

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA
CÂMPUS SÃO MIGUEL DO OESTE
AGRONOMIA

Andrieli Pozza
Marcelo Gean Vettorazzi

**PRODUÇÃO DE MILHO EM FUNÇÃO DO USO DE BACTÉRIAS
SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO ASSOCIADAS OU NÃO A DOSES
DE FERTILIZANTES FOSFATADOS**

São Miguel do Oeste – SC (2023)

Andrieli Pozza
Marcelo Gean Vettorazzi

**PRODUÇÃO DE MILHO EM FUNÇÃO DO USO DE BACTÉRIAS
SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO ASSOCIADAS OU NÃO A DOSES
DE FERTILIZANTES FOSFATADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Bacharelado em Agronomia do
Câmpus São Miguel do Oeste do Instituto
Federal de Santa Catarina como requisito
parcial à obtenção do título de **Engenheiro(a)**
agrônomo(a)

Orientador
Douglas Antonio Rogeri
Coorientador
Adinor José Capellesso

São Miguel do Oeste

Andrieli Pozza
Marcelo Gean Vettorazzi

**PRODUÇÃO DE MILHO EM FUNÇÃO DO USO DE BACTÉRIAS
SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO ASSOCIADAS OU NÃO A DOSES
DE FERTILIZANTES FOSFATADOS**

Este trabalho foi aprovado pela Banca examinadora composta por (Douglas Antonio Rogeri, Alcione Miotto e Aquidauana Miqueloto Zanardi) na data (03/07/2023), cujas notas e assinaturas constam em Ata de Defesa ou (Ficha de Avaliação). Por fim, as considerações propostas pela Banca foram incorporadas no trabalho, estando esse apto para arquivamento.



Douglas Antonio Rogeri

Instituto Federal Santa Catarina – Câmpus São Miguel Do Oeste

RESUMO

O fósforo (P) é um elemento muito reativo no solo e desenvolve ligações com diferentes graus de energia com a fração argila do solo. Em razão disso, boa parte do P aplicado fica indisponível às plantas em razão da forte adsorção ao solo. Nos últimos anos as bactérias solubilizadoras de fósforo (BSP) têm sido usadas como estratégia para aumentar a disponibilização de fósforo e promover desenvolvimento culturas. O objetivo do estudo foi avaliar a resposta da cultura do milho em função da aplicação ao solo de doses de fósforo associada ou não à inoculação das sementes com BSP. O experimento foi conduzido a campo, no município de Guaraciaba-SC, sob um Cambissolo Háplico, na safra 2022/2023, em delineamento de blocos ao acaso. Os tratamentos consistiram de um fatorial 4x2, com quatro doses de P (0, 35, 70 e 100% da dose para produzir 9,0 t ha⁻¹ de grãos) na presença ou ausência de inoculação com BSP (BiomaPhos®). Foram avaliados o rendimento de grãos e os componentes de rendimento, como o número de grãos por fileira, número de fileiras por espiga, diâmetro da espiga, diâmetro de sabugo e peso de mil grãos. Para o rendimento de grãos, houve interação entre doses e aplicação de inoculante às sementes, porém sem efeito significativo para doses de P. O maior rendimento de grãos foi obtido com 70% da dose de P na presença de inoculante, não havendo diferença entre os demais tratamentos, cujo rendimento médio foi de 12,6 t ha⁻¹. Em relação aos componentes do rendimento de grãos, nenhum deles foi afetado pelos tratamentos aplicados. A maior produtividade de grãos na presença de inoculante se deu, possivelmente, em razão da promoção do desenvolvimento das plantas pela ação microbiana, visto que a cultura não foi responsiva à aplicação de adubação fosfatada.

Palavras-chave: *Zea mays*, BiomaPhos, microrganismos promotores de crescimento.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2.OBJETIVO	7
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
4. MATERIAIS E MÉTODOS	10
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	14
6. CONCLUSÃO	19
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama da relação entre o fósforo na solução do solo, na fase lábil e não lábil	8
Figura 2: Diferenças visuais em plantas e espigas do milho em função do uso ou não de inoculante com microrganismos	10
Figura 3: Laudo de análise química do solo da área experimental.	11
Figura 4: Croqui área experimental	12
Figura 5: a) Aplicação do inoculante com jato dirigido sobre a linha de semeadura; b) Semeadura do milho de forma mecanizada.	13
Figura 6: Rendimento de grãos da cultura do milho	16

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1: Análise de variância da produtividade de milho (kg ha^{-1}) em função do uso de doses de fósforo e de inoculação com bactérias solubilizadoras BiomaPhos®) 15
- Tabela 2 - Componentes do rendimento da cultura do milho (diâmetro da espiga, diâmetro do sabugo, tamanho de grãos, número de grãos por fileira e número de fileiras por espiga) em razão da aplicação de doses de fósforo na presença ou ausência de inoculação com bactérias solubilizadoras de fósforo. 16

1.INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) é um dos cereais mais cultivados no mundo, sendo os três maiores produtores os Estados Unidos, China e o Brasil (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020). A área cultivada com esse cereal, contabilizando primeiro e segundo cultivo, na safra 2022/23, foi estimada em torno de 22,9 milhões de hectares (CONAB, 2023). A área plantada cresceu 1,8% em relação à safra anterior. Com isso, estima-se que a produção atual seja de 124 milhões de toneladas, considerando uma produtividade média de 5,6 Mg ha⁻¹. Esse cereal tem grande importância econômica e social para as atividades de produção animal do país, visto que a maior parte da produção, cerca de 70 a 85%, é destinada à fabricação de ração animal. Outros 15% são matéria prima para alimentação humana, além de também ser utilizado na indústria de alta tecnologia (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020).

