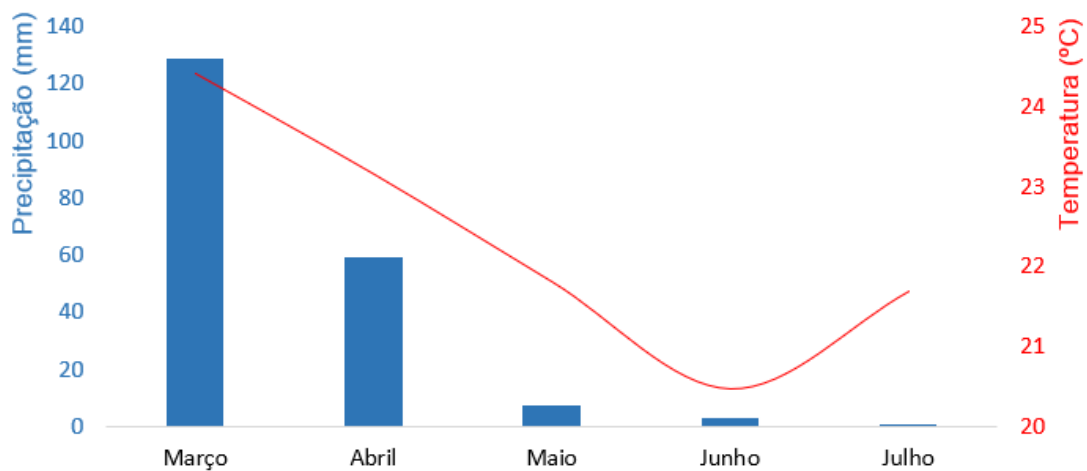
**Figura 3:** Localização das áreas de instalação do experimento – área 1 possui textura de média/arenosa a 890m de altitude; e a 2, textura argilosa a 919m de altitude.



**Fonte:** Elaborado pela autora.

O clima da região é Aw – Clima tropical de savana, conforme a classificação Köppen-Geiger, e é caracterizado por período de secas e chuvas. A Figura 4 demonstra o volume de precipitação e a temperatura média registrados durante os meses de instalação e operação do ensaio:

**Figura 4:** Volume de precipitação nos meses de ensaio e temperatura média.



**Fonte:** Dados coletado no INMET. Elaborado pela autora.

## 4.2 Preparação do solo

O solo apresentava palhada de soja da safra anterior. No dia 7 de março de 2023, realizou-se o sulcamento com a ponta das hastes do escarificador na profundidade de 3 cm do solo na área 1, seguida pela área 2 em 9 de março do mesmo ano. O escarificador era composto por cinco braços, espaçados em 0,5 metros, e foram efetuadas amostragens compostas de solo na profundidade de 0 a 20 centímetros, a fim de avaliar a fertilidade inicial em ambas as áreas.

A Tabela 3 sintetiza os resultados da análise de fertilidade inicial do solo nas duas áreas em estudo:

**Tabela 3:** Fertilidade inicial do solo coletado nas áreas 1 e 2, para posterior cultivo do sorgo. Uberlândia, março 2023.

	pH	MO	C-org	P*	Ca	Mg	K	AL	H+Al	CTC
		dag kg <sup>-1</sup> solo		mg/dm <sup>-3</sup>	cmolc/dm <sup>-3</sup>					
Área 1	5,6	2,7	1,82	60,3	2,34	0,83	0,55	0	2,52	6,24
Área 2	5,7	1,6	1,08	36,4	2,61	1,36	0,34	0	2,42	6,73

\*Extrator Mehlich. **Fonte:** Elaborado pela autora.

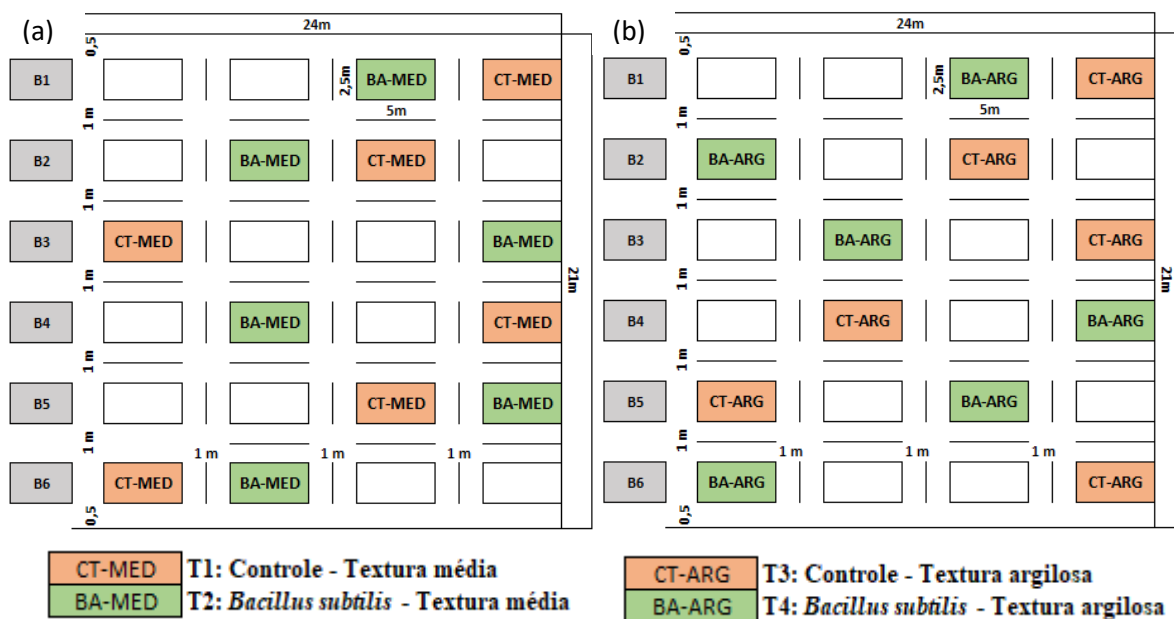
Seguidamente, em ambas as áreas foram realizadas adubações nos sulcos de plantio com Superfosfato Simples (SS), com a adição de 10g para cada metro linear, em consonância às necessidades da cultura.

## 4.3 Delineamento experimental

O experimento foi realizado de acordo com o Delineamento em Blocos Casualizados (DBC) nas áreas 1 e 2, com 504 m<sup>2</sup> cada (24 m de comprimento e 21 m de largura). O ensaio foi dividido em seis blocos e quatro tratamentos, o que totalizou 24 parcelas em cada área; e cada parcela foi constituída de cinco linhas espaçadas de 0,50 m com 5 m de comprimento, cujo total foi 12,5 m<sup>2</sup>. Nas três linhas centrais, se eliminaram 1 m de frente e 1 m de fundo e elas foram utilizadas como área útil em um total de 4,5 m<sup>2</sup>, além de possuírem uma área de bordadura de 0,5 m, para evitar a influência de uma parcela experimental sobre a outra.

A Figura 5 representa o croqui do experimento e indica a alocação de tratamentos e unidades experimentais. Vale ressaltar que, pelo fato de o ensaio ter sido realizado com demais objetos de pesquisa, o croqui destaca apenas os tratamentos abordados neste trabalho.

**Figura 5:** Desenho esquemático de tratamentos e parcelas experimentais nas áreas 1 – (a) solo de textura média/arenosa e 2 – (b) solo de textura argilosa.



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.4 Preparo e aplicação da suspensão com *Bacillus subtilis*

O isolado com a rizobactéria *B. subtilis* foi cedido pela empresa Biosag (HTM Comércio e Laboratórios de Corretivos do Solo Ltda.), sob a forma de inóculo comercial em frascos com a inclusão do meio de cultura com o isolado. Tal organização recomendou que um frasco do produto ( $1,25 \times 10^9$  UFC) poderia ser utilizado em um hectare de cultivo, homogeneizado em um volume de calda de mil litros – nesse caso, as unidades experimentais somavam  $75 \text{ m}^2$  (seis parcelas) em cada área. Sendo assim, um frasco diluído em 500 mL totalizou 0,05 mL para cada  $\text{m}^2$ , com o estabelecimento de  $3,5 \text{ mL}$  ( $1,25 \times 10^3 \cdot \text{mL}^{-1}$ ) de produto para  $75 \text{ m}^2$  e um volume de calda de 7,5 L.

Em laboratório, pesaram-se os frascos antes e depois da retirada do produto para verificar o peso real do meio de cultura e do isolado. Foram fixados 5 mL de produtos para as seis parcelas em 10 L de água destilada, com vistas a possíveis perdas. Sendo assim, adicionou-se o conteúdo do produto advindo de um frasco junto ao meio de cultura em um liquidificador com 500 mL de água destilada; em seguida, foi homogeneizado por um pulso de três segundos. Também foi transferida uma alíquota de 100 mL diluída em 400 mL (cinco vezes) de água destilada e, após isso, transferiram-se 25 mL da alíquota

em 10 L de água destilada, para formar o volume da calda com o intuito de suspender nos sulcos de plantio.

Após o preparo do volume de calda com a bactéria, aplicou-se a primeira suspensão no sulco de plantio, por meio de uma bomba costal com capacidade de 20 L e o bico em formato de leque. A vazão da bomba era de 8,4 L por segundo, e cada parcela experimental possuía cinco linhas de plantio; logo, 250 mL foram destinados a cada linha de plantio em 30s. Cumpre afirmar que a primeira aplicação da suspensão nos sulcos ocorreu em 8 e 13 de março de 2023, nas áreas 1 e 2, respectivamente.

#### **4.5 Semeadura**

No que tange ao sorgo híbrido precoce Pioneer 50A60, plantaram-se 11 sementes por metro linear a uma profundidade de 3 cm, o que totalizou 55 sementes por linha em cada parcela experimental. Em 9 de março de 2023, na área 1, as sementes foram colocadas a uma profundidade de 3 cm em todas as parcelas experimentais; aplicou-se a segunda dose do produto sobre os sulcos e as sementes; e, por último, elas foram recobertas com solo. O plantio e a segunda aplicação do produto na área 2 ocorreram de maneira análoga a outra área, mas no dia 13 de março do mesmo ano.

#### **4.6 Acompanhamento do experimento**

Depois do plantio, realizaram-se acompanhamentos semanais do crescimento das plantas. No dia 16 de março, foram avistadas as primeiras plântulas de sorgo emergidas na área 1 e, na 2, em 20 de março, tendo ocorrido o desbaste manual de plantas invasoras e o controle de formigas cortadeiras. No dia 30 do mesmo mês, aplicou-se o herbicida Atrazina – naquele período, as plantas de sorgo possuíam, em média, 50 cm de altura na área 1 e 30 cm, na 2.

No dia 6 de abril, detectou-se a praga lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*); por isso, na semana seguinte, foram aplicados fungicidas e inseticidas em ambas as áreas e, em 11 de abril, empregou-se o adubo NPK (30-00-20), com 200 kg/ha, por meio de arraste. Em 20 de abril, o sorgo apresentava o estágio de aparecimento de folhas bandeiras; a partir de 1º de maio, as folhas estavam completamente emborrachadas; e, em 6 e 9 de maio, apareceram as primeiras panículas nas áreas 1 e 2, respectivamente.

