

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

Verônica Aparecida Santos Ferreira Soares

**Uso de lodo compostado e bactérias solubilizadoras na disponibilidade de fósforo e produção
de grão-de-bico**

Montes Claros

2023

Verônica Aparecida Santos Ferreira Soares

Uso de lodo compostado e bactérias solubilizadoras na disponibilidade de fósforo e produção de grão-de-bico

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Rodinei Facco Pegoraro

Montes Claros
Novembro de 2023

Soares, Verônica Aparecida Santos Ferreira.

S676u
2024 Uso de lodo compostado e bactérias solubilizadoras na disponibilidade de fósforo e produção de grão-de-bico [manuscrito] / Verônica Aparecida Santos Ferreira Soares. Montes Claros, 2024.
94 f.

Tese (doutorado) - Área de concentração em Produção Vegetal. Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador(a): Rodinei Facco Pegoraro.

Banca examinadora: Luiz Arnaldo Fernandes, Maria Nilfa de Almeida Neta, Matheus Mendes Reis, Paula Wellen Barbosa Gonçalves, Rodinei Facco Pegoraro.

Inclui referências: f. 21-23; 41-44; 65-70; 90-93.

1. Plantas - Nutrição - Teses. 2. Lodo - Teses. 3. Solos - Teor de fósforo - Teses. I. Pegoraro, Rodinei Facco. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 631.8



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

ATA DE DEFESA DE TESE

Aos 30 dias do mês de novembro de 2023, às 9:00 horas, sob a Presidência do Professor Rodinei Facco Pegoraro, D. Sc. (Orientador - UFMG/ICA) e com a participação dos Professores Luiz Arnaldo Fernandes, D. Sc. (UFMG/ICA), Matheus Mendes Reis, D. Sc. (IFNMG), da Pós-Doutoranda Maria Nilfa de Almeida Neta, D. Sc. (UFMG/ICA), e de Paula Wellen Barbosa Gonçalves, D. Sc. (Sebrae), reuniu-se, por videoconferência, a Banca de tese de **Verônica Aparecida Santos Ferreira Soares** aluna do Curso de Doutorado em Produção Vegetal. O resultado da defesa de tese intitulada: **'Uso de lodo compostado e bactérias solubilizadoras na disponibilidade de fósforo e produção de grão-de-bico'**, sendo a aluna considerada **aprovada**. E, para constar, eu, Professor Rodinei Facco Pegoraro, Presidente da Banca, lavrei a presente ata que depois de lida e aprovada, será assinada por mim e pelos demais membros da Banca examinadora.

OBS.: A aluna somente receberá o título após cumprir as exigências do **ARTIGO 65** do regulamento do Curso de Doutorado em Produção Vegetal, conforme apresentado a seguir:

Art. 65 Para dar andamento ao processo de efetivação do grau obtido, o candidato deverá, após a aprovação de sua Dissertação ou Tese e da realização das modificações propostas pela banca examinadora, se houver, encaminhar à secretaria do Colegiado do Programa, com a anuência do orientador, 1 (um) exemplar impresso e 1 (um) exemplar eletrônico da dissertação ou tese, no prazo de 60 (sessenta) dias.

Montes Claros, 30 de novembro de 2023.

Luiz Arnaldo Fernandes

Matheus Mendes Reis

Membro

Membro

Maria Nilfa de Almeida Neta
Membro

Paula Wellen Barbosa Gonçalves
Membro

Rodinei Facco Pegoraro
Orientador



Documento assinado eletronicamente por **Rodinei Facco Pegoraro, Professor do Magistério Superior**, em 30/11/2023, às 13:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Arnaldo Fernandes, Servidor(a)**, em 30/11/2023, às 14:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Matheus Mendes Reis, Usuário Externo**, em 30/11/2023, às 18:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Paula Wellen Barbosa Gonçalves, Usuário Externo**, em 01/12/2023, às 20:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Nilfa Almeida Neta, Usuária Externa**, em 08/12/2023, às 10:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2855607** e o código CRC **72D649C8**.