O aumento da produção de milho ao longo dos anos ocorre em função da contribuição da utilização de novas áreas agricultáveis em novas fronteiras agrícolas, mas principalmente pela implementação de novas tecnologias voltadas a promover maior produtividade nas áreas de cultivo (SOUZA et al., 2018). Entre as melhorias necessárias, a disponibilidade de nutrientes para as plantas é um fator determinante para o seu crescimento e desenvolvimento. O fósforo (P) é um macronutriente exigido em grandes quantidades pelas culturas, sendo um dos que mais limita a produtividade das culturas em solos tropicais (CABRAL, 2016). Por ser um elemento muito reativo no solo, o P desenvolve ligações muito fortes com a fração coloidal do solo, principalmente com os óxidos de ferro e alumínio (NOVAIS & SMITH, 2007). Por essa razão, há evidências de que aproximadamente 70% do P aplicado via fertilizantes minerais ou orgânicos pode se acumular no solo em formas pouco disponíveis para absorção pelas plantas (PAVINATO et al., 2020). O fósforo desempenha várias funções no desenvolvimento das plantas a exemplo da respiração, energia (ATP) e fotossíntese (CARDOSO & ANDREOTE, 2016).

Um mecanismo alternativo para o aumento da produtividade de culturas diante da deficiência de fósforo no solo é o uso da biotecnologia, principalmente, os processos biológicos que acontecem no sistema solo/planta desenvolvido por microrganismos. A associação de plantas com microrganismos pode exercer funções importantes na nutrição e sobrevivência da cultura pelo aumento da absorção de nutrientes contidos no solo (CABRAL, 2016). Os microrganismos desempenham papel primordial na ciclagem de fósforo no solo, sendo capazes de transformar o fósforo insolúvel em formas acessíveis às plantas (OLIVEIRA-PAIVA et al. 2020).

Entre os microrganismos promotores de crescimento de plantas, o gênero *Bacillus* tem se destacado, compreendendo um grupo de bactérias Gram-positivas amplamente distribuídas no ambiente. As cerca de 360 espécies desse gênero apresentam características fisiológicas, metabólicas e fenotípicas distintas, sendo que algumas têm sido relatadas como potenciais promotoras de crescimento de plantas em razão das características multifuncionais, como a solubilização de fosfato (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020). O *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis*, além de atuar na solubilização do fósforo, apresenta outros mecanismos que auxiliam o crescimento das plantas, a exemplo da solubilização de potássio (K), produção de fitormônios, enzimas, bioproteção contra patógenos. Em síntese, esses mecanismos secundários aumentam a absorção de outros nutrientes e água pelo estímulo ao sistema de raízes (MARTINS, 2020).

Os avanços nas pesquisas científicas relacionadas à inoculantes biológicos despertam interesse crescente no setor agrícola devido às seus potenciais contribuições para o aumento da produtividade, a redução dos custos e o menor impacto ambiental. Nesse contexto, surgem novas perspectivas por meio da inoculação de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), como as presentes no produto BiomaPhos®, recentemente comercializado aos produtores. Essas tecnologias oferecem oportunidades promissoras para aprimorar o desempenho agrônomo das culturas, ao favorecer a interação entre as plantas e as bactérias, que podem promover o crescimento, a absorção de nutrientes e a resistência a estresses bióticos e abióticos (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2021). Além disso, a utilização desses inoculantes biológicos pode contribuir para a redução da aplicação de fertilizantes minerais, diminuindo custos de produção e potenciais impactos negativos no meio ambiente, como a contaminação dos recursos hídricos. O BiomaPhos® é um bioinsumo desenvolvido em parceria entre a Embrapa Milho e Sorgo e a empresa Bioma, o qual foi lançado em 2019 e tornou-se uma tecnologia pioneira no Brasil. O produto apresenta potencial para maximizar o aproveitamento do fósforo pelas plantas (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2021), podendo apresentar ainda os demais benefícios anteriormente descritos. O produto possui duas cepas de *Bacillus*, sendo eles o *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) (OLIVEIRA et al., 2020).

A baixa disponibilidade de P é uma das principais limitações para obtenção de altas produtividades dos solos brasileiros. Embora os solos possam apresentar teores totais elevados desse nutriente, a maior parte está em formas inorgânicas indisponíveis às plantas. Todavia, alguns microrganismos podem reverter essa ligação, aumentando a disponibilidade às culturas. Com a atuação dos microrganismos é possível aumentar o aproveitamento do P do solo pelas

culturas, bem como usar menores doses de fertilizantes fosfatados para suprir a demanda da cultura e assim diminuir parcialmente o custo de produção. Em razão da recente disponibilização aos agricultores do BiomaPhos®, é pertinente avaliar a resposta agrônômica do inoculante em condições de campo, bem como a viabilidade econômica, para justificar ou não a recomendação aos produtores rurais do Oeste Catarinense.

2. OBJETIVO

O objetivo do estudo foi avaliar a resposta da cultura do milho em função da aplicação ao solo de doses de fósforo associada ou não à inoculação das sementes com bactérias solubilizadoras de fósforo.

2.1. Objetivos específicos

- 1- Determinar a produtividade da cultura do milho em função da aplicação de fósforo e da inoculação das sementes com microrganismos;
- 2- Avaliar os componentes de rendimento da cultura do milho, como número de fileiras de grãos, número de grãos por fileiras, comprimento dos grãos e o peso de mil grãos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O milho é uma planta herbácea constituída de um caule ereto do tipo colmo, geralmente não ramificado, com nós espaçados que dá suporte às folhas e as partes florais. As raízes são fasciculadas, do tipo primária e adventícia, estando presentes em sua maioria nos primeiros 30 cm de profundidade do solo. As folhas são longas e estreitas, constituídas de limbo verde escuro, lanceolado, com bordas serrilhadas, nervura central vigorosa, bainha invaginante, pilosa e verde clara (MORENO, 2019).

A cultura foi selecionada pelos povos originários das américas, apresentando grande potencial produtivo para a época, o que lhe permitiu se difundir para todo o mundo. Ao longo do Século XX, o melhoramento genético da cultura via técnicas de hibridação permitiu expandir seu potencial produtivo. Contudo, para que esse se efetive, há a necessidade de contornar os fatores limitantes, com destaque para a disponibilidade hídrica e nutricional, além do controle fitossanitário. A implementação de novas tecnologias tem contribuído para aumentar a produtividade de grãos no Brasil, que comprovam que o setor vem se profissionalizando. Na cultura do milho, essas estão associadas a cultivares de alto potencial genético (híbridos simples e triplos) e transgênicas, espaçamento reduzido associado à maior densidade de plantio,

melhoria na qualidade de sementes, controle químico de doenças, correção de solos e uso de bioinsumos (SOUZA et. al., 2018).