## 4.7 Parâmetros avaliados

### 4.7.1 Determinação da fertilidade do solo, nutrição da planta e massa seca da parte aérea.

Essas determinações foram conduzidas durante o período em que a cultura de sorgo se encontrava no estágio fenológico da floração, com todos os pendões soltos – aqui, a coleta para análise ocorreu em 22 de maio e 5 de junho nas áreas 1 e 2, respectivamente, com a seleção de duas plantas que ocupavam a sexta posição de cada extremidade da fileira central de cada parcela. Na sequência e com o uso de ferramentas apropriadas, procedeu-se à coleta de um bloco de solo com profundidade de 0 a 10 cm com a maior parte das raízes, ou seja, o solo rizosférico. Este último, juntamente com as raízes, foi acondicionado em sacos plásticos, enquanto se armazenou a parte aérea do vegetal em sacos de papel.

A parte aérea foi encaminhada para a avaliação da massa seca, bem como para a determinação dos teores de N, P, enxofre (S), Ca, Mg, K, boro (B), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn), conforme a metodologia de Silva (2009). Separou-se o solo das raízes para ser peneirado com uma malha de 2 mm e, em seguida, submetido à determinação de MO, pH, teores de Ca, Mg, K, alumínio (Al), H+Al (acidez potencial), B, Fe, Cu, Mn, Zn e P, de acordo com o método de Teixeira *et al.* (2017).

### 4.7.2 Determinação da produtividade

Panículas de sorgo foram colhidas nos dias 10 e 11 de agosto de 2023 e se adotaram as três fileiras centrais para avaliação da produtividade de grãos, com a exclusão de 2 m nas extremidades para totalizar 1,5 m<sup>2</sup> de área útil para colheita. Subsequentemente, houve a debulha manual e foram aferidos o peso de cada parcela e o teor de umidade para, enfim, calcular o rendimento para determinação da produtividade de grãos em kg por hectare. No que tange à determinação do peso dos grãos e à umidade a 13%, foi utilizada a Equação 1:

$$Pf = \frac{Pi \cdot (100 - Up)}{87} \quad \text{Equação (1)}$$

Em que: Pf = peso final da parcela em (g); Pi = Peso inicial da parcela em (g); e Up = Umidade da parcela em (%).

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

A RBS é definida como o somatório de todas as funções metabólicas em que se produz CO<sub>2</sub>, no procedimento de degradação da MO, em que as bactérias e os fungos são os principais responsáveis pela liberação de CO<sub>2</sub> (CATTELAN; VIDOR, 1990). Determinou-se a RBS pelo procedimento originalmente proposto por Jenkinson e Powlson (1976).

Após serem peneiradas, transferiram-se as amostras para recipientes de vidro com capacidade de 823 mL para se umidificarem até alcançar 60% da capacidade de campo. Posteriormente, foi colocado um copo plástico com 10 mL de NaOH (1M) sobre o solo, em que os frascos ficaram hermeticamente fechados para não haver fuga do CO<sub>2</sub> interno e entrada do CO<sub>2</sub> externo. Também foram preparados frascos com apenas NaOH, que serviu de controle (branco). Com o fechamento, eles foram acondicionados em um ambiente escuro e a incubação ocorreu por 21 dias – a quantificação de C-CO<sub>2</sub> liberado foi feita após 1, 3, 7, 14 e 21 dias depois do início do experimento.

Quantificou-se o CO<sub>2</sub> respirado com a retirada do copo plástico que incluía o NaOH para adicionar imediatamente 5 mL de BaCl<sub>2</sub> 10% (m/v), com vistas à precipitação completa do CO<sub>2</sub>. Em seguida, titulou-se a amostra precipitada com a adição de duas gotas de fenolftaleína 1% (m/v), com uma solução de 0,5M de ácido clorídrico. O procedimento foi realizado até não haver respiração, exatamente no 21º dia, se calculou a RBS de acordo com a Equação 2:

$$RBS \left( \frac{mg \text{ de } C - CO_2}{kg \text{ de solo}} \right) = \left( \frac{((Vb - Va) \cdot M \cdot 6.1000)}{\frac{Ps}{t}} \right) \quad \text{Equação (2)}$$

Em que: RBS = carbono oriundo da RBS; Vb (mL) = volume de ácido clorídrico gasto na titulação da solução-controle (branco); Va (mL) = volume gasto na titulação da amostra; M = molaridade exata de HCl; Ps (g) = massa de solo seco; e T= tempo de incubação da amostra em horas.



#### 4.7.4 Determinação do Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (CBM-S) e quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>)

A determinação de CBM-S é um importante indicador de alterações provocadas no solo (SILVA *et al.*, 2007). Nesse entremeio, a metodologia empregada no ensaio contempla a fumigação/extração de Vance *et al.* (1987) por meio de adição direta de clorofórmio nas amostras descritas por Brookes *et al.* (1982) e Witt *et al.* (2000). Estas últimas foram armazenadas em um ambiente totalmente privado de luz por 24 horas, com as respectivas extração e quantificação de carbono, conforme o método de Walkley e Black (1934), adaptado por Tedesco *et al.* (1995). Para fins de cálculos, empregou-se o  $kC = 0,33$  preconizado por Sparling e West (1988).

Para a quantificação do teor de carbono nos extratos, é necessária a padronização da solução de sulfato ferroso amoniacal (Equação 3):

$$M1 = \frac{[(M2 \cdot V2) \cdot 6]}{V1} \quad \text{Equação (3)}$$

Em que: M1 = Molaridade exata padronizada do sulfato ferroso amoniacal; M2 = Molaridade exata do dicromato de potássio (0,066 M); 6 = Razão estequiométrica (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>); V1 = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra controle (branco); e V2 = Volume da alíquota de dicromato de potássio utilizada.

Em se tratando da quantificação do teor de C nos extratos, adotou-se a (Equação 4):

$$C \left( \frac{mg \ C}{kg \ solo} \right) = \frac{(Vb - Va) \cdot M1 \cdot 0,003 \cdot V_1 \cdot 10^6}{Ps \cdot V_2} \quad \text{Equação (4)}$$

Em que: C = carbono extraído do solo; Vb (mL) = volume do sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da solução-controle (branco); Va (mL) = volume de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra; M1 = Molaridade exata do sulfato ferroso amoniacal; V<sub>1</sub> = volume do extrator (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) utilizado; V<sub>2</sub> = alíquota pipetada do extrato para a titulação; 0,003 = miliequivalente do carbono; e Ps (g) = massa de solo seco.

Dessa maneira, será possível determinar a CBM-S (Equação 5), com  $kC=0,33$  descrito por Sparling e West (1988).

$$BMS - C \left( \frac{mg \text{ C microbiano}}{kg \text{ de solo}} \right) = \frac{FC}{kc} \quad \text{Equação (5)}$$

Em que: CBM-S = Carbono da Biomassa Microbiana do solo em mg de C por kg de solo (ou  $\mu\text{g g}^{-1}$ ); FC = fluxo obtido da diferença entre a quantidade de C ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), da Equação 5, recuperada no extrato da amostra fumigada e na amostra não fumigada; e kc = fator de correção.

Nesse sentido, após a determinação do CBM-S, foi possível estabelecer o  $q\text{CO}_2$  pela razão entre a RBS por unidade de CBM-S (SILVA *et al.*, 2007), segundo a Equação 6 de Anderson e Domsch (1993):

$$q\text{CO}_2 \left( \frac{mg\text{C} - \text{CO}_2}{g \cdot BMS - C \cdot h} \right) = \frac{RBS \left( \frac{mg\text{C} - \text{CO}_2}{kg \text{ solo} \cdot h} \right)}{\frac{BMS - C \left( \frac{mg\text{C}}{kg \text{ solo}} \right)}{10^3}} \quad \text{Equação (6)}$$

Em que:  $q\text{CO}_2$  = Quociente metabólico do solo; RBS = Respiração Basal do Solo; e CBM-S = Carbono da Biomassa Microbiana do Solo.

#### 4.7.5 Determinação do potencial enzimático do solo

A atividade de hidrólise do Diacetato de Fluoreceína (FDA) se obteve pelo método de Adam e Duncan (2001), ao passo que as atividades das enzimas fosfatase ácida,  $\beta$ -glicosidase e arilsulfatase foram determinadas conforme Tabatabai (1994).

##### FDA

Empregaram-se 2g de solo de cada amostra em tubos Falcon, com capacidade para 50 ml, juntamente com 15 mL de tampão de fosfato de potássio 60 mM pH 7,6. Posteriormente, é preciso inserir uma alíquota da solução estoque de 0,2 ml e/ou  $1000\mu\text{g}$  FDA  $\text{ml}^{-1}$ , com a preparação de amostras de brancos sem adição de FDA. Assim, os frascos foram fechados e homogeneizados manualmente para, em seguida, se alocarem em uma incubadora orbital a  $30^\circ\text{C}$  por 20 minutos.

Após a incubação, em uma capela de exaustão, se adicionam 15 mL de clorofórmio/metanol (2:1) em cada tubo. Os fracos foram fechados, homogeneizados cuidadosamente e, em seguida, alocados em uma centrífuga e centrifugados a três mil

rotações por minuto (rpm) por três minutos. Com isso, filtraram-se os sobrenadantes para os filtrados serem medidos na sequência a 490 nm em um espectrofotômetro.

O resultado de concentração final de FDA liberada pelas amostras foi determinado a partir do gráfico de calibração produzido em aquiescência ao padrão de 0 a 5  $\mu\text{g}$  de fluoresceína  $\text{ml}^{-1}$ , advindos de uma solução-padrão de 20  $\mu\text{g}$  de fluoresceína  $\text{ml}^{-1}$ . Utilizou-se a concentração de 0  $\mu\text{g}$  de fluoresceína  $\text{ml}^{-1}$  para zerar o espectrofotômetro antes da leitura de cada conjunto de brancos e amostras.

#### Fosfatase

Para a determinação da fosfatase, adotou-se um método baseado na estimativa colorimétrica do p-nitrofenil liberado pelo referido elemento – nesse caso, o solo foi incubado com um tampão de solução de fosfato de p-nitrofenil e tolueno. O método consistiu em usar 1g de solo peneirado, colocado em um Erlenmeyer de 50 mL; e adicionar 0,25 mL de tolueno, 4 mL de tampão universal modificado (*Modified Universal Buffer* – MUB) com pH de 6,5 para análise de fosfatase ácida e 1 mL de solução de p-nitrofenil fosfato (PNP). Então, os recipientes foram fechados e agitados cuidadosamente, antes de serem levados para a incubadora a 37 °C por uma hora.

Logo após a incubação, 1 mL de  $\text{CaCl}_2$  (0,5 M) e 4 mL de NaOH (0,5 M) foram adicionados, homogeneizados e transferidos para tubos de Eppendorf para centrifugação por cinco minutos a 10 mil rpm. Desse modo, retiraram-se alíquotas dos sobrenadantes e o desenvolvimento da cor amarela foi avaliado no espectrofotômetro a um comprimento de onda de 410 nm. Os resultados de concentração final do p-nitrofenil liberado pelas amostras se determinaram a partir do gráfico de calibração produzido com padrões de 0, 10, 20, 30, 40 e 50  $\mu\text{g}$  de p-nitrofenol.