Verônica Aparecida Santos Ferreira Soares

Uso de lodo compostado e bactérias solubilizadoras na disponibilidade de fósforo e produção de grão-de-bico

Aprovado pela banca examinadora constituída por:

Prof. Dr. Luiz Arnaldo Fernandes
(ICA/UFMG)

Dra. Maria Nilfa Almeida Neta
(ICA/UFMG)

Dra. Paula Wellen Barbosa Gonçalves
(SEBRAE- MG)

Dr. Matheus Mendes Reis
(IFNMG)

Prof. Dr. Rodinei Facco Pegoraro
Orientador – (ICA/UFMG)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser o meu alicerce e me conceder o dom da existência;

Aos meus pais Maria Zenilda e Edv Tadeu, pelos ensinamentos, inspirao e apoio;

Ao meu esposo - Rafael Henrique pelos incentivos, apoio e companheirismo;

A minha filha - Rafaela Maria, por ser luz e fonte de motivao;

Aos meus irmos (Ediv Junio, Maria Tereza e Viviane Rodrigues), sobrinhos e cunhados (a) pelo suporte;

Ao meu orientador Dr. Rodinei Facco Pegoraro pelas orientaoes, confiana, ensinamentos transmitidos e conversas durante essa minha caminhada;

Aos membros do grupo GENURA (Grupo de Estudos de Nutrio de Plantas e Uso de Resduos na Agricultura);

Aos amigos que me ajudaram na conduo e nas anlises dos experimentos (Lucas Martins, Janete Ramos, Maria Nilfa, Aline Rodrigues, Karla Sabrina, Athos Rodrigues, Lucas Rodrigues, Ramon, Gilson, Mrcio Neves, Caroline Batista, Ismael, Nermy, Silvana, Maria Clara e Letcia) e pela colaborao.

Aos Membros da Banca pela disponibilidade e contribuioes;

Ao Programa de Pos-Graduao em Produo Vegetal do Instituto de Cincias Agrrias da UFMG (ICA/UFMG) pela oportunidade;

Aos rgos de fomento: FAPEMIG, CNPq e CAPES, pelo apoio financeiro e bolsas que permitiram a conduo deste trabalho;

Aos Familiares e Amigos que torceram por essa conquista;

E a todos que me ajudaram de forma direta e indiretamente.

Muito obrigada!

**“Tudo posso Naquele
que me Fortalece”**

USO DE LODO COMPOSTADO E BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO E PRODUÇÃO DE GRÃO-DE-BICO

RESUMO

O fósforo é um nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas. No entanto, as fontes de fósforo são finitas e não renováveis, o que torna este insumo cada vez mais escasso. Com isso, o uso de lodo de esgoto surge como fonte alternativa de fósforo aliado com a inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato tem sido fundamental na busca por sistemas produtivos sustentáveis. Desta forma, o objetivo dos trabalhos foi avaliar o efeito da inoculação com *Bacillus spp.* e a disponibilidade de fósforo após a aplicação de fontes orgânicas e minerais no crescimento, produção, acúmulo de nutrientes e metais pesados no grão-de-bico. Foram avaliados em dois ciclos de cultivo, sendo em ambos experimentos conduzidos em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições e em esquema fatorial 2 x 4. O primeiro fator consistiu da ausência e presença do mix de *Bacillus subtilis sp* e *B. megaterim*. E o segundo fator de quatro manejos de fontes orgânicas e minerais de fósforo: ausência de adubação (Test); adubação mineral com 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples (SS); adubação orgânica com 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de lodo de esgoto (LC) e adubação mineral e orgânica na proporção de 50:50% de P₂O₅ (SSLC). No primeiro ciclo, foram avaliados: a fertilidade do solo, teores foliares, componentes de produção e produtividade. No segundo ciclo, além das características do primeiro ciclo, foram avaliados ainda o acúmulo de nutrientes e metais pesados no solo, folha e nas sementes. No primeiro estudo observou-se que os manejos fosfatados (SS, LC e SSLC) aumentaram os teores de fósforo e da soma de bases no solo favorecendo um incremento de 72% na produtividade do grão-de-bico. Já no segundo estudo, constatou-se que a inoculação com o mix de *Bacillus spp.* foi que interferiu na produtividade em cerca de 13,47% e mesmo havendo o aumento dos teores de P no solo em função dos manejos fosfatados não houve influência sobre a produtividade do grão-de-bico. Sendo a ordem de acúmulo total dos nutrientes na parte aérea: N > K > P > Ca > Mg > S com as quantidades médias totais de 206,47 kg t⁻¹; 72,65 kg t⁻¹; 42,48 kg t⁻¹; 15,48 kg t⁻¹; 10,70 kg t⁻¹; 0,44 kg t⁻¹ respectivamente. E quanto às avaliações de metais pesados, verificou-se que com a inoculação de *Bacillus spp.* houve decréscimo dos teores de cromo (Cr) no solo. A inoculação também favoreceu a redução dos teores de chumbo nas folhas do grão-de-bico para os manejos LC e SSLC. Nas sementes foi observado um aumento dos teores de Zn em função da aplicação do LC, no entanto todos os metais avaliados nas sementes encontraram-se a baixo do nível permitido pela Comissão Europeia. Conclui-se que o uso de lodo de esgoto compostado em associação com o *Bacillus spp.* aumenta a fertilidade e a disponibilidade dos teores de P no solo contribuindo para um melhor desempenho produtivo do grão-de-bico.