O P é um dos 17 elementos químicos essenciais para o crescimento vegetal. Como as jazidas de rocha fosfatada para a produção de fertilizantes são finitas, e com a expansão e aumento da área de plantio e da produtividade, o uso e manejo mais eficiente dos fertilizantes fosfatados vem sendo uma busca constante pela pesquisa (CRUZ, 2015). Seu papel na planta está associado a processos do metabolismo da energia (ATP) na fotossíntese e respiração, além de participar na síntese e composição de ácidos nucleicos, membrana celular, reações de oxido-redução, ativação/inativação de enzimas, entre outros. O P tende a ser estabilizado no solo, não apresentando mudança de estado de oxidação. Contudo, quando incorporado ao solo, pode ocorrer a estabilização do P junto aos minerais de argila (fixado), tornando-se indisponível às plantas. Outra possibilidade é a precipitação em presença de óxidos de ferro e alumínio, principalmente em solos tropicais (CARDOSO & ANDREOTE, 2016).

A dinâmica do fósforo no solo está associada a fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos e as propriedades físicas, químicas e mineralógicas em diferentes tipos de solos e condições de manejo. Nessa multiplicidade de situações, o P pode ser disponibilizado para as plantas a partir de sua liberação pelo solo (fonte) ou ser drenado, quando parte dos fertilizantes aplicados são imobilizados (CARDOSO & ANDREOTE, 2016). Para compreender essa relação, há que elucidar que o fósforo pode estar disponível no solo basicamente de três formas distintas: fósforo na solução do solo, fósforo lábil e fósforo não lábil (VAN RAIJ, 2011), em que as frações lábeis podem ser convertidas em não lábeis, sendo o inverso pouco provável como apresentado na figura 1.

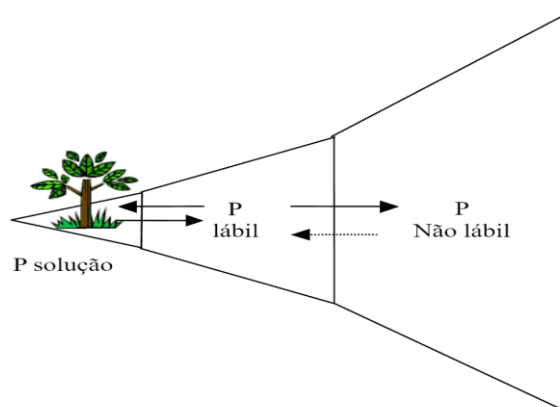


Figura 1: Diagrama da relação entre o fósforo na solução do solo, na fase lábil e não lábil (Adaptado de Van Raij, 2011).

Os solos tropicais apresentam deficiência de P e grande adsorção deste nutriente quando adicionado via fertilizantes. O fósforo é um elemento que tem grande afinidade com óxidos de ferro e alumínio, os quais estão presentes na maioria dos solos brasileiros em grandes quantidades (CRUZ, 2015). Estudos apontam que, se a quantidade de P acumulado/adsorvido nos solos agrícolas através da fertilização fosfatada pudesse ser disponibilizada para as plantas, este seria suficiente para sustentar a demanda dos plantios por vários anos consecutivos (CARDOSO e ANDREOTE, 2016).

As bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCPs) constituem um grupo de microrganismos com reconhecido potencial de produzir respostas benéficas para as plantas. Essas geralmente atuam por meio da associação, mediante colonização do sistema radicular de diferentes espécies vegetais (MORENO, 2019). Dentre esses microrganismos, o gênero *Bacillus* tem se destacado, pois apresentam características fisiológicas, metabólicas e fenotípicas distintas, além das características multifuncionais como a solubilização de fosfato. O *Bacillus subtilis* tem alta capacidade de sobrevivência e de se estabelecer na rizosfera, pois se sobressai na formação de endósporo e possui muitos mecanismos antagônicos a outros organismos. Além deste, o *Bacillus megaterium* não se restringe apenas a solubilizar fósforo, mas também auxiliar no crescimento das plantas e do sistema radicular por meio da produção de ácido indol-acético (AIA) (que atua na diferenciação e divisão celular) e de outros fitormônios, enzimas fosfatases, a produção de sideróforos-quelantes que auxiliam na solubilização do fosforo específicos de íons de ferro e bioproteção contra patógenos. Em complemento, por meio de mecanismos secundários, aumentam também a absorção de outros nutrientes e água pelo estímulo ao sistema de raízes (MARTINS, 2020).

O uso do BiomaPhos® apresenta ganhos produtivos devido ao aumento do sistema radicular, explorando uma maior quantidade de solo e conseqüentemente absorvendo mais água e nutrientes. Essa se expressa no aumento do tamanho de espigas e no número de grãos por fileira, as quais vêm associadas a maior exportação de fósforo para os grãos (Figura 2) (OLIVEIRA-PAIVA et al.,2020). Nesse caso, o efeito ocorre tanto pela ação da bactéria sobre o solo, aumentando a disponibilidade de P, mas também pelo aumento do volume de raízes. O incremento na área de contato entre as raízes e o solo promove uma absorção significativamente maior de nutrientes pouco móveis, como o fósforo.