#### Arilsulfatase

Nesse caso, o método foi semelhante ao da fosfatase, baseado na determinação colorimétrica do p-nitrofenol liberado pela atividade da arilsulfatase. Incubou-se o solo com solução tamponada (pH 5,8) de p-nitrofenil sulfato de potássio e tolueno; e 1g de solo peneirado foi adicionado a um Erlenmeyer de 50 mL, seguido por 0,25 mL de tolueno, 4 mL de tampão de acetato e 1 mL de solução de p-nitrofenil de sulfato (PNS). Os frascos foram homogeneizados cuidadosamente, fechados e colocados em uma incubadora a 37 °C por uma hora.

Em seguida, 1 mL de CaCl<sub>2</sub> (0,5 M) e 4 mL de NaOH (0,5 M) foram adicionados e agitados brevemente, ao passo que 1 mL do sobrenadante se transferiu para tubos de Eppendorf para centrifugação a 10 mil rpm por cinco minutos. Retiraram-se alíquotas dos sobrenadantes, e o desenvolvimento da cor amarela foi avaliado no espectrofotômetro a um comprimento de onda de 410 nm. Os resultados de concentração final do p-nitrofenil de sulfato liberada pelas amostras foram determinados a partir do gráfico de calibração com padrões de 0, 10, 20, 30, 40 e 50 µg de p-nitrofenil de sulfato.

#### β-glicosidase

No que concerne à β-glicosidase, o método se baseou na determinação colorimétrica do p-nitrofenol liberado pela β-glicosidase. O solo foi incubado com solução tamponada (pH 6.0) de P-Nitrofenil-β-D-glicosidase (PNG) e tolueno. Ademais, 1 g de solo peneirado se adicionou a frascos de Erlenmeyer de 50 mL, seguido por 0,25 mL de tolueno, 4 mL de MUB (pH 6.0) e 1 mL de solução de PNG. Os frascos foram homogeneizados meticulosamente, tampados e colocados em uma incubadora a 37 °C por uma hora.

A posteriori, adicionaram-se 1 mL de CaCl<sub>2</sub> (0,5 M) e 4 mL de tampão tris(hidroximetil)aminometano (THAM), e 1 mL de cada amostra foi transferido para microtubos para centrifugação a 10.000 rpm por cinco minutos. Igualmente, alíquotas dos sobrenadantes foram retiradas, e o desenvolvimento da cor amarela se avaliou no espectrofotômetro a um comprimento de onda de 410 nm. Os resultados de concentração final do p-nitrofenol liberado pela β-glicosidase foram determinados a partir do gráfico de calibração com padrões de 0, 10, 20, 30, 40 e 50 µg de PNG.

#### 4.8 Estatística

Os resultados foram submetidos ao método de análise em esquema fatorial (2x2), ao assumirem o primeiro fator como a categoria do solo (textura média e/ou argilosa), e o segundo, o tratamento aplicado (controle e/ou *B. subtilis*), em concordância à linguagem de programação R. Para as variáveis quantitativas (paramétricas), a massa seca, a fertilidade do solo (exceto P e Cu), a nutrição da planta, o CBM-S, o qCO<sub>2</sub> e o potencial enzimático (com exceção de arilsulfatase), adotaram-se os testes de normalidade de erros (Shapiro-Wilk), a independência de erros (Plot de dispersão dos resíduos), a homoscedasticidade (Teste de Bartlett) e a aditividade (histograma dos resíduos) – em atenção a tais pressupostos, concentrou-se na Análise de Variância (ANOVA) e no teste

de média de Scott-Knott a um nível de significância de 5%. Para variáveis quantitativas (não paramétricas), RBS e arilsulfatase, dedicou-se ao teste não paramétrico, para variáveis independentes de Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5%.

Ainda, a Análise de Componentes Principais (*Principal Component Analysis* – PCA) foi executada por meio da linguagem de programação R para determinar a ordenação das amostras e a associação entre os dados físico-químicos do solo com as variáveis biológicas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise de Componentes Principais (PCA)

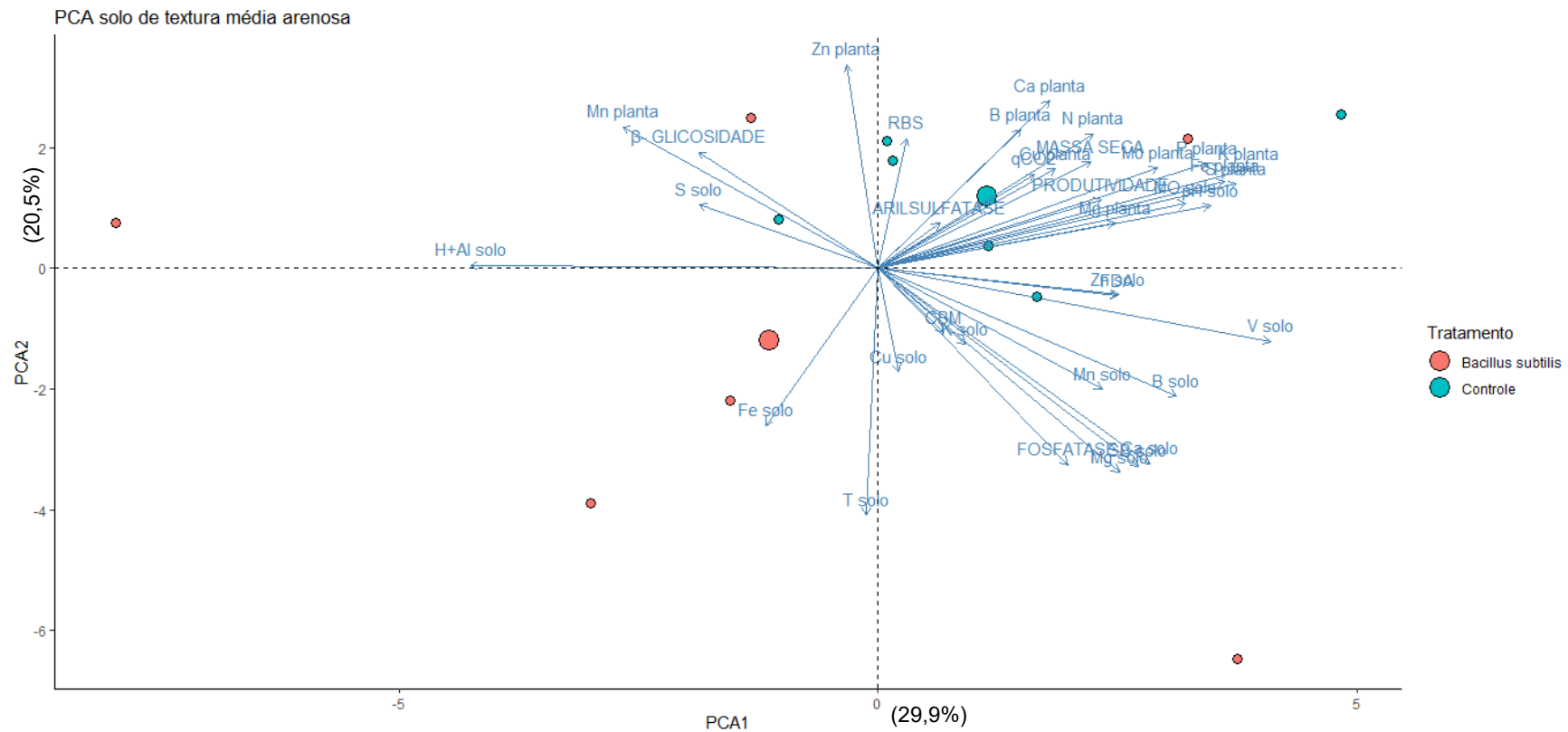
Para melhor visualização dos efeitos dos tratamentos sobre os dados, a PCA considerou os dados de química e microbiologia do solo, a nutrição foliar do sorgo e a produtividade (RBS, potencial enzimático, CBM-S e qCO<sub>2</sub>, respectivamente). Como técnica multivariada de ordenação, possibilita visualizar a disposição das amostras conforme cada observação individual e, simultaneamente, as variáveis analisadas. Isso proporciona uma compreensão aprofundada de fenômenos multifatoriais e do efeito geral dos tratamentos sobre as amostras.

Com o intuito de eliminar efeitos residuais de variáveis com baixa variabilidade, que tendem a apresentar uma contribuição mínima na ordenação dos dados, foram selecionadas para a PCA as variáveis com maior discrepância nas médias entre os tratamentos. O primeiro componente principal da PCA do solo de textura média/arenosa (PCA1) explicou 29,9% da variabilidade dos dados, e o segundo, 20,5%. Enquanto isso, no solo de textura argilosa, o primeiro componente principal indicou 29,5% da variabilidade dos dados, e o segundo, 19% (Figuras 6 e 7, respectivamente).

A análise de componentes principais realizada no solo de textura média/arenosa destaca que teores de Zn e Fe foliar, H+Al, produtividade, arilsulfatase e qCO<sub>2</sub> estão positivamente correlacionados com a aplicação de *B. subtilis*; em contrapartida, a fosfatase e o teor de Fe no solo apresentaram correlações negativas. No tratamento controle, teores de N e K foliar, S no solo, massa seca, RBS, atividade de FDA, atividade da enzima  $\beta$ -glicosidade e CBM-S exibiram correlações positivas, ao passo que a fosfatase mostrou uma correlação negativa.