Palavras-chave: Biossólidos; *Bacillus spp.*; nutrição de plantas; acúmulo de nutrientes; metais pesados.

USE OF COMPOSTED SLUDGE AND PHOSPHATE-SOLUBILIZING BACTERIA IN PHOSPHORUS AVAILABILITY AND CHICKPEA PRODUCTION

ABSTRACT

The phosphorus is an essential nutrient for plant development. However, phosphorus sources are finite and non-renewable, making this input increasingly scarce. Therefore, the use of sewage sludge emerges as an alternative phosphorus source, combined with the inoculation of phosphate-solubilizing bacteria, which has been crucial in the pursuit of sustainable production systems. Thus, the objective of the studies was to evaluate the effect of inoculation with *Bacillus spp.* and the phosphorus availability after the application of organic and mineral sources on the growth, production, nutrient accumulation, and heavy metal content in chickpeas. The experiments were evaluated over two crop cycles, conducted in a randomized block design with four replications, in a 2 x 4 factorial scheme. This scheme included the absence and presence of a mix of *Bacillus subtilis* sp and *B. megaterium* sp, alongside four management practices involving organic and mineral phosphorus sources: no fertilization (Test); mineral fertilization with 150 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in the form of single superphosphate (SS); organic fertilization with 150 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in the form of sewage sludge (LC); and a mix of mineral and organic fertilization at a 50:50% ratio of P₂O₅ (SSLC). In the first cycle, soil fertility, foliar contents, production components, and yield were assessed. In the second cycle, soil fertility, foliar contents, production components, yield, nutrient accumulation, and heavy metal content in soil, plants, and chickpea seeds were evaluated. In the first study, it was observed that the phosphorus management practices (SS, LC, and SSLC) increased phosphorus levels and the sum of bases in the soil, leading to a 72% increase in chickpea productivity. However, in the second study, it was found that the inoculation with the mix of *Bacillus spp.* affected productivity by approximately 13.47%. Despite the increase in soil phosphorus levels due to phosphorus management practices, there was no influence on chickpea productivity. The total nutrient accumulation order in the aerial part was: N > K > P > Ca > Mg > S, with total average quantities of 206,47 kg t⁻¹; 72,65 kg t⁻¹; 42,48 kg t⁻¹; 15,48 kg t⁻¹; 10,70 kg t⁻¹; 0,44 kg t⁻¹, respectively. Regarding the heavy metal assessments, it was observed that the inoculation of *Bacillus spp.* led to a decrease in chromium (Cr) levels in the soil. The inoculation also favored the reduction of lead (Pb) levels in chickpea leaves for LC and SSLC management practices. An increase in barium (Ba) and zinc (Zn) levels in the seeds was observed due to the application of LC; however, all evaluated metals in the seeds were found to be below the levels permitted by legislation. It is concluded that the use of composted sewage sludge in conjunction with *Bacillus spp.* can enhance soil fertility and increase phosphorus levels' availability in the soil, contributing to improved productivity of chickpeas.

Keywords: Biosolids; *Bacillus spp.*; plant nutrition; nutrient accumulation; heavy metal.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al - alumínio
Alt - Altura da planta
As - arsênio
Ba - Bário
BSF - Bactérias solubilizadoras de fosfato
Ca - Cálcio
CB - Com *Bacillus* spp.
Cd - Cádmiio
CLT - Clorofila total
CO - Carbono orgânico
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cr - Cromo
Cu - Cobre
DAE - dias após emergência
EA - Eficiência agrônômica
EL - Entre linha de plantio
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE - Estação de tratamento de esgoto
Fe - Ferro
H+Al - Acidez potencial
ha - hectare
IC - Índice de colheita
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
K - Potássio
Kg - kilograma
L – Linha de plantio
LC- lodo compostado
LE - lodo de esgoto
m - Saturação por alumínio
Mg - Magnésio
MG - Minas Gerais
Mn - Manganês
Mo - Molibdênio
MSC - Massa seca de caule
MSF - Massa seca de folhas
MSG - Massa seca de grãos
MSPAL - Massa seca de palhada