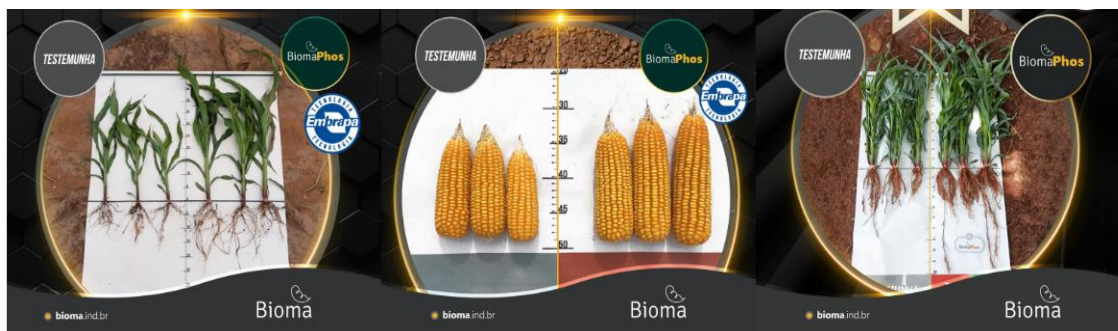


Figura 2: Diferenças visuais em plantas e espigas do milho em função do uso ou não de inoculante com microrganismos. (Fonte: Cristiane Abreu de Oliveira).

A resposta das culturas à inoculação com bactérias solubilizadoras de fósforo apresenta resultados contrastantes. GUIMARAES et al. (2022) conduziram um estudo para avaliar a eficácia da inoculação de *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* em combinação com diferentes doses de adubo fosfatado em quatro locais diferentes. Os autores observaram que as plantas inoculadas com esses *Bacillus*, juntamente com 50% da dose recomendada de P, apresentaram produtividade similar às plantas que receberam 100% da dose recomendada de P. Em contrapartida, em um estudo conduzido por BRITO et al. (2022), em casa de vegetação, com avaliação de milho nos estádios iniciais, foi constatado que a inoculação, quando associada a uma fonte de fósforo solúvel (superfosfato triplo), as plantas de milho não apresentaram respostas significativas, sendo até prejudicadas em algumas situações. Além disso, GIOVELLI et al., (2022) observaram que os parâmetros fisiológicos, morfológicos e de produtividade das plantas de soja foram beneficiados pelo aumento dos níveis de fósforo no solo, porém a inoculação com *B. megaterium* e *B. subtilis* não impactou no crescimento e desenvolvimento das plantas. Já SAMPAIO et al. (2022) observaram resposta diferenciada no desenvolvimento inicial de genótipos de sorgo quando testados microrganismos solubilizadores de fosfato, cuja resposta à inoculação foi positiva ou negativa a depender do genótipo avaliado.

A resposta das culturas ao inoculante pode variar conforme as condições do solo, com destaque para: pH do solo, tipo de microrganismos que colonizam a rizosfera, temperatura, umidade, deficiência de nutriente e a presença de materiais pesados no solo (CARDOSO & ANDREOTE, 2016). Além disso, fatores associados ao processo de inoculação também podem afetar a eficiência do produto, como a qualidade da mistura com as sementes, tempo decorrido entre a inoculação e a semeadura e doses abaixo da recomendação (OLIVEIRA-PAIVA et al. 2021).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma propriedade rural situada na Linha Liso Baixo, município de Guaraciaba - SC, sob um Cambissolo Háptico, durante a safra 2022/2023, abrangendo o período de setembro a fevereiro. O estudo foi conduzido com a cultura do milho (híbrido 230 Dekalb), com densidade de semeadura de 100.000 plantas ha⁻¹. A recomendação de adubação para a cultura foi baseada em um laudo de análise de solo obtido no local de cultivo (Figura 3). As doses foram calculadas considerando uma expectativa de rendimento de 9.000 kg ha⁻¹ de grãos.

Os tratamentos consistiram de um fatorial 4x2, com quatro doses de P (0, 35, 75 e 100% da dose para produzir 9,0 t ha⁻¹ de grãos) na presença ou ausência de inoculação com BSP (BiomaPhos®). Os tratamentos foram definidos em função da dose de fósforo necessária para produzir o rendimento desejado de grãos (CQFS, 2016), cuja dose foi de 185 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Tomando essa dose como referência, foram aplicadas ao solo doses correspondentes a 0, 35, 70 e 100% dessa dose, com ou sem a inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato (BiomaPhos®), conforme descrito abaixo:

T1: Controle (Sem P e Sem inoculante)

T2: Sem P e Com inoculante

T3: 35% da dose P

T4: 35% da dose de P + Inoculante

T5: 70% da dose de P

T6: 70% da dose de P + Inoculante

T7: 100% da dose de P

T8: 100% da dose de P + Inoculante;



Governo do Estado de Santa Catarina
Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca
Epagri Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

Laboratório de Análise de Solos

Integrante da Rede Oficial de Laboratórios de Análises de Solos
e de Tecido Vegetal dos Estados do RS e SC - Rolas

Relatório de Análise Química de Solo

Produtor...: MARCELO GEAN VETTORAZZI - CPF 080.185.269-23
Localidade...: LINHA LISO BAIXO
Município...: GUARACIABA - SC
Remetente...: EPAGRI - GUARACIABA
Município...: GUARACIABA - SC
Matrícula...: 3.419
Data Entrada: 23/05/2022
Data Análise: 07/06/2022
Data 2ª via.: 08/06/2022
Análise.....: Particular

Nº Lab.	Ref.	Área (ha)	% Argila m/v	pH-Água 1:1	Índice SMP	P mg/dm ³	K mg/dm ³	% M.O. m/v	Al cmolc/dm ³	Ca cmolc/dm ³	Mg cmolc/dm ³
3569	01	3,00	47	4,7	5,9	4,7	76,0	4,0	1,2	7,4	2,2

Nº Lab.	Ref.	H + Al cmolc/dm ³	CTC pH7.0 cmolc/dm ³	Al (valor m)	% Saturação na CTC a pH7.0				Relações		
					Bases	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
3569	01	4,73	14,54	10,90	67,48	1,34	50,89	15,25	3,34	38,07	11,41

Interpretação dos Resultados das Análises para Culturas do Grupo 2

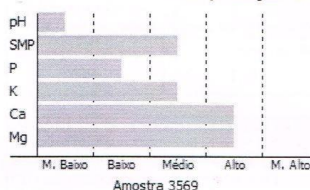


Figura 3: Laudo de análise química do solo da área experimental.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, contendo 32 unidades experimentais, as quais consistiram em parcelas, com dimensão de 4,0 x 5,0 m, perfazendo área útil de 20,0 m² (Figura 4). A largura de cada parcela foi equivalente à dimensão da semeadora (10 linhas espaçadas 0,45 m) em que foram utilizadas apenas as seis linhas centrais para se efetuar as avaliações, descartando-se as quatro linhas das bordas (duas linhas cada lateral da parcela).