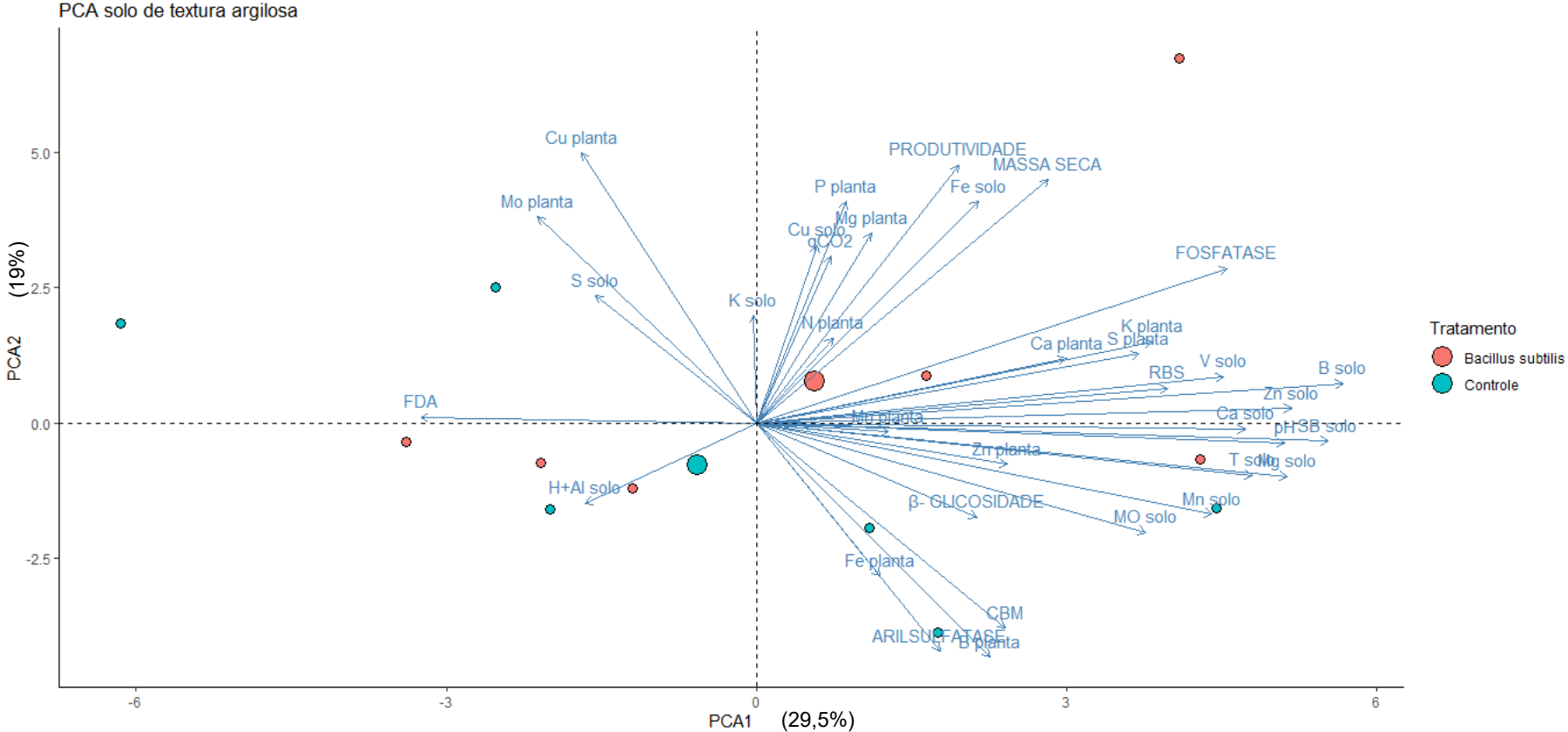
No solo de textura argilosa, a PCA revela diferentes padrões de correlação entre variáveis. Por um lado, tanto nos casos com e sem aplicação de *B. subtilis*, teores de Mn, Zn e Fe foliar, H+Al, arilsulfatase, CBM-S e atividade da enzima  $\beta$ -glicosidade exibiram correlações positivas. Por outro lado, teores de K foliar, teor de Fe no solo, massa seca, produtividade, fosfatase e RBS mostraram correlações positivas apenas quando houve aplicação de *B. subtilis*. O  $qCO_2$  e o teor de N foliar apresentaram correlações positivas no tratamento controle, enquanto a atividade da enzima FDA correlacionou de maneira negativa.

**Figura 6:** Biplot da Análise de Componentes Principais (PCA) em solo de textura média/arenosa, a partir dos dados de análises químicas e biológicas do solo, produtividade e nutrição do sorgo cultivado a campo com aplicação ou não do produto. Os símbolos de círculo azul representam as amostras do tratamento controle, enquanto os de círculo vermelho se referem ao tratamento com aplicação de produto com *B. subtilis*. Símbolos maiores compreendem os centroides das amostras de cada tratamento, e os vetores indicam as variáveis utilizadas na PCA.



Fonte: Elaborado pela autora.

**Figura 7:** Biplot da Análise de Componentes Principais (PCA) em solo de textura argilosa, a partir dos dados de análises químicas e biológicas do solo, produtividade e nutrição do sorgo cultivado a campo com aplicação ou não do produto. Os símbolos de círculo azul representam as amostras do tratamento controle, enquanto os de círculo vermelho dizem respeito ao tratamento com aplicação de produto com *B. subtilis*. Símbolos maiores se referem aos centroides das amostras de cada tratamento, e os vetores contemplam as variáveis utilizadas na PCA.



Fonte: Elaborado pela autora.



## 5.2 Massa seca da parte aérea da cultura de sorgo

Diante da verificação dos pressupostos e da análise em esquema fatorial, a interação entre os fatores (solo x tratamento) não foi significativa. No entanto, quando se avalia o efeito individual dos tratamentos, constatou-se que, para o solo textura média arenosa, os tratamentos obtiveram médias estatisticamente iguais e menores, como apresentado na Tabela 4:

**Tabela 4:** Média (desvio padrão) referente à massa seca (g) coletada nas áreas 1 e 2.

MASSA SECA DA PARTE AÉREA*		
Textura	CT	BA
Média	<b>99,34 ± 12,67aB</b>	<b>94,24 ± 28,15aB</b>
Argilosa	117,08 ± 19,11aA	136,94 ± 47,80aA

\*Médias ± (desvio padrão) (n = 6). Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas linhas e por letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si pelos testes de Scott-Knott a um nível de significância de 5%. As médias destacadas em negrito mostram os índices menores.

**Fonte:** Elaborado pela autora.

A análise de PCA corrobora que a massa seca foi correlacionada positivamente sem aplicação no solo de textura argilosa e com aplicação da bactéria no mesmo solo. Resultados dos tratamentos CT-ARG e BA-ARG foram maiores, assim como na pesquisa de Cecon *et al.* (2018), devido às diferenças entre as classes de solo; afinal, solos argilosos possuem maior capacidade de retenção de água, nutrientes, Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e microporosidade que auxiliam em um melhor desenvolvimento radicular.

## 5.3 Fertilidade do solo

A aplicação do isolado de *B. subtilis* não obteve efeito significativo na fertilidade do solo, o que minimizou o parâmetro P no solo de textura média arenosa e argilosa. Nessa situação, a análise sob o esquema fatorial revelou a ausência de interação estatisticamente significativa entre os fatores solo e tratamento para todos os parâmetros.

Variáveis de pH (H<sub>2</sub>O), S, Ca, Mg, SB, T e V apresentaram médias estatisticamente iguais entre os tratamentos de mesma categoria de solo, ao se diferirem das médias de

tratamento de solos diferentes – menores valores foram atribuídos ao solo de textura média arenosa. Para Mn, Fe, Cu, Mo e H+Al, as médias estiveram estatisticamente iguais entre os tratamentos de mesma categoria de solo, em contraposição às médias de tratamento de solos diferentes – menores valores se apresentaram no solo argiloso (Tabela 5).

As médias superiores encontradas no solo de textura média/arenosa podem ser atribuídas à aplicação de esterco e calcário no cultivo de inhame (*Dioscorea* spp.) em 2022. Concentrações de P foram menores nos tratamentos nos quais a bactéria foi utilizada, o que expõe uma colonização tecidual ineficiente e não disponibiliza tal nutriente às plantas (GARCÍA *et al.*, 2020). Para a textura argilosa, observou-se maior acidez potencial, consequência da maior disponibilidade de MO que resultou no aumento de ácidos orgânicos (BLOOM *et al.*, 2005).

**Tabela 5:** Fertilidade de solos de textura média/arenosa e argilosa utilizados para desenvolvimento de sorgo, em comparação aos tratamentos de aplicação de isolado bacteriano

\* Médias  $\pm$  (desvio padrão) (n = 6) e dados paramétricos conforme o teste de Scott-Knott. \*\*

	Textura	CT	BA
pH (H <sub>2</sub> O) *	Média	<b>6,12 <math>\pm</math> 0,21aB</b>	<b>6,03 <math>\pm</math> 0,30aB</b>
	Argilosa	6,33 $\pm$ 0,24aA	6,38 $\pm$ 0,15aA
pH (CaCl <sub>2</sub> ) *	Média	5,65 $\pm$ 0,19aA	5,57 $\pm$ 0,29aA
	Argilosa	5,82 $\pm$ 0,20aA	5,87 $\pm$ 0,14aA
P (mg/dm <sup>-3</sup> ) **	Média	67,17 $\pm$ 15,77aA	<b>45,05 <math>\pm</math> 16,84bA</b>
	Argilosa	69,40 $\pm$ 20,51aA	<b>42,10 <math>\pm</math> 13,21bA</b>
S (mg/dm <sup>-3</sup> ) *	Média	<b>9,32 <math>\pm</math> 1,75aB</b>	<b>8,13 <math>\pm</math> 1,38aB</b>
	Argilosa	11,4 $\pm$ 3,06aA	11,43 $\pm$ 2,03aA
K (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup> ) *	Média	0,42 $\pm$ 0,04aA	0,39 $\pm$ 0,04aA
	Argilosa	0,36 $\pm$ 0,08aA	0,38 $\pm$ 0,06aA
Ca (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup> ) *	Média	<b>3,06 <math>\pm</math> 0,19aB</b>	<b>3,20 <math>\pm</math> 0,43aB</b>
	Argilosa	3,56 $\pm$ 0,36aA	3,56 $\pm$ 0,31aA
Mg (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup> ) *	Média	<b>1,00 <math>\pm</math> 0,07aB</b>	<b>1,06 <math>\pm</math> 0,22aB</b>
	Argilosa	1,65 $\pm$ 0,35aA	1,53 $\pm$ 0,23aA
H+Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup> ) *	Média	2,04 $\pm$ 0,24aA	2,21 $\pm$ 0,41aA
	Argilosa	<b>1,78 <math>\pm</math> 0,26aB</b>	<b>1,71 <math>\pm</math> 0,21aB</b>
MO (dag/kg <sup>-1</sup> ) *	Média	2,67 $\pm$ 0,10aA	2,60 $\pm$ 0,19aA
	Argilosa	<b>1,72 <math>\pm</math> 0,16aB</b>	<b>1,82 <math>\pm</math> 0,20aB</b>
B (mg/dm <sup>-3</sup> ) *	Média	0,33 $\pm$ 0,04aA	0,29 $\pm$ 0,06aA
	Argilosa	0,33 $\pm$ 0,05aA	0,38 $\pm$ 0,05aA
Cu (mg/dm <sup>-3</sup> ) **	Média	0,99 $\pm$ 0,10aA	1,12 $\pm$ 0,16aA
	Argilosa	<b>0,82 <math>\pm</math> 0,07aB</b>	<b>0,83 <math>\pm</math> 0,06aB</b>
Fe (mg/dm <sup>-3</sup> ) *	Média	61,00 $\pm$ 12,36aA	71,50 $\pm$ 11,52aA
	Argilosa	<b>29,33 <math>\pm</math> 2,69aB</b>	<b>31,83 <math>\pm</math> 3,29aB</b>
Mn (mg/dm <sup>-3</sup> ) *	Média	5,39 $\pm$ 0,44aA	5,37 $\pm$ 0,58aA
	Argilosa	<b>1,79 <math>\pm</math> 0,24aB</b>	<b>1,81 <math>\pm</math> 0,21aB</b>
Zn (mg/dm <sup>-3</sup> ) *	Média	3,36 $\pm$ 0,39aA	3,40 $\pm$ 0,66aA
	Argilosa	3,071 $\pm$ 0,64aA	3,18 $\pm$ 0,69aA
SB (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup> ) *	Média	<b>4,48 <math>\pm</math> 0,29aB</b>	<b>4,65 <math>\pm</math> 0,67aB</b>
	Argilosa	5,57 $\pm$ 0,66aA	5,48 $\pm$ 0,45aA
T (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>-3</sup> ) *	Média	<b>6,51 <math>\pm</math> 0,2aB</b>	<b>6,86 <math>\pm</math> 0,47aB</b>
	Argilosa	7,35 $\pm$ 0,67aA	7,20 $\pm$ 0,44aA
V (%) *	Média	<b>68,83 <math>\pm</math> 3,68aB</b>	<b>67,67 <math>\pm</math> 6,56aB</b>
	Argilosa	75,67 $\pm$ 3,77aA	76,00 $\pm$ 3,06aA

Mediana  $\pm$  (amplitude interquartil) (n = 6) e dados não paramétricos de acordo com o teste de Kruskal-Wallis. Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas linhas e por letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si pelos testes de Scott-Knott e Kruskal-Wallis a um nível de significância de 5%. As médias destacadas em negrito mostram os índices menores. BA:

tratamento com aplicação de *B. subtilis*; CT: tratamento controle; MED: solo de textura média/arenosa; ARG: solos de textura argilosa; P: fósforo; S: enxofre; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; H+Al: acidez potencial; MO: Matéria Orgânica; B: boro; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco; SB: soma de bases trocáveis; T: capacidade de troca de cátions; V%: saturação da CTC por bases.