MSR - Massa seca de raízes
MSRA - Massa seca de ramos
MST - Massa seca total
MSV - Massa seca de vagens
N - Nitrogênio
Ni - Níquel
NS- Número de sementes por planta
NV1 - Número de vagens com 1 grão
NV2 - Número de vagens com 2 grãos
NVT - Número de vagens total
P - Fósforo
P100 - Peso de 100 grãos
Pb - Chumbo
Prem - Fósforo remanescente
Prod - Produtividade
PTS - Peso total de sementes
S - Enxofre
SB - Sem *Bacillus* spp.
SB - Soma de bases
Se - Selênio
SS - Superfosfato simples
SSLC - Superfosfato simples +lodo compostado
T - Capacidade de troca cátions a pH7
t - Capacidade efetiva de troca de cátions (CTC efetiva)
t ha⁻¹ - Tonelada por hectare
test - Testemunha
V - Saturação por base
Zn - Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 Objetivo Geral.....	14
2.2 Objetivos Específicos.....	14
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1 Cultura do grão-de-bico.....	14
3.2 Fósforo.....	16
3.3 Bactérias solubilizadoras de fosfato.....	17
3.4 Lodo de esgoto.....	18
3.5 Metais pesados	19
4 REFERÊNCIAS.....	21
5 ARTIGOS.....	24
5.1 Artigo 1 – Lodo compostado e bactérias solubilizadoras na disponibilidade de fósforo e na produção de grão-de-bico.....	24
5.2 Artigo 2 – Inoculação com <i>Bacillus</i> e adubação com biossólido na produção e acúmulo de nutrientes em grão-de-bico.....	45
5.3 Artigo 3 – Metais pesados em cultivo de grão-de-bico adubado com lodo de esgoto como fonte de fósforo.....	71
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	94

1 INTRODUÇÃO

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) é uma leguminosa de origem asiática e amplamente consumida em diversas regiões do mundo (NASCIMENTO *et al.*, 2016). Os seus grãos são excelentes fontes de carboidratos e proteínas que variam de 17 a 31,5% (JUKANTI *et al.*, 2012). Além disso, essa leguminosa possui aminoácidos incluindo isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e valina na sua composição (NASCIMENTO *et al.*, 2016). Os seus grãos contêm ainda, minerais como fósforo, cálcio, magnésio, ferro e principalmente potássio; sendo ricos também em vitaminas essenciais, como riboflavina, niacina, tiamina, ácido fólico, além de serem precursores das vitaminas A e do complexo B (JUKANTI *et al.*, 2012).

Apesar de ser conhecida mundialmente, no Brasil, o consumo e cultivo ainda são incipientes, tornado necessária a importação desses grãos para suprir a demanda. Entretanto, o Brasil apresenta condições climáticas favoráveis para a produção dessa leguminosa. Visando o seu grande potencial nutritivo, a Embrapa Hortaliças vem desenvolvendo variedades de grão-de-bico adaptadas às condições brasileiras como BRS Cícero, BRS Aleppo, BRS Cristalino, BRS Toro (NASCIMENTO *et al.*, 2016).

Com isso, tem-se alcançado produtividades superiores à da média mundial de 965 kg ha⁻¹ na região do semiárido brasileiro, obtendo rendimentos superiores a 1.000 kg ha⁻¹ (ALMEIDA NETA *et al.*, 2021; AVELAR *et al.*, 2018; PEGORARO *et al.*, 2018). O grão-de-bico demonstrou boa resposta a adubação fosfatada obtendo a produtividade de 2,83 t ha⁻¹ na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (PEGORARO *et al.*, 2018).

A baixa disponibilidade de fósforo (P) nos solos, juntamente com escassez futura desse elemento, considerando que suas fontes são finitas e não renováveis, torna-se necessário buscar alternativas viáveis e sustentáveis a fim de tentar suprir as demandas desse nutriente (FONSECA *et al.*, 2020; LUSIBA *et al.*, 2017). Uma vez que, o P é um macronutriente que exerce um papel crucial em vários processos metabólicos nas plantas como fotossíntese, respiração, formação de ácidos nucléicos, processos energéticos, divisão celular, entre outros (BHADOURIA *et al.*, 2022).

Uma opção alternativa de fonte fosfatada é a utilização do lodo de esgoto. Este material é oriundo de águas residuárias domésticas, industriais e agroindustriais. Esse composto é rico em P, N, K, Zn, Mn e em matéria orgânica (ZUO *et al.*, 2019). No entanto, esse material pode conter também em sua composição metais pesados e agentes patogênicos que possam inviabilizá-lo na utilização como adubo.