Antes da implantação do experimento, a área foi cultivada com culturas de inverno para a cobertura de solo, composta por nabo forrageiro e aveia preta em consórcio. Antes de efetuar a semeadura do milho as plantas foram dessecadas usando-se uma mistura de 2,4 - D (ácido diclorofenoxiacético) e select (Cletodim e Alquilbenzeno).

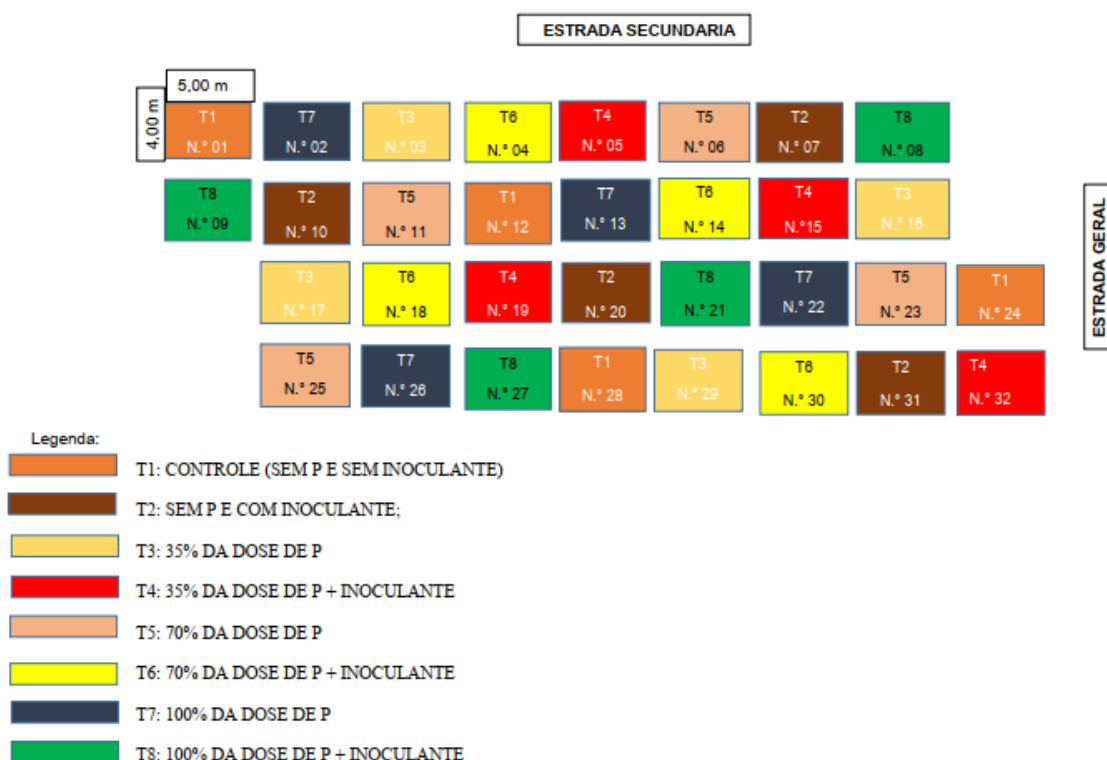


Figura 4: Croqui área experimental.

A semeadura do milho foi feita com apenas 35% da dose total de P na linha, para todas as parcelas, exceto para os tratamentos 1 e 2 (sem P). Por outro lado, todos os tratamentos receberam integralmente as doses de N (30 kg ha^{-1}) e K (110 kg ha^{-1} de K_2O) na linha de semeadura, conforme a recomendação do manual de adubação para a produtividade desejada. A quantidade restante de N (125 kg ha^{-1}) foi feita em cobertura, em duas vezes, conforme recomendação do manual de adubação (CQFS, 2016). Em contrapartida, o restante das doses de P (para completar os 70 e 100%) foram supridas em cobertura imediatamente após a semeadura do milho. Essa prática foi adotada para facilitar a aplicação dos tratamentos, levando em consideração as limitações operacionais associadas à distribuição de diferentes doses por meio de semeadoras em áreas de pequena dimensão, como a do presente estudo. Ureia, cloreto de potássio e superfosfato triplo foram utilizados como fontes de N, K e P, respectivamente.

O inoculante empregado no estudo, contendo bactérias solubilizadoras de fosfato, foi o BiomaPhos®. A inoculação foi feita imediatamente após a semeadura, com aplicação direcionada na linha de semeadura, na superfície do solo, cuja dose recomendada pelo fabricante para uso junto às sementes (100 mL para cada 60.000 sementes) foi ajustada, sendo aplicado 6 vezes essa dose por se tratar de uma aplicação superficial. Para a semeadura, utilizou-

se um trator CASE de 95 cv, juntamente com uma semeadora do modelo Semeato, composta por cinco linhas com espaçamento de 0,45m entre elas, resultando em uma largura total de 2,25 metros, enquanto a largura de semeadura foi de 1,80 metros (Figura 5). A semeadura do milho ocorreu na segunda quinzena de setembro, utilizando-se o híbrido hiperprecoce 230 DKB.



Figura 5- a) Aplicação do inoculante com jato dirigido sobre a linha de semeadura; b) Semeadura do milho de forma mecanizada.