#### 5.4 Nutrição da planta

A análise sobre o esquema fatorial revelou uma interação estatisticamente significativa entre os fatores solo e tratamento. Em outras palavras, no que se refere aos parâmetros K, Mg e Cu, notaram-se interações estatisticamente significativas entre as diferentes classes de solo e tratamentos, e a significância na interação indica que a categoria do solo tem impacto nos resultados dos tratamentos (e vice-versa). Plantas que receberam tratamento com a inoculação de *B. subtilis* demonstraram médias significativamente inferiores às variáveis K, Mg e Cu em solos de textura arenosa, enquanto apresentaram médias superiores em solos de textura argilosa, mas sem se diferirem do controle (Tabela 6):

**Tabela 6:** Resultados dos parâmetros de nutrição da planta de sorgo, os quais demonstraram uma interação estatisticamente significativa na análise sob o esquema fatorial, conforme ambas as texturas de solo e entre os tratamentos.

Potássio (g Kg <sup>-1</sup> ) *		
Textura	CT	BA
Média	19,17 ± 1,12aA	<b>15,17 ± 2,73bB</b>
Argilosa	17,33 ± 1,49aA	19,50 ± 1,38aA
Magnésio (g Kg <sup>-1</sup> ) *		
Textura	CT	BA
Média	3,69 ± 0,25aA	3,27 ± 0,24aB
Argilosa	3,76 ± 0,32aA	4,21 ± 0,59aA
Cobre (mg Kg <sup>-1</sup> ) *		
Textura	CT	BA
Média	5,57 ± 0,93aA	<b>4,63 ± 0,55aB</b>
Argilosa	5,35 ± 1,43aA	6,57 ± 1,01aA

\*Médias ± (desvio padrão) (n = 6). Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas linhas e por letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si pelos testes de Scott-Knott a um nível de significância de 5%. As médias destacadas em negrito mostram os índices menores.

**Fonte:** Elaborado pela autora.

Do mesmo modo, a análise sobre o esquema fatorial indicou a ausência de interação estatisticamente significativa entre os fatores solo e tratamento, em relação aos parâmetros N, P, S, Ca, B, Fe, Mn, Zn e molibdênio (Mo). Acerca dos efeitos isolados das demais variáveis, o teor de N apresentou médias inferiores nos tratamentos que incluíram a presença da bactéria. Para S, Ca, Fe e B, houve um comportamento semelhante, no qual as médias dos tratamentos do solo de textura média não diferiram estatisticamente entre si, apesar de terem sido inferiores de maneira significativa em comparação com os tratamentos realizados em solos de textura argilosa (Tabela 7).

No caso da variável Mn, as médias dos tratamentos do solo de textura argilosa foram estatisticamente menores. Além disso, Mo apresentou média estatisticamente menor no tratamento em que a bactéria foi aplicada no solo de textura média (Tabela 7). Os resultados sugerem que a aplicação do inóculo com BS em solos de textura argilosa é mais efetiva, ou seja, a bactéria apresenta resultados expressivos em solos argilosos. Conforme discutido previamente, solos de textura argilosa possuem maior capacidade de retenção de água, de CTC e quantidade de microporos, o que auxilia no armazenamento de nutrientes e em melhorias no desenvolvimento radicular (CECCON *et al.*, 2018). Quando foi aplicado o bioinsumo, as médias menores de N, Mo, K, Mg e Cu são atribuídas a uma colonização tecidual ineficiente entre microrganismo e planta, sem interação e, conseqüentemente, indisponibilização dos nutrientes para o vegetal (GARCÍA *et al.*, 2020).

Portanto, conclui-se que a aplicação do isolado de *B. subtilis* não teve um efeito significativo na fertilidade do solo, e sua aplicação levou à diminuição dos parâmetros K, Cu, Mg e Mo no solo de textura média arenosa.

**Tabela 7:** Nutrição da planta de sorgo em ambas as texturas de solo, ao comparar os tratamentos com e sem a aplicação do isolado bacteriano.

	Textura	CT	BA
N (g/kg <sup>-1</sup> ) *	Média	<b>19,98 ± 3,42aB</b>	<b>16,35 ± 2,85bB</b>
	Argilosa	24,53 ± 2,24aA	<b>21,60 ± 2,91bA</b>
P (g/kg <sup>-1</sup> ) *	Média	1,52 ± 0,32aA	1,12 ± 0,37aA
	Argilosa	1,38 ± 0,15aA	1,52 ± 0,42aA
S (g/kg <sup>-1</sup> ) *	Média	<b>1,00 ± 0,17aB</b>	<b>0,90 ± 0,24aB</b>
	Argilosa	2,30 ± 0,29aA	2,62 ± 0,63aA
Ca (g/kg <sup>-1</sup> ) *	Média	<b>6,46 ± 0,21aB</b>	<b>6,38 ± 0,96aB</b>
	Argilosa	7,32 ± 0,53aA	8,45 ± 1,57aA
Fe (mg/kg <sup>-1</sup> ) *	Média	<b>257,50 ± 49,16aB</b>	<b>195,67 ± 57,05aB</b>
	Argilosa	283,50 ± 66,59aA	294,17 ± 61,05aA
Mn (mg/kg <sup>-1</sup> ) *	Média	40,50 ± 5,97aA	42,67 ± 8,58aA
	Argilosa	<b>17,50 ± 3,10aB</b>	<b>22,50 ± 4,54aB</b>
Zn (mg/kg <sup>-1</sup> ) *	Média	42,43 ± 10,50aA	39,08 ± 8,70aA
	Argilosa	39,88 ± 8,41aA	46,55 ± 12,70aA
B (mg/kg <sup>-1</sup> ) *	Média	<b>3,22 ± 0,30aB</b>	<b>2,82 ± 0,45aB</b>
	Argilosa	3,91 ± 0,60aA	4,03 ± 0,38aA
Mo (mg/kg <sup>-1</sup> ) *	Média	2,13 ± 1,23aA	<b>0,78 ± 0,47aB</b>
	Argilosa	2,62 ± 1,41aA	2,74 ± 0,53aA

\*Médias ± (desvio padrão) (n = 6), dados paramétricos sendo realizado teste de Scott-Knott. Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas linhas e por letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si, pelos testes de Scott-Knott ao um nível de significância de 5%. As médias destacadas em negrito mostram os índices menores. N, nitrogênio; P, fósforo; S, enxofre; Ca, cálcio; Fe, ferro; Mn, manganês; Zn, zinco; B, boro; Mo, molibdênio.

**Fonte:** Elaborado pela autora.

## 5.5 Produtividade

A análise relativa ao esquema fatorial revelou que a interação entre os fatores solo e tratamento não demonstrou significância estatística (Tabela 8) e a aplicação do isolado de *B. subtilis* não obteve um impacto estatisticamente significativo na produtividade da planta de sorgo. Entretanto, a PCA evidenciou uma correlação positiva entre a produtividade da cultura analisada em ambas as classes de solo e na aplicação de *B. subtilis*. A ausência de diferenciação entre os tratamentos pode ser associada ao fato de tal cultura, por possuir o mecanismo C4, ser tolerante a condições adversas, como

temperaturas elevadas, baixa disponibilidade de água e solos salinos e alcalinos (KANG *et al.*, 2023).

**Tabela 8:** Resultados do parâmetro de produtividade da planta de sorgo.

PRODUTIVIDADE*		
Kg ha <sup>-1</sup>		
	CT	BA
Média	5.246,22 ± 906,53aA	4.329,84 ± 1.094,35aA
Argilosa	4.590,64 ± 608,63aA	5.329,33 ± 1.483,64aA

\*Médias ± (desvio padrão) (n = 6). Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas linhas e por letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a uma significância de 5%.

**Fonte:** Elaborado pela autora.

## 5.6 Respiração Basal do Solo (RBS) e quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>)

Para a RBS, os tratamentos não diferiram entre si; em contrapartida, no solo de textura média, os tratamentos exibiram médias inferiores. No parâmetro qCO<sub>2</sub>, não existem diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos (Tabela 9).

**Tabela 9:** Resultados da respiração basal do solo e quociente metabólico. Nos dois parâmetros, não houve interação estatisticamente significativa na análise sobre o esquema fatorial, ao considerar ambas as texturas de solo e entre os tratamentos.

	RESPIRAÇÃO BASAL DO SOLO**		qCO <sub>2</sub> *	
	mg C Kg <sup>-1</sup> solo. h <sup>-1</sup>		Mg C g <sup>-1</sup> CBM-S h <sup>-1</sup>	
	CT	BA	CT	BA
Média	<b>0,31 ± 0,04aB</b>	<b>0,35 ± 0,156aB</b>	13,74 ± 11,55aA	11,17 ± 11,01aA
Argilosa	0,45 ± 0,18aA	0,44 ± 0,17aA	10,51 ± 14,33aA	7,56 ± 6,38aA

\*Médias ± (desvio padrão) (n = 6) e dados paramétricos com o teste de Scott-Knott. \*\* Mediana ± (amplitude interquartil) (n = 6). Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas linhas e por letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si pelos testes de Kruskal-Wallis e Scott-Knott a uma significância de 5%. As médias destacadas em negrito mostram os índices menores.

**Fonte:** Elaborado pela autora.

A RBS é definida como o total de todas as atividades metabólicas em que microrganismos liberam CO<sub>2</sub> ao degradar a MO (SILVA *et al.*, 2007). Maiores índices de RBS estão associados às alterações da microbiota e do solo, embora taxas elevadas possam ou não indicar algum distúrbio no solo. Portanto, a RBS deve ser interpretada em conjunto com o qCO<sub>2</sub> para uma avaliação mais precisa (ISLAM; WEIL, 2000; ARAÚJO; HENNING; HUNGRIA, 2005; DADALTO *et al.*, 2015).