Considerando estudos realizados, o lodo de esgoto pode ser utilizado como fertilizante e condicionador do solo, favorece a aeração, densidade, infiltração de água e atividade microbiana do solo. Estando presentes neste constituinte as formas de P inorgânico e orgânico, sendo estas formas indisponíveis para as plantas, sendo necessária a transformação dessas formas para que as plantas consigam absorver esse elemento.

Nesse contexto, as bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) desempenham papel importante no processo de mineralização do P orgânico do solo, deixando-o disponível na solução do solo, por meio de liberação de exsudados, ácidos orgânicos, enzimas fosfatases e fitases. Esses

microrganismos também podem complexar metais pesados deixando-os indisponíveis para as plantas (PRABHU *et al.*, 2019; RICHARDSON, 1994).

Portanto, há uma necessidade de estudos sobre o uso lodo de esgoto compostado e o uso de bactérias solubilizadoras de fosfato visando avaliar disponibilização de fósforo e na complexação de metais pesados provenientes da adubação com lodo de esgoto como fonte fosfatada para a cultura do grão-de-bico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a disponibilidade de fósforo, metais pesados e a produção do grão-de-bico após a aplicação de lodo de esgoto compostado com mix de *Bacillus spp.*

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a capacidade do lodo de esgoto compostado na disponibilização de fósforo no solo;
- Avaliar o crescimento e a produtividade do grão-de-bico adubado com lodo de esgoto compostado e inoculação com *Bacillus spp.*;
- Avaliar o acúmulo de nutrientes no grão-de-bico sob inoculação com *Bacillus spp.* e fontes fosfatadas;
- Avaliar a disponibilidade de metais pesados no solo, planta e nas sementes do grão-de-bico em função da adubação com lodo compostado e a inoculação com o mix de *Bacillus spp.*

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 – Cultura do Grão-de-bico

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) é uma espécie de leguminosa de origem asiática de grande importância para a alimentação humana em todo o mundo (NASCIMENTO *et al.*, 2016). É amplamente cultivada e consumida em diferentes regiões do mundo como a Ásia, Índia, Síria, Paquistão, África e América do Sul. Devido à alta demanda, muitas vezes é necessária a importação dos grãos. Os países que lideram a exportação do grão-de-bico são Austrália, Canadá e Argentina (MERGA, HAJI 2019).

O grão-de-bico é considerado uma boa fonte de carboidrato e proteínas que podem variar de 17 a 31 % (JUKANTI *et al.*, 2012). Essa leguminosa possui uma composição balanceada de aminoácidos (isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e valina)

(NASCIMENTO *et al.*, 2016; QUEIROGA *et al.*, 2021). Além disso, contêm minerais como: fósforo, cálcio, magnésio, ferro e principalmente potássio, nas sementes do grão-de-bico. É também uma boa fonte de vitaminas importantes como riboflavina, niacina, tiamina, ácido fólico e o precursor da vitamina A e do complexo B (JUKANTI *et al.*, 2012).

Rico em fibras e em ácidos graxos insaturados nutricionalmente importantes como o linoleico e oleico, que ajudam na redução do colesterol promovendo melhorias cardiovasculares (QUEIROGA *et al.*, 2021). A inclusão dessa leguminosa na dieta traz inúmeros benefícios à saúde, além da redução do colesterol como: redução dos níveis de açúcar no sangue, melhorias na saúde digestiva devido ao teor de fibras, redução de peso proporcionando a saciedade em função das proteínas e fibras presentes (JUKANTI *et al.*, 2012; NASCIMENTO *et al.*, 1998).

O grão-de-bico é uma planta herbácea, anual, autógama, com cleistogamia, onde ocorre a polinização antes da abertura das flores. Possui hábito de crescimento indeterminado, podendo atingir até um metro de altura, e podem apresentar cinco tipos de crescimentos de acordo com a inclinação das hastes: ereto, semiereto, inclinado, semi-inclinado e prostrado (CARVALHO *et al.*, 2021). Diferenciam-se em dois grupos de acordo com as características físico-químicas e genéticas em: o grupo *Desi*, com sementes pequenas, enrugadas ou ásperas de coloração marrom a preto e geralmente as flores são de coloração púrpuras; o grupo *Kabuli*, com sementes grandes, arredondadas de superfície lisa e coloração bege ou creme claro e com flores brancas (KAUR *et al.*, 2021; NASCIMENTO *et al.*, 2016). A maioria dos grãos comercializados e consumidos no Brasil são do tipo *Kabuli* (CARVALHO *et al.*, 2021). O ciclo precoce de reprodução tem uma média de 120 dias, do processo de emergência até a maturação dos grãos (NASCIMENTO *et al.*, 2016).