A avaliação do rendimento foi realizada por meio da colheita das seis linhas centrais de cada parcela, excluindo-se duas linhas de cada lado das bordas. O milho foi colhido em espigas e na sequência transportado até o câmpus da instituição para a análise dos componentes de rendimento e para efetuar a trilha. Os componentes do rendimento avaliados foram: número de fileiras de grãos, o número de grãos por fileira, o diâmetro da espiga, o diâmetro do sabugo e o peso de mil grãos. A contagem do número de grãos por fileira e o número de fileiras foram realizados manualmente e a medição do diâmetro da espiga foi feita com a utilização de um paquímetro digital em 20 espigas selecionadas aleatoriamente por parcela. A trilha foi feita com uso de um batedor com sistema axial, movimentado por trator. Para estimar o peso de mil grãos foram amostradas uma pequena quantidade de grãos obtidas na trilha, em que foram separados 250 grãos de cada parcela e pesados em balança analítica. Na sequência, foi feita a extrapolação para mil grãos multiplicando-se por quatro.

Os dados obtidos foram submetidos análise de variância, considerando um nível de significância de 5%. Em caso de interação significativa entre os fatores, utilizou-se o teste de

Tukey ($p < 0,05$) para a comparação dos fatores qualitativos. Como não houve resultados significativos para as doses de fósforo, não foi necessário efetuar análises de regressão para os fatores quantitativos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O rendimento de grão da cultura de milho resultou em uma interação entre as doses de fósforo aplicadas ao solo e a inoculação das sementes com bactérias solubilizadoras de fósforo, de acordo com a análise de variância (Tabela 1). No entanto, não foram observadas diferenças significativas entre as doses de fósforo aplicadas, indicando que as diferentes quantidades de superfosfato triplo usadas não afetaram o rendimento do milho. Esses dados sugerem que o fósforo não constituiu um fator limitante durante o experimento. Por outro lado, a inoculação das sementes com as bactérias solubilizadoras de fósforo apresentou uma significância, exigindo desdobramento da interação.

Tabela 1 - Análise de variância (ANOVA) da produtividade de milho (kg ha^{-1}) em função do uso de doses de fósforo e de inoculação com bactérias solubilizadoras (BiomaPhos).

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Dose de P	3	1334683.8	444894.6195	0.942	0.4359
Inoculante	1	2401141.1	2401141.01	0.084	0.0335
Dose * Inoculante	3	4815247.7	1605082.35	3.398	0.0341
Erro	24	11335226.1	472301.08		
Total corrigido	31	19886298.09			
CV (%) =		5.87			

Ao desdobrar os dados, a inoculação das sementes com bactérias apresentou diferença apenas no tratamento que aplicou 70% da dose de fósforo recomendada para obter uma produção de 9 t ha^{-1} de grãos, em que o tratamento com inoculante foi superior ao sem inoculação. Para todas as outras doses de P, não houve diferença significativa na produtividade de grãos entre a inoculação ou não das sementes. O rendimento obtido no tratamento com 70% da dose, na presença de inoculante, foi de $12,6 \text{ t ha}^{-1}$, enquanto no tratamento sem inoculação foi de 11 t ha^{-1} , resultando em acréscimo da produtividade em torno de 15% (Figura 6). Para as demais doses de fósforo a produtividade média foi de 11,5, 11,9 e $11,5 \text{ t ha}^{-1}$ de grãos para os tratamentos 0% (controle), 35% e 100%, respectivamente. Independentemente da dose de

fósforo aplicada, a produtividade de milho excedeu a expectativa de rendimento planejada no experimento (10 t ha^{-1}), com médias superiores em todos os tratamentos, inclusive no grupo de controle, que não recebeu adubação fosfatada.

Nenhum componente do rendimento da cultura foi afetado pelos tratamentos aplicados (Tabela 2). O número médio de fileiras de grãos por espiga e o número de grãos por fileira foram de 14,6 e 30,6, respectivamente (Tabela 2). Já o diâmetro da espiga, do sabugo e dos grãos apresentaram respectivamente valores médios de 45,4, 23,6 e 10,9 mm. Para a única dose de fósforo que houve diferença entre inocular ou não as sementes de milho (70%), a aplicação de inoculante apresentou, na média, 2,25 fileiras a mais de milho por espiga em comparação ao tratamento sem as bactérias. Embora estatisticamente essa diferença não seja significativa, ela sugere que esse componente tenha sido o responsável pelo maior rendimento de grãos do tratamento com inoculante. Isso porque, para os demais componentes do rendimento, os valores foram numericamente muito semelhantes.

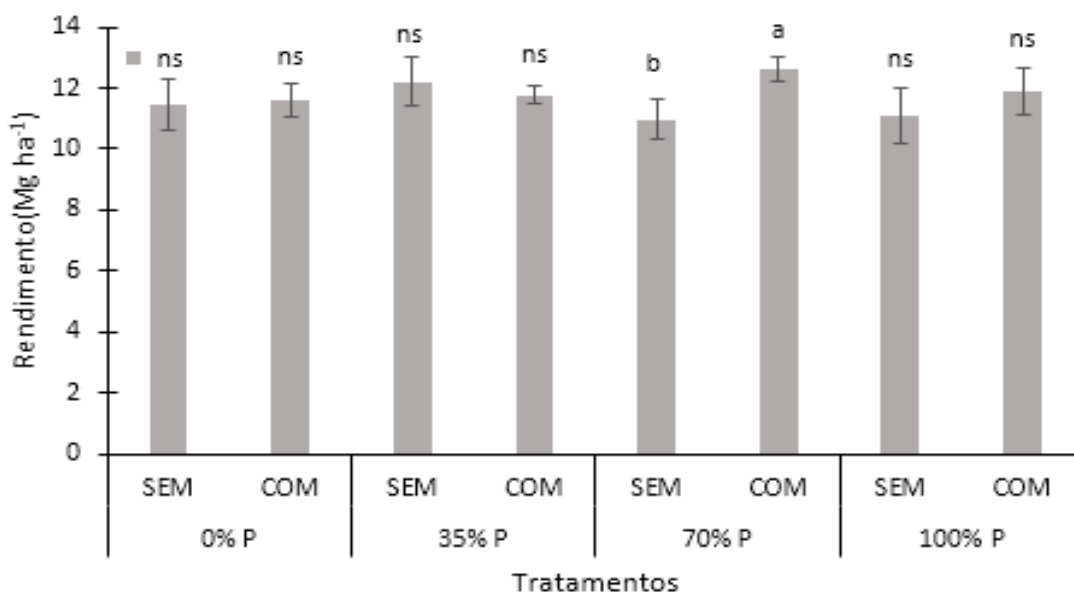


Figura 6: Rendimento de grãos da cultura do milho em função do uso de doses de fósforo associada(com) ou não (sem) a inoculação das sementes com bactérias solubilizadoras de fósforo (BiomaPhos).