Nesse contexto, o tratamento controle no solo de textura média sugere o indicativo de estresse, com baixa incorporação de carbono. A eficiência da biomassa microbiana ocorre quando há menor perda de CO<sub>2</sub> e maior taxa de carbono se incorpora à biomassa microbiana, o que resulta em valores menores de qCO<sub>2</sub> (CUNHA *et al.*, 2011). Assim, os tratamentos em solo de textura argilosa apresentam valores mais elevados de RBS e baixos de qCO<sub>2</sub>, o que infere uma biomassa eficiente que incorporou maior quantidade de carbono. Portanto, a interpretação conjunta de RBS e qCO<sub>2</sub> sugere que a aplicação do isolado bacteriano pode ter impactado a atividade microbiana do solo, mas a relação deve ser explorada para uma definição mais precisa.

### 5.7 Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (CBM-S)

Após a verificação dos pressupostos e a análise em esquema fatorial, não houve interação significativa entre os fatores (solo x tratamento). Igualmente, a Anova reafirmou que não existem diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos a um nível de significância de 5% (Tabela 10):

**Tabela 10:** Resultados do parâmetro CBM-S, conforme ambas as texturas de solo e entre os tratamentos.

CBM-S*		
mg C microbiano Kg <sup>-1</sup> de solo		
	CT	BA
Média	46,83 ± 33,15aA	34,00 ± 31,85aA
Argilosa	59,39 ± 41,64aA	54,56 ± 40,94aA

\*Médias ± (desvio padrão) (n = 6). Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas linhas e por letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott a uma significância de 5%.

**Fonte:** Elaborado pela autora.

A biomassa microbiana representa a principal fonte responsável por processos biogeoquímicos de degradação da MO, incorporação e ciclagem de C (NGUYEN; MARSCHNER, 2017); logo, CBM-S pode ser empregado como um indicador de qualidade do solo (OLIVEIRA *et al.*, 2021). No que se refere ao CBM-S neste estudo, não foi constatada interação significativa na análise em esquema fatorial, o que demonstra que a categoria do solo não influencia nos tratamentos (e vice-versa) – ademais, as médias não apresentaram divergências entre si. A PCA evidenciou uma correlação positiva com



o tratamento controle no solo de textura média/arenosa, ao passo que, no solo argiloso, a correlação foi positiva nos tratamentos com (e sem) aplicação do inóculo.

Sendo assim, a similaridade entre os tratamentos pode ser atribuída à alta concentração de MO e nutrientes na camada superficial do solo, provenientes da palhada da safra anterior. Torna-se relevante considerar a classe de solo, o modelo e a quantidade de cobertura, o período e, especialmente, o sistema de manejo adotado, dada a sensibilidade dos organismos à temperatura, à disponibilidade de água e às fontes de alimento (REIS, 2023). Diante disso, infere-se que a aplicação do isolado não resultou em aumento ou redução de outras populações microbianas, visto que a média do CBM-S foi similar para ambos os tratamentos.

Com base na análise realizada, a aplicação do isolado de *B. subtilis* não demonstrou impacto estatisticamente significativo no CBM-S e, tampouco, a biomassa microbiana do solo foi influenciada de forma significativa pela aplicação do produto com *B. subtilis*.

## **5.8 Potencial enzimático do solo**

Nesse caso, a análise sobre o esquema fatorial revelou a ausência de interação estatisticamente significativa entre os fatores solo e tratamento de todas as atividades enzimáticas. Cada caso avaliado reafirmou que a atividade da FDA não representa diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos e a categoria do solo, com um nível de significância de 5% (Tabela 11).

No entanto, foram constatadas diferenças entre as classes de solo nas atividades enzimáticas de  $\beta$ -glicosidade e fosfatase ácida – na primeira, demonstraram-se médias menores e iguais entre os tratamentos no solo de textura média, e os do solo de textura argilosa foram maiores; na segunda, houve um comportamento parecido. A atividade da arilsulfatase não apresentou diferenças entre os tratamentos de mesma categoria de solo; no entanto, os tratamentos nos quais a bactéria foi aplicada foram menores quando comparados com o controle pelo teste de Scott-Knott e a uma significância de 5%.

**Tabela 11:** Atividades médias de FDA, arilsulfatase,  $\beta$ -glicosidase e fosfatase ácida em latossolo vermelho distrófico típico com texturas média/arenosa e argiloso cultivado com sorgo, com e sem aplicação de *B. subtilis*, Uberlândia/MG.

	FDA*		$\beta$ - GLICOSIDADE*		FOSFATASE ÁCIDA**		ARILSULFATASE*	
	$\mu\text{g fluoresceína g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$				$\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$			
	CT	BA	CT	BA	CT	BA	CT	BA
Média	1,38 $\pm$ 0,46aA	1,18 $\pm$ 0,29aA	<b>11,92 <math>\pm</math> 2,04aB</b>	<b>10,56 <math>\pm</math> 3,29aB</b>	<b>11,16 <math>\pm</math> 1,06aB</b>	<b>13,07 <math>\pm</math> 3,43aB</b>	<b>967,33 <math>\pm</math> 38,12aB</b>	<b>838,48 <math>\pm</math> 81,18bB</b>
Argilosa	1,47 $\pm$ 0,34aA	1,53 $\pm$ 0,26aA	20,55 $\pm$ 6,59aA	22,79 $\pm$ 5,07aA	22,13 $\pm$ 1,53aA	23,71 $\pm$ 3,43aA	1039,70 $\pm$ 110,24aA	<b>917,08 <math>\pm</math> 116,60bA</b>

\*Médias  $\pm$  (desvio padrão) (n = 6), dados paramétricos realizados pelo teste de Scott-Knott. \*\* Mediana  $\pm$  (amplitude interquartil) (n = 6), dados não paramétricos pelo teste de Kruskal-Wallis. Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas linhas e por letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott e Kruskal-Wallis, a uma significância de 5%.

**Fonte:** Elaborado pela autora.

A PCA correlacionou positivamente a atividade de FDA com o tratamento controle em solo de textura arenosa e negativamente em solo argiloso. De fato, a falta de diferenças significativas na atividade de hidrólise do FDA pode indicar que as atividades microbianas no solo são estatisticamente equivalentes com e sem a aplicação do inóculo de *B. subtilis* (SCHNÜRER; ROSSWALL, 1982).

No caso das enzimas  $\beta$ -glicosidase e fosfatase ácida, o comportamento foi similar estatisticamente, cujos tratamentos não se diferiram na mesma categoria do solo; todavia, os valores para ambas as enzimas foram superiores em solo de textura argilosa. Nos solos com alta concentração de P solúvel, espera-se menor atividade da enzima fosfatase (RAGHOTHAMA *et al.*, 2005; GATIBONI *et al.*, 2008), o que explica os menores valores no solo de textura média/arenosa, que recebeu uma carga orgânica de esterco e calcário em 2022 e aumentaram o teor de MO, ácidos orgânicos e, conseqüentemente, a concentração de fósforo solúvel.

A  $\beta$ -glicosidase é uma enzima que atua na fase final da decomposição da celulose, ao hidrolisar resíduos de celobiose (TABATABAI, 1994), e suas variações podem influenciar a qualidade do solo. Uma alta atividade dessa enzima está relacionada ao aumento da biomassa microbiana e, conseqüentemente, à capacidade de decomposição e disponibilização de nutrientes (STOTT *et al.*, 2010). Nesse entremeio, a atividade elevada da  $\beta$ -glicosidase também se aproxima à estrutura do solo; afinal, solos com melhor agregação resultam em níveis mais altos de tal enzima (ACOSTA-MARTÍNEZ *et al.*, 2007). Por isso, a maior atividade da  $\beta$ -glicosidase no solo argiloso pode ser explicada pela melhor agregação dessa categoria do solo.

Em ambos as classes de solo, a média da atividade da arilsulfatase foi diferente e maior no tratamento controle, em comparação com o tratamento realizado pela aplicação da bactéria. O aumento da respiração da comunidade sob estresse em todo o ecossistema ocorre devido à necessidade de desvio de energia do crescimento e da reprodução para a manutenção (ODUM, 1985; LI; SARAH, 2003). Em situações de estresse, há demanda mais elevada por energia para manutenção, o que resulta em maior atividade da arilsulfatase na comunidade microbiana e explica os valores elevados no tratamento controle. Com base nos resultados obtidos, a aplicação do inóculo de *B. subtilis* não demonstrou impacto estatisticamente significativo na atividade enzimática do solo. Por essa razão, há a capacidade de diminuir os valores da atividade enzimática arilsulfatase.

Uma vez que *B. subtilis* tem demonstrado efeitos benéficos em vários estudos com outras culturas, o sorgo, devido à resistência a vários fatores ambientais, talvez não seja a melhor opção para avaliar os efeitos da bactéria como bioinsumo para o condicionamento do solo. Apesar de a pesquisa não ter indicado um efeito significativo do inóculo como condicionador do solo na cultura supracitada, é importante continuar com a exploração de abordagens não convencionais na agricultura e avaliar minuciosamente o potencial de diferentes produtos biológicos para aprimorar a produtividade e a sustentabilidade agrícola.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com as condições postas nos ensaios, a cepa *B. subtilis* CCT-7840 se revela ineficiente como bioinsumo em solo sob sorgo, por não promover melhorias significativas em propriedades químicas, atividade biológica do solo e desenvolvimento da cultura. Não se observou um aumento expressivo na biomassa da parte aérea, na fertilidade do solo, na produtividade do sorgo, na respiração basal do solo, no quociente metabólico, no carbono da biomassa do solo e na atividade enzimática com a aplicação do produto com *B. subtilis*. Ademais, a biologia do solo é mais influenciada pela textura do solo do que pela administração do *Bacillus*.

Dessa maneira, a introdução da bactéria reduziu a concentração de P no solo. As concentrações de N, K, Cu, Mg e matéria orgânica do solo foram diminuídas em solo de textura média em comparação com o solo argiloso. E a atividade da arilsulfatase foi minimizada com a aplicação em ambos os solos de texturas diferentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA-MARTÍNEZ, V. *et al.* Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed. **Applied Soil Ecology**, v. 35, n. 1, p. 35-45, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2006.05.012>

ADAM, G., DUNCAN, H. Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. **Soil Biology & Biochemistry** 33,943–951, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00244-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00244-3)

AFRIDA, E., SYAHRIL, M. e KOKO TAMPUBOLON. Optimization of soybean yield in ultisols through adaptive varieties screening and plant growth promoting Rhizobacter. **Bioscience Journal** [online], vol. 38, pág. e38013, 2022. DOI: <https://doi.org/10.14393/BJ-v38n0a2022-57214>

ALVES, A.J. Influência de *Bacillus* spp. nos atributos químicos e microbiológicos do solo e no desenvolvimento da soja e do milho. 2018. (Dissertação) Mestrado em Agronomia - Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2018-1

ALVES, K. C. S. *et al.* *Bacillus subtilis*: uma versátil ferramenta biotecnológica. **Scientia Amazonia**, v. 7, n. 2, p. 15-23, 2018.