As flores do grão-de-bico são axilares e indeterminadas e as vagens são globosas, peludas e pequenas (2,5 a 3 cm), podendo conter uma ou duas sementes no seu interior. As plantas apresentam folhas alternadas ou imparipinadas com até 10 cm de comprimento, compostas por 9 a 19 folíolos alternados com bordas serrilhadas, com coloração verde-amareladas (NASCIMENTO *et al.*, 2016). A germinação é do tipo hipógea. O sistema radicular é pivotante, com a raiz principal bem desenvolvida e profunda, podendo atingir até 2 metros (CARVALHO *et al.*, 2021; QUEIROGA *et al.*, 2021). Isso confere ao grão-de-bico rusticidade e boa adaptabilidade à seca.

O plantio dessa leguminosa é indicado em solos com textura silte-argilosa, bem drenados, profundos, ricos em nutrientes e matéria orgânica (acima de 2,5%) e com faixa de pH entre 6,5 e 7,0 (NASCIMENTO *et al.*, 2016).

Os maiores produtores e consumidores desses grãos estão no continente Asiático. Sendo a Índia a principal consumidora dessa leguminosa. O cultivo do grão-de-bico é indicado para regiões de clima seco e temperaturas amenas, mas tem-se adaptado bem em regiões de clima tropical como no Brasil. Pode ser cultivado em sequeiro, no final do período chuvoso ou com a utilização de irrigação, que neste caso não deverá passar de 400 mm durante todo o ciclo (NASCIMENTO *et al.*, 2016).

A demanda por esses grãos no Brasil tem crescido devido seu potencial alimentício. Por isso, a Embrapa Hortaliças desenvolveu variedades de grão-de-bico adaptadas às condições brasileiras como BRS Cícero, BRS Aleppo, BRS Cristalino, BRS Toro (NASCIMENTO *et al.*, 2016). A utilização de cultivares mais adaptadas às condições brasileiras tem proporcionado um aumento da produção

de grão-de-bico, chegando a obter rendimentos de grãos superiores a 1.000 kg ha⁻¹ em áreas do semiárido brasileiro (ALMEIDA NETA *et al.*, 2021; AVELAR *et al.*, 2018; PEGORARO *et al.*, 2018), sendo superior à média mundial de 965 kg ha⁻¹.

A região semiárida brasileira possui grande potencial para o cultivo dessa leguminosa. No entanto, estudos sobre novas fontes de adubação e tecnologias visando o aumento da produtividade são necessários. O manejo da adubação fosfatada no grão-de-bico é fundamental, pois o fósforo participa de diversos processos metabólicos nas plantas. Contudo, o P apresenta elevada adsorção em solos tropicais e é um recurso finito. Portanto, são necessários estudos com fontes fosfatadas alternativas que proporcionem aumento da produtividade e a segurança alimentar.

3.2 - Fósforo

O fósforo (P) é essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas. É um insumo indispensável diante da crescente demanda mundial por alimentos. A sua escassez acarretaria uma ameaça à segurança alimentar global, pois ele participa de diversos processos metabólicos dentre eles: respiração, ativação e desativação de enzimas, reações redox, metabolismo de carboidratos, fixação de N₂ (VANCE *et al.*, 2003), síntese de ácidos nucléicos (DNA e RNA), transferência de energia (ATP), estabilidade de membrana (MALAVOLTA *et al.*, 2002) divisão celular (GOMES, 1976), formação de raízes, fotossíntese e reprodução (STAUFFER; SULEWSKI, 2004).

Os fertilizantes fosfatados são originários de rochas fosfáticas, principalmente sedimentares e marinhas sendo um recurso escasso e finito (SAMREEN; KAUSAR, 2019). A tendência é que o P fique cada vez mais caro e escasso devido ao seu processo de extração das rochas, pois estas levaram anos para serem formadas. E a demanda por esse insumo é cada vez maior. Ao serem extraídos das rochas e processados em fertilizantes químicos, passam a fornecer o fósforo necessário para melhorar a fertilidade e a produtividade de culturas agrícolas.