Tabela 2 - Componentes do rendimento da cultura do milho (diâmetro da espiga, diâmetro do sabugo, tamanho de grãos, número de grãos por fileira e número de fileiras por espiga) em razão da aplicação de doses de fósforo na presença ou ausência de inoculação com bactérias solubilizadoras de fósforo.

Dose	Inoculante	D. médio espiga (mm)	D. médio sabugo (mm)	Tamanho médio grão (mm)	N.º de grãos por fileira	N.º médio de fileiras	Peso de 1000 grão (g)
0% P	Sem	43,50 ^{ns}	23,00 ^{ns}	10,25 ^{ns}	27,75 ^{ns}	14,00 ^{ns}	335,87 ^{ns}
	Com	45,25	23,75	10,75	28,50	15,00	334,76
35% P	Sem	46,00	23,50	10,75	30,25	14,50	338,19
	Com	46,00	23,50	11,33	30,75	14,50	337,20
70% P	Sem	45,25	23,75	11,00	30,50	14,50	332,63
	Com	45,75	23,75	11,00	32,25	14,50	348,26
100% P	Sem	46,00	23,75	11,25	32,50	14,75	333,81
	Com	45,75	24,00	11,00	32,25	14,75	338,34

ns - Não houve efeito significativo para variável avaliada.

O uso de bactérias solubilizadoras de fósforo tem mostrado resultados muito promissores nas principais regiões produtoras de grãos do Brasil. Em estudos desenvolvidos com BiomaPhos® na cultura do milho, nos Estados do Paraná, Bahia, Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e em Goiás as produtividades foram superiores em relação ao controle sem o inoculante. Os ganhos médios com inoculação variaram entre 1,3% e 25,8%, cuja média considerando todos os locais foi de 7,8% (OLIVEIRA-PAIVA et al., 2021). Desse modo, o ganho médio obtido (15%) com inoculação na única dose de fósforo que foi responsiva neste estudo ficou dentro da faixa de ganhos que a inoculação proporciona à cultura do milho. Por outro lado, sob uma perspectiva biológica, a explicação para a resposta à inoculação ser observada apenas no tratamento que recebeu 70% da dose máxima de fósforo é desafiadora. Embora o solo apresentasse naturalmente baixos teores de fósforo, as produtividades alcançadas foram surpreendentemente elevadas, superando em muito as expectativas iniciais, especialmente nos tratamentos sem adição de fósforo. A resposta isolada observada em apenas uma dose de fósforo sugere que fatores não controláveis, como variação espacial quanto aos atributos químicos e físicos do solo, presença de plantas invasoras, pragas e doenças, entre outros, podem ter influenciado o rendimento da cultura. Nesse sentido, é sugerido que novos estudos sejam conduzidos para avaliar a reprodutibilidade dos resultados obtidos, com o objetivo de fornecer uma compreensão mais abrangente desses efeitos.

O aumento da produtividade de milho observada neste estudo, limitado ao tratamento que aplicou 70% da dose de P, parece improvável de ter ocorrido devido ao aumento da

disponibilidade de fósforo às plantas. Isso porque as diferentes doses de fósforo testadas não influenciaram a produtividade da cultura, uma vez que o rendimento do tratamento controle, sem adição de fósforo, foi semelhante aos demais. Portanto, a justificativa mais provável para o maior rendimento na dose específica de P no tratamento inoculado pode ser atribuída aos benefícios secundários proporcionados pelos microrganismos, os quais também são classificados como promotores de crescimento (DAME et al., 2021). Esses microrganismos, além da disponibilização de P, também produzem substâncias estimulantes do crescimento vegetal, como moléculas bioprotetoras contra patógenos (LANA FILHO et al., 2010), fitormônios, enzimas, sideróforos, que podem, por meio de mecanismos específicos, aumentar a absorção de outros nutrientes e água, estimulando o sistema radicular (RIBEIRO et al., 2018, BINI et al., 2021; FERREIRA et al., 2022). Além disso, esses microrganismos podem modular a morfologia radicular nos estágios iniciais do desenvolvimento do milho, aumentando a presença de raízes superfinais, podendo levar a uma maior resistência a estresses abióticos e maior produtividade na fase adulta (VELOSO et al, 2019).

Embora não tenha sido um atributo avaliado com rigor científico, foi percebido que as plantas de milho, com inoculação, aparentemente apresentavam sinais de maior tolerância ao déficit hídrico. As plantas inoculadas demonstravam maior turgidez foliar em decorrência de uma pequena estiagem que ocorreu durante o desenvolvimento da cultura. Isso pode ter ocorrido em função do maior crescimento radicular das plantas na presença dos microrganismos. Essa observação sugere um importante papel dos inoculantes como mecanismo de mitigação da escassez hídrica, muito recorrente na região do estudo. No entanto, para estabelecer essa relação de causa e efeito, é necessário realizar experimentos que comprovem a ocorrência desse fenômeno.