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 & Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 3, p. 393-395, mar. 1993. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(93\)90140-7](https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90140-7)

ARAÚJO, A. S. F. *de et al.* Coinoculação rizóbio e *Bacillus subtilis* em feijão-caupi e leucena: efeito sobre a nodulação, a fixação de N<sub>2</sub> e o crescimento das plantas. **Ciência Rural** [online]. 2010, v. 40, n. 1, pp. 182-185. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000249>

ARAÚJO, F. F.; MARCHESI, G. V. P. Uso de *Bacillus subtilis* no controle da meloidoginose e na promoção do crescimento do tomateiro. **Ciência Rural** [online]. 2009, v. 39, n. 5, pp. 1558-1561. DOI <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000500039>.

ARAÚJO, F. F.; SILVA, J. F. V.; ARAÚJO, A. S. F. Influência de *Bacillus subtilis* na eclosão, orientação e infecção de heterodera glycines em soja. **Ciência Rural** [online]. 2002, v. 32, n. 2 [Acessado 31 Maio 2022], pp. 197-203. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000200003>.

ARAÚJO, F.F.; HENNING, A.; HUNGRIA, M. Phytohormones and antibiotics produced by *Bacillus subtilis* and their effects on seed pathogenic fungi and on soybean root development. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, Dordrecht, v.21, p.1639-1645,2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11274-005-3621-x>

ARNAOUTELI, S. *et al.* *Bacillus subtilis* biofilm formation and social interactions. **Nature Reviews Microbiology**, v. 19, n. 9, p. 600-614, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41579-021-00540-9>

ARRUDA B.; BEJARANO-HERRERA W.F.; ORTEGA-CEPEDA M.C.; CAMPO-QUESADA J.M.; TORO-TOBÓN G.; ESTRADA-BONILLA G.A.; SILVA A.M.M.; FERRARI PUTTI F. Bioinput Inoculation in Common Beans to Mitigate Stresses Caused by a Period of Drought. **Stresses**. 2023; 3(4):842-857.

<https://doi.org/10.3390/stresses3040057>

BAZIÉ, D. *et al.* Physicochemical and Nutritional Potential of Fifteen Sorghum Cultivars from Burkina Faso. **Agriculture**, v. 13, n. 3, p. 675, 2023. DOI:

<https://doi.org/10.3390/agriculture13030675>

BLOOM, P.R., SKYLLBERG, U.L., SUMNER, M.E. Soil acidity, in: Tabatabai, M.A., Sparks, D.L. (Eds.), Chemical processes in soils. Soil Science Society of America, Madison, pp. 411–459, 2005. <https://doi.org/10.2136/sssabookser8.c8>

BRASIL. Senado Federal. Projeto de Lei nº 3.668, de 14 de outubro de 2021. Dispõe sobre a produção, o registro, comercialização, uso, destino final dos resíduos e embalagens, o registro, inspeção e fiscalização, a pesquisa e experimentação, e os incentivos à produção de bioinsumos para agricultura e dá outras providências.

BROOKES, P.C.; POWLSON, D. S.; JENKINSON, D. S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 14, n. 4, p. 319-329, 1982. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(82\)90001-3](https://doi.org/10.1016/0038-0717(82)90001-3)

BUITRAGO, R.B.; DE BASHAN, L.E.G.; PEDRAZA, R.O. Bacterias Promotoras de Crecimiento Vegetal; Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (Corpoica): Mosquera, Colombia, 2021; 372p. DOI:

<https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7405019>

CABRA CENDALES, Teresa *et al.* Efeito do bacilo na germinação e crescimento de mudas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). **Acta biol.Colomb.**, Bogotá, v. 22, n. 1, pág. 37-44, abril de 2017 DOI: <https://doi.org/10.15446/abc.v22n1.57375>

CABRAL, R. G., CARDOSO, R. B., CAVALHEIRO ADORIAN, G., SILVA, R. Z. DA, & LEÃO, E. U. Colonização in vitro de raízes de sorgo por rizobactérias. **Agri-environmental sciences**, 9(1), v8, 2023. DOI:

<https://doi.org/10.36725/agries.v9i1.8164>

CASTRO-TORO, Á. M.; RIVILLAS-OSORIO, C. A. Bio regulation of *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood and *M. javanica* (Treub) Chitwood complex in coffee roots. **Revista de Ciencias Agrícolas**, v. 39, n. 2, p. 128-142, 2022. DOI:

<https://doi.org/10.22267/rcia.223902.189>

CAIXETA FILHO., PÉRA, J.V., GUILHERME, T. O custo do desperdício na logística do agronegócio no Brasil. Perdas em transporte e armazenagem de grãos: panorama atual e perspectivas. Brasília, DF: **Conab**, 2021. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 05 maio 2023.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 2, p. 133-142, maio/ago. 1990.

CECCON, G., MAKINO, P. A., ALVES, V. B., FACHINELLI, R., DA LUZ, R. A. Produtividade de cultivares de sorgo sacarino em diferentes épocas de semeadura e

classes de solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, 5(2), 69–75, 2018. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v5i2.1729>

CHAGAS JUNIOR, A. F.; CHAGAS, L. F. B.; MARTINS, A. L. L.; COLONIA, B. S. O.; SOUZA, M. C.; BRAGA JUNIOR, G. M. Efficiency of *Bacillus subtilis* Bs10 as a plant growth promoting inoculant in soybean crop under field conditions. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 14, p. e441101422141, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.22141>

CHAGAS JUNIOR, A. F. et al. *Bacillus subtilis* como inoculante promotor de crescimento vegetal em soja. **Diversitas Journal**, 7. Tocantis (2022). DOI: <https://doi.org/10.17048/dj.v7i1.2071>

CHANWAY, C. P.; HYNES, R. K.; NELSON, L. M. Plant growth-promoting rhizobacteria: Effects on growth and nitrogen fixation of lentil (*Lens esculenta* moench) and pea (*Pisum sativum* L.). **Soil Biology and Biochemistry**, v. 21, n. 4, p. 511–517, 1 jan. 1989. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(89\)90123-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(89)90123-5)

CHEN, W. *et al.* Biochar combined with *Bacillus subtilis* SL-44 as an eco-friendly strategy to improve soil fertility, reduce *Fusarium* wilt, and promote radish growth. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 251, p. 114509, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114509>

CHILDE, V. G. *Man makes himself*. **Science and Society**. Nova York: The New American Library of World Literature, 1958.

CIPRIANO, P. E. *et al.* Sodium Selenate, Potassium Hydroxy-Selenide, Acetylselenide and Their Effect on Antioxidant Metabolism and Plant Nutrition and Yield in Sorghum Genotypes. **Foods**, v. 12, n. 10, p. 2034, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12102034>

COBAN, O; DE DEYN, G.B.; VAN DER PLOEG, M. Soil microbiota as game-changers in restoration of degraded lands. **Science**, v. 375, n. 6584, p. abe0725, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.abe0725>

COELHO, A. M. *Nutrição e Adubação*. Embrapa milho e sorgo. Sistema de Produção, 2015. Disponível em: [https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19622/1/Circ\\_78.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19622/1/Circ_78.pdf)

COELHO, T. N.; MARTINS, W. S.; MIRANDA, F. F. R. DE. Biological control in the management of *Pratylenchus brachyurus* in different treatments in the soybean crop. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 9, n. 3, p. 274-278, 1 ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n105rc>

CUNHA, E. D. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. D. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho: II - atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, p. 603-611, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200029>

DA SILVA, E. E.; DE AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, Helvécio. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (CBM-S). Seropédica: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; 2007. (Comunicado técnico, 98).

- DADALTO, J. P. et al. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 506-513, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p506-513/2015>
- DAS, P., BARUA, S., SARKAR, S., KARAK, N., BHATTACHARYYA, P., RAZA, N., BHATTACHARYA, S. S. Plant extract-mediated green silver nanoparticles: Efficacy as soil conditioner and plant growth promoter. **Journal of Hazardous Materials**, 346, 62–72, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.12.020>
- DE OLIVEIRA, J. B. et al. Efeito da aplicação de biochar sobre o carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com melão. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 1, p. 368-377, 2021. DOI: <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n1-032>
- DIAZ, P. A. E. **Bacillus spp. como promotores de crescimento na cultura do algodão**. 2018. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal, 2018.
- EL-GENDI H., AL-ASKAR A.A., KIRÁLY L., SAMY M.A., MOAWAD H., ABDELKHALEK A. Foliar Applications of Bacillus subtilis HA1 Culture Filtrate Enhance Tomato Growth and Induce Systemic Resistance against Tobacco mosaic virus Infection. **Horticulturae**. 2022; 8(4):301. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040301>
- FARDIN, F. et al. Nutritional value and agronomic traits of forage sorghum under drought stress. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 48, p. 102624, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102624>
- FERREIRA, T. C.; CUNHA, A. L. A. Bacillus spp. como promotores de resistência vegetal: seca, a salinidade e a patógenos habitantes do solo em áreas áridas. **Revista de Agroecologia no Semiárido**, v. 4, n. 5, p. 1-12, out. 2020. ISSN 2595-0045 <http://dx.doi.org/10.35512/ras.v4i5.4812>
- FIGUEIREDO, M.B.; BURITY, H.A.; STAMFORD, N.P.; SANTOS, C.E.R.S. **Microrganismos e agrobiodiversidade: o novo desafio para a agricultura**. Guaíba: Agrolivros, 568p, 2008.
- GARCÍA, S.S., BERNABEU, P.R., VIO, S.A. et al. *Paraburkholderia tropica* as a plant-growth-promoting bacterium in barley: characterization of tissues colonization by culture-dependent and -independent techniques for use as an agronomic bioinput. **Plant Soil** 451, 89–106 (2020). <https://doi-org.ez34.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11104-019-04174-y>
- GATIBONI, L. C. et al. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Rio de Janeiro, v. 43, n. 8, p. 1085-1091, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2008000800019>
- GLICK, B. R. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. **Microbiological research**, v. 169, n. 1, p. 30–39, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.009>