Para que possa atender a demanda de alimentos mundial, é necessária a adição de grandes quantidades de adubos fosfatados, pois a grande maioria dos solos são pobres em P, e as grandes jazidas fosfáticas estão concentradas em locais específicos, sendo necessária a importação desse insumo.

No Brasil, os solos tropicais possuem baixa disponibilidade natural de P para as plantas devido a sua dinâmica complexa em função do alto potencial de adsorção covalente aos argilominerais oxidicos (FONSECA *et al.*, 2020; LUSIBA *et al.*, 2017). Devido essa baixa disponibilidade há uma forte tendência em reagir com componentes do mesmo e formar compostos de baixa solubilidade, após o procedimento de adubação. Nos solos brasileiros um dos nutrientes que mais se aplica durante o processo de adubação é o P, para suprir as necessidades do solo e da planta (FURTINI NETO *et al.*, 2001).

3.3 - Bactérias solubilizadoras de Fosfato

O P é um elemento essencial para o desenvolvimento das plantas, participando de inúmeros processos metabólicos como fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia, transcrição de genes e reprodução (BUCHANAN *et al.*, 2015). E a sua ausência afeta diretamente o crescimento e produtividade das plantas.

A maioria dos solos tropicais apresentam baixa disponibilidade desse nutriente, tornando necessária à sua aplicação em grande quantidade no solo, a fim de suprir as demandas do solo e da planta. Contudo, ao ser aplicado no solo esse elemento tende a se reagir com os constituintes do solo e formar compostos de baixa solubilidade, deixando-o indisponível para a absorção pelas plantas (FONSECA *et al.*, 2020).

Dessa forma, são necessários estudos que aumentem a eficiência e disponibilização desse elemento para as plantas. Alternativa que permite maior eficiência da adubação fosfata é o uso de microrganismos solubilizadores de fosfato (PRABHU *et al.*, 2019).

Esses microrganismos envolvidos nos processos de solubilização e mineralização de P no solo compreende bactérias, fungos e actinomicetos (RICHARDSON, 2001). Eles são capazes de converter P insolúvel em formas disponíveis para as plantas, desempenhando papel relevante na ciclagem do P no solo (OWEN *et al.*, 2015).

Alguns gêneros de bactérias como *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Pseudomonas* e *Rhizobium* foram citados como eficientes na solubilização de P (GARCIA *et al.*, 2015; KOUR *et al.*, 2021). Por meio de mecanismos de solubilização ou promoção de crescimentos, essas bactérias aumentam a produção em plantas cultivadas. Esses mecanismos envolvem: a estimulação do crescimento do sistema radicular por meio de fito-hormônios; excreção de íons de hidrogênio, liberação de ácidos orgânicos, produção de sideróforos e a produção de enzimas fosfatases que são capazes de hidrolisar o P orgânico (MENDES *et al.*, 2023).

O P no solo encontra-se sob formas orgânicas e inorgânicas. Para o mecanismo de solubilização do P inorgânico não lábil, os microrganismos produzem ácidos orgânicos (ácido cítrico, láctico, glicólico, málico, oxálico, succínio e tartárico entre outros). E esses irão atuar com os prótons, nos materiais fosfáticos dissolvendo-os ou quelando os cátions que acompanham o ânion fosfato (RICHARDSON, 1994), reduzindo o pH do solo para a solubilização de fosfatos insolúveis como $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$, AlPO_4 e FePO_4 .

O P orgânico, por sua vez é decomposto pelos microrganismos que produzem enzimas como fosfatases e fitases, as quais promovem a quebra de ésteres e anidros de H_3PO_4 por meio da hidrólise (MENDES *et al.*, 2023).

Diversos gêneros de bactérias são atualmente estudados para que sejam utilizadas no processo de solubilização de fósforo, uma vez que o custo do insumo mineral fosfatado é elevado e suas fontes não são renováveis. Dessa maneira, o uso de bactérias solubilizadoras de fosfato torna-se uma prática de manejo sustentável e financeiramente viável para ampliar a disponibilidade desse nutriente, resultando em benefícios para o ecossistema.

3.4 - Lodo de esgoto

O crescimento mundial da população tem sido cada vez maior e conseqüentemente o processo de geração de lodo de esgoto (LE) vem aumentando consideravelmente e gerando preocupações e incertezas quanto ao seu descarte e sua utilização. Toneladas de lodo de esgoto são produzidas diariamente a partir da coleta de esgoto doméstico, agroindustrial e industrial nas estações de tratamento de esgotos (ETEs). No Brasil são em torno de 10.983,179 m³ de lodo de esgoto tratados por dia nas ETEs, e no estado de Minas Gerais 1.113,698 m³ no ano de 2017, segundo informações do IBGE (2017).