6.CONCLUSÃO

O rendimento do milho, bem como os componentes do rendimento, não foram afetados pela aplicação de doses fósforo, mesmo em solo com baixos teores desse nutriente. A aplicação de inoculante com bactéria solubilizadoras de fosforo foi efetiva apenas para uma dose de fósforo, cuja aplicação do inoculante aumentou 15% a produtividade. Todavia, a maior produtividade de grãos na presença de inoculante se deu, possivelmente, em razão da promoção do desenvolvimento das plantas pela ação microbiana, visto que a cultura não foi responsiva à aplicação de adubação fosfatada.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BINI, D., MARRIEL, I. E., GOMES, E. A., DOS SANTOS, F. C., COTA, L. V., DE SOUSA, S. M., ... & DE SOUZA, F. F. **Inoculante à base de bactérias solubilizadoras de fosfato nas culturas do milho e da soja (BiomaPhos®): dúvidas frequentes e boas práticas de inoculação.** 2022.
- BRITO, L. E. M., DA MATA REZENDE, A. L. A., DA SILVA, C. O. C., DA SILVA, H. D., DA SILVA, C. D. R., & DA LUZ, J. H. S. (2022). **Desenvolvimento e nutrição inicial do milho com inoculação do biomaphos® associado a fontes fosfatadas.** *Agri-environmentalSciences*, 8(2), 12-12.).
- CABRAL, B. V. **Biossolubilização de fósforo proveniente de concentrado de rocha fosfática por Trichodermaharizianum em diferentes biorreatores. (Tese Doutorado).** 2016. 157 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.
- CARDOSO, E. J. B. N. **Microbiologia do Solo.** 2. ed. Piracicaba: Esalq, 2016.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC (CQFS-RS/SC) -. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** 11. ed. 2016: Gráfica e Editora Pallotti, 2016.
- CRUZ, C. V. **Efeito residual de fontes de fósforo e adubação fosfatada no crescimento do milho.** 2015. (Mestrado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp – Câmpus de Botucatu, Botucatu, 2015.
- DAME, Z. T., RAHMAN, M., & ISLAM, T. (2021). **Bacilli as sources of a grobiotechnology: recent advances and future directions.** *Green ChemistryLettersand Reviews*, 246 - 271.
- FERREIRA, T. C. et al. **Potential of Bacillus spp. for growth promotion and Fusarium verticillioides control in corn.** *Summa Phytopathologica*, v. 47, n. 4, p. 195–203, 12 março 2022.
- GIOVELLI, J., & TABALDI, L. A. (2022). **Níveis de Fósforo e Inoculação de Sementes por Bacillus megaterium (CNPMS B119) e Bacillus subtilis (CNPMS B2084) no Crescimento e Desenvolvimento de Plantas de Soja.** *Ensaio e Ciência Biológicas Agrárias e da Saúde*, 451-458.

GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; SILVA, A. S. L.; KLEIN, D. K. **Eficiência de inoculantes contendo *Bacillus megaterium* (B119) e *Bacillus subtilis* (B2084) para a cultura do milho, associados à adubação fosfatada.** Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, [S. l.], v. 10, e431101220920, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i12.20920. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20920>. Acesso em: 9 de maio. 2022.

GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; SILVA, A. S. L.; KLEIN, D. K. **Inoculant efficiency containing *Bacillus megaterium* (B119) and *Bacillus subtilis* (B2084) for maize culture, associated with phosphate fertilization.** Research, Society and Development, v. 10, n. 12, p. 1-28, 2021.

LANNA FILHO, R., FERRO, H. M., & PINHO, R. D. (2010). **Controle biológico mediado por *Bacillus subtilis*.** Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas, 12-20.

MARTINS, D. N. **Comparação entre o *Bacillus megaterium* e *Pseudomonas fluorescens* no desenvolvimento e reprodução da cultura do milho.** 2020. 21 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Centro Superior Sul de Minas, Varginha, 2020.

MORENO, A. L. **Crescimento do milho sob efeito da aplicação de rizobactérias e fertilizantes químicos.** 2019. (Doutorado) - Curso de Agronomia, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2019.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-550.

OLIVEIRA-PAIVA, 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 (CIRCULAR TÉCNICA), 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1135679/validacao-da-recomendacao-para-o-uso-do-inoculante-biomaphos-bacillus-subtilis-cnpms-b2084-e-bacillus-megaterium-cnpms-b119-na-cultura-de-soja>. Acesso em: 09 mai 2022.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A., COTA, L., MARRIEL, I., ALVES, V., GOMES, E., de SOUSA, S. M., ... & LANA, U. D. P. (2021). **Validação da recomendação para o uso do inoculante BiomaPhos®(*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) na cultura de soja.**

OLIVEIRA-PAIVA, C. A., et al. "**Validação da recomendação para o uso do inoculante BiomaPhos®(Bacillus subtilis CNPMS B2084 e Bacillus megaterium CNPMS B119) na cultura de soja.**" (2021).

PAVINATO, P. S.; CHERUBIN, M. R.; SOLTANGHEIS, A.; ROCHA, G. C.; CHADWICK, D. R.; JONES, D. L. **Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil.** Scientific Reports, v. 10, 15615, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72302-1>.

RIBEIRO, V. P. **Inoculação simples e mista com Azospirillum brasilense e Bacillus sp. em plantas de milho: desenvolvimento de tecnologias para sistemas agrícolas sustentáveis.** 2018. (Mestrado) - Curso de Bioengenharia, Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei, 2018.

RIBEIRO, V. P., MARRIEL, I. E., SOUSA, S. M. D., LANA, U. G. D. P., MATTOS, B. B., OLIVEIRA, C. A. D., & GOMES, E. A. (2018). **Endophytic Bacillus strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P.** Brazilian Journal of Microbiology, 49, 40-46.

SAMPAIO, L. A., DE OLIVEIRA, R. G., CAMPOLINO, M., GOMES, E., LANA, U. D. P., OLIVEIRA-PAIVA, C. A., ... & de SOUSA, S. M. (2022). **Responsividade de genótipos de sorgo à inoculação com microrganismos solubilizadores de fosfato em solos argiloso e arenoso.** In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 33., 2022, Sete Lagoas. Brasil: 200 anos de independência: sustentabilidade e desafios para a cadeia produtiva de grãos: resumos. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2022..

SOUZA, A. E.; REIS, J. G. M.; RAYMUNDO, J. C.; PINTO, R. S. ESTUDO DA PRODUÇÃO DO MILHO NO BRASIL. **South American Development Society Journal**, [S.L.], v. 4, 2018.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes.** Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

VELLOSO, C. C. V., CARVALHO, C., PAIVA, C., LANA, U. D. P., GOMES, E. A., PASTINA, M. M., ... & SOUSA, S. D. (2019). **Resposta diferencial de genótipos de milho à inoculação com bactérias promotoras do crescimento de plantas.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 29p. 2019.