- HOSSAIN, S.; ISLAM, N.; RAHMAN, M.; MOSTOFA, M. G.; KHAN, A. R. Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. **Journal of Agriculture and Food Research**. Vol 8, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100300>
- ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture Ecosystems and Environment, Amsterdam**, v. 79, n. 1, p. 9-16, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00145-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00145-0)
- JARDIM, A.M.d.R.F. et al. Potential produtivo da cultura do Sorghum bicolor (L.) Moench no semiárido brasileiro: revisão. **Pubvet**. Vol 14, 1–12, 2020. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n4a550.1-13>.
- JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 8, n. 3, p. 209-213, 1976. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(76\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(76)90005-5)
- JHA, D. C.; SARAF, M. Plant growth promoting Rhizobacteria (PGPR): a review. **Journal of Agricultural Research and Development**, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.5171.2164>
- KANG, X. et al. Structure and genetic regulation of starch formation in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) endosperm: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, p. 124315, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124315>
- KLOEPPER, J. W. Induce systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. **Phytopathology** **94**. 2004. p. 1259-1266 DOI: <https://doi.org/10.1094/phyto.2004.94.11.1259>
- KONDO, R.K. Manejo de inoculantes de bactérias promotoras decrescimento vegetal em araucaria angustifolia para a produção de mudas com elevada qualidade fisiológica nutricional. **Dissertação (mestrado)** - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Curitiba, 2022.
- KOVÁCS, Á.T. *Bacillus subtilis*. **Trends Microbiol.** 2019 Aug;27(8):724-725. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2019.03.008>
- LEPSCH, I. F. 19 Lições de Pedologia. São Paulo. Oficina de Textos. 2011, 456p.
- LI, X.; SARAH, P. Arylsulfatase activity of soil microbial biomass along a Mediterranean-arid transect. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 35, n. 7, p. 925-934, 2003. [https://doi-org.ez34.periodicos.capes.gov.br/10.1016/S0038-0717\(03\)00143-3](https://doi-org.ez34.periodicos.capes.gov.br/10.1016/S0038-0717(03)00143-3)
- LIU, LI-HUI *et al.* Endophytic Phthalate-degrading *Bacillus subtilis* N-1-gfp colonizing in soil-crop system shifted indigenous bacterial community to remove di-n-butyl phthalate. **Journal of Hazardous Materials**, v. 449, p. 130993, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.130993>
- MATHEW, R. P., FENG, Y. C., GITHINJI, L., ANKUMAH, R.; BALKCOM. K. S. Impact of no-tillage and conventional tillage systems on soil microbial communities. *App. Env. S. Sc.*, (2012). P 1-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2012/548620>

- MELO, T. A.; NASCIMENTO, I. T. V. S.; SERRA, I. M. R. S. "The Bacillus genus applied to the biological control of plant diseases." **Research, Society and Development** 10.9 (2021). DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i9.17817>
- MENDOZA-LEON, David et al. Controle de Tetranychus urticae Koch (Acari: Tetranychidae) com Bacillus subtilis en hojas de fresa (Fragaria vesca). **Agron. Costarricense**, San Pedro de Montes de Oca, v. 43, n. 1, pág. 125-133, junho de 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/rac.v43i1.35676>
- MIRÓN, I. J.; LINARES, C.; DÍAZ, J. The influence of climate change on food production and food safety. **Environmental Research**, v. 216, p. 114674, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114674>
- NADARAJAH, K. Soil health: The contribution of microflora and microfauna. **Mycorrhizosphere and Pedogenesis**, p. 383-400, 2019. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-6480-8\\_22](https://doi.org/10.1007/978-981-13-6480-8_22)
- NGUYEN, T.T.; MARSCHNER, P. Soil Respiration, Microbial Biomass and Nutrient Availability in Soil After Addition of Residues with Adjusted N and P Concentrations. **Pedosphere**, v.27, n.1, p 76-85, 2017. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60297-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60297-2)
- ODUM, E. Trends expected in the stressed ecosystems. **Bioscience** 35, 419–422, 1985.
- OLIVEIRA, C. A. et al. Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja. Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2020.
- OLIVEIRA, G.R.F. et al. Influência de bacillus subtilis no controle biológico de nematódeos e aspectos produtivos de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Tupã, São Paulo, Brasil, v. 11, n. 1, pág. 47–58, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2017v11n1p47-58>
- ONU. Organização das Nações Unidas. **2022 Revision of World Population Prospects**, 2023. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/>
- OROZCO-MOSQUEDA, M.C. et al. Plant growth-promoting bacteria as bioinoculants: Attributes and challenges for sustainable crop improvement. **Agronomy**, v. 11, n. 6, p. 1167, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11061167>
- PASCHOLATI, S.F. Fisiologia do parasitismo: como as plantas se defendem dos patógenos. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. (Org.). Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos. São Paulo: Agronômica Ceres. 4. ed. v.1, 2011. p.593-636.
- PRIHATININGSIH, N. et al. *Bacillus subtilis* from the potato rhizosphere as a biological control agent and growth promoter in pepper. **Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia**, [SI], v. 23, n. 2, pág. 179-184, dez. 2019. ISSN 2548-4788. DOI: <https://doi.org/10.22146/jpti.40606>

RAGAZZO-SÁNCHEZ, J. A.; ROBLES-CABRERA, A.; LOMELÍ-GONZÁLEZ, L.; LUNASOLANO, G.; CALDERÓN-SANTOYO, M. Selección de cepas de *Bacillus* spp. productoras de antibióticos aisladas de frutos tropicales. **Revista Chapingo. Serie horticultura**, v. 17, n. SPE1, p. 5–11, 2011.

RAGHOTHAMA, K. G. *et al.* Phosphate Acquisition. *Plant And Soil*, The Hague, v.274, n. 1-2, p. 37-49, July 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-004-2005-6>

RAMPIM, L.G. Desenvolvimento inicial de plântulas de milho reinoculadas com bactérias diazotróficas. **Research, Society and Development**. 2020. DOI: <https://doi.org/9.24953109.10.33448/rsd-v9i5.3109>

RATZ, R.J.; PALÁCIO, S.M.; ESPINOZA-QUIÑONES, F.R.; VICENTINO, R.C, MICHELIM, H.J.; RICHTER, L.M. Potencial biotecnológico de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas no cultivo de milho e soja. **Engevista** 19.4 (2017): 890. DOI: <https://doi.org/10.22409/engevista.v19i4.894>

REIS, D. A. Estoques de carbono e biomassa microbiana de um latossolo cultivado com soja sob inoculação fúngica. **Agri-Environmental Sciences**, v. 9, n. 1, p. 13-13, 2023. DOI: <https://doi.org/10.36725/agries.v9i1.8422>

ROMEIRO, R.S. Rizobactérias promotoras do crescimento vegetal como indutoras de resistência. Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos. FEALQ. Piracicaba-SP, 2005.

ROSA, P. A. L. *et al.* Inoculation with plant growth-promoting bacteria to reduce phosphate fertilization requirement and enhance technological quality and yield of sugarcane. **Microorganisms**, v. 10, n. 1, p. 192, 2022. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10010192>

SAFIAN, N. *et al.* Corn (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) yield and nutritional quality affected by drought stress. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 45, p. 102486, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102486>

SANTOS, A. F. dos; CORRÊA, B. O.; KLEIN, J.; BONO, J. A. M.; PEREIRA, L. C.; GUIMARÃES, V. F.; FERREIRA, M. B. Biometrics and nutritional status of white oat (*Avena sativa* L.) culture under *Bacillus subtilis* and *B. megaterium* inoculation. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 10, n. 5, p. e53410515270, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.15270>

SANTOS, R.K.A., *et al.* Plant growth-promoting bacteria associated with nitrogen fertilization in eucalyptus urophylla increase growth. **Gale Academic OneFile**. Holos, vol. 2021, no. 2, Apr. 2021b. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2021.9828>

SCHNÜRER, J; ROSSWALL, T. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. **Applied and environmental microbiology**, [S. l], v. 43, n. 6, p.1256-1261, 1982. DOI: <https://doi.org/10.1128%2Faem.43.6.1256-1261.1982>

SILVA CANUTO, R.P. *et al.* Rizobactérias no controle de *sclerotinia sclerotiorum*, e efeitos na promoção de crescimento de plantas de soja. **Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 110–120, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5747/ca.2020.v16.n4.a388>

SILVA, E.E, AZEVEDO, P.H.S, DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>). Seropédica: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; 2007a. (Comunicado técnico, 99).

SILVA, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SOUSA, I. M. et al. Bactérias promotoras do crescimento radicular em plântulas de dois cultivares de arroz irrigado por inundação. **EMBRAPA**, 2019.

SOUZA, G. L. O. D. et al. Bactérias endofíticas como bioinoculantes para mudas micropropagadas de bananeira. *Revista Brasileira de Fruticultura* [online]. 2017, v. 39, n. 2, e-324. 22 Jun 2017. ISSN 1806-9967. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-29452017324>.

SOUZA, R.V. Uso de *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* na cultura do trigo, 2023.

SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial-C - calibration in situ using microbial respiration and <sup>14</sup>C-labeled cells. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 20, n. 3, p. 337-343, 1988. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(88\)90014-4](https://doi.org/10.1016/0038-0717(88)90014-4)

STOTT, D. E. *et al.* Evaluation of β-glucosidase activity as a soil quality indicator for the soil management assessment framework. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 1, p. 107-119, 2010. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0029>

TABATABAI, M. A. Soil Enzymes. In: WEAVER, R. W.; ANGLE, J. S.; BOTTOMLEY, P. S. (ed.). *Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties*. Madison: **Soil Science Society of America**, 1994, p. 775 -833.

TAVANTI, T. R. et al. Yield and quality of soybean seeds inoculated with *Bacillus subtilis* strains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. 2020, v. 24, n. 1, pp. 65-71. ISSN 1807-1929. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n1p65-71>.

TAVARES, R. S. et al. biological control of tomato phytopathogens as an alternative to agricultural defensives and antibiotics. **Revista Internacional de Ciências**, [S.l.], v. 11, n. 3, p. 317-333, jan. 2022. ISSN 2316-7041. DOI: <https://doi.org/10.12957/ric.2021.57083>

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; VLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, Departamento de Solos, 1995. 174 p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A; TEIXEIRA, W.G. 2017. *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. Brasília: Embrapa. 573 p.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass-C. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6)

VOSS, G.B. Produção de *Bacillus subtilis* em biorreatores airlift e sua aplicação no controle de nematoide de galhas do tomateiro. **Dissertação (mestrado)** - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2013.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, Baltimore, v. 37, p. 29-38, 1934. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>

WICKE, D., MEIBNER, J., WARNEKE, R., ELFMANN, C. & STÜLKE, J. (2023). Understudied proteins and understudied functions in the model bacterium *Bacillus subtilis*—A major challenge in current research. **Molecular Microbiology**, 120, 8–19. <https://doi.org/10.1111/mmi.15053>

WITT, C.; GAUNT, J. L.; GALICIA, C. C.; OTTOW, J. C. G.; NEUE, H. U. A rapid chloroform- fumigation extraction method for measuring soil microbial biomass carbon and nitrogen in flooded rice soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 30, n. 5-6, p. 510-519, mar. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1007/s003740050030>

WONG, W. S.; TAN, S. N.; GE, L.; CHEN, X.; YONG, J. W. H. The Importance of Phytohormones and Microbes in Biofertilizers. In: **Bacterial Metabolites in Sustainable Agroecosystem**. Sustainable Development and Biodiversity. [s.l.] Springer, Cham, 2015. p. 105–158. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24654-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24654-3_6)

WUMEI, C. *et al.* Biochar combined with *Bacillus subtilis* SL-44 as an eco-friendly strategy to improve soil fertility, reduce Fusarium wilt, and promote radish growth. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 251, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114509>

ZUCARELI, Claudemir et al. Associação de fosfatos e inoculação com *Bacillus subtilis* e seu efeito no crescimento e desempenho produtivo do feijoeiro. **Revista Ceres [online]**. 2018, v. 65, n. 2, pp. 189-195. ISSN 0034-737X. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201865020011>