A água residuária oriunda dos rejeitos domésticos, industriais e agroindustriais passa por diversos processos físicos, físico-químicos e biológicos nas ETEs a fim de reduzir os contaminantes e poluentes presentes nesse material (KELESSIDIS; STASINAKIS, 2012). Um dos produtos dessas etapas é o lodo de esgoto, que é composto pela massa sólida dos rejeitos.

Devido ao grande volume gerado desse produto nas ETEs, o seu descarte tem sido motivo de estudos econômicos e ambientais, para reduzir o máximo de impactos e aumentar a sustentabilidade. As opções para o descarte do LE atualmente são: aterros sanitários (HE *et al.*, 2015), reuso na indústria (produção de tijolos e cimento), incineração (BETTIOL *et al.*, 2006) ou destinação como fertilizantes e condicionadores de solos em áreas agrícolas e florestais (JUNIO *et al.*, 2013).

Esse material sólido é rico em nutrientes como P, nitrogênio (N) (KIRCHMANN *et al.*, 2017) potássio (K), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) (MELETA *et al.*, 2019) e matéria orgânica (ABREU-JUNIOR *et al.*, 2020). Entretanto, pode conter também elementos metais pesados (NASCIMENTO *et al.*, 2020), compostos orgânicos tóxicos, como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) (BOIX *et al.*, 2016) e agentes patogênicos (MURRAY *et al.*, 2019).

Por ser um material rico em fósforo, o lodo de esgoto tem sido objeto de estudos visando sua aplicação como fonte alternativa de adubo fosfatado. Em função das fontes de matéria prima para os fertilizantes minerais fosfatados serem recursos cada vez mais escassos, finito e não renovável (SAMREEN and KAUSAR, 2019). De acordo com Paula *et al.* (2013), o lodo de esgoto pode sim ser utilizado como fonte de fornecimento de nutrientes e matéria orgânica, pois melhora as condições físicas, químicas e biológicas do solo.

3.5 - Metais pesados

Os metais pesados são caracterizados como elementos metálicos de ocorrência natural com número atômico superior a 20 e densidade acima de 5 g cm⁻³ (ALI e KHAN, 2018). Esses elementos estão presentes de forma natural no solo fazendo parte do material de origem ou de minerais secundários, que por meio do processo de intemperismo de rochas ricas desses elementos os disponibilizam (HUGEN *et al.*, 2013). A presença natural desses elementos no solo pode ser alterada pela adição de biossólidos, queima de combustíveis fósseis, mineralização, processos industriais na

área química, metalúrgica e eletrônica (ALLOWAY, 1995) insumos agrícolas, irrigação e pesticidas (HUGEN *et al.* 2013).

Determinados metais pesados são considerados como micronutrientes para as plantas (Fe, Mn, Ni, Cu, Zn) uma vez que exercem papéis essenciais no metabolismo e na biossíntese, atuando como cofatores de enzimas e componentes dos produtos metabólicos (TAIZ *et al.*, 2017). Entretanto, outros elementos como As, Ba, Cd, Cr, Hg, Se e Pb são reconhecidos como poluentes e têm o potencial de impactar negativamente o meio ambiente (HUGEN *et al.*, 2013).

É importante ressaltar que níveis elevados de metais, inclusive os considerados essenciais e benéficos, podem resultar na degradação do solo, na inibição do crescimento das plantas e redução da qualidade dos alimentos, além de causar contaminação em animais e seres humanos (HUGEN *et al.*, 2013).

Os metais encontrados nos biossólidos estão em variadas formas, sendo principalmente associados à fração sólida do resíduo, como óxidos e matéria orgânica (BERTONCINI, 2002). As concentrações desses elementos tóxicos também são variáveis, com isso o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) por meio da resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020 (BRASIL, 2020) estabelece algumas normas para o uso e aplicação de biossólidos a fim de, prevenir possíveis contaminações do solo. Pois o solo possui grande potencial de acumulação de metais pesados, devido as suas características, correndo o risco de posteriormente liberar esses metais para outros sistemas ambientais (HUGEN *et al.*, 2013).

As interações desses metais no solo bem como sua disponibilização para os sistemas, são diretamente influenciadas pelas características físicas, químicas e biológicas do solo (BERTONCINI, MATTIAZZO, 1999). Dentre os atributos do solo que impactam a retenção, mobilidade e disponibilidade dos metais pesados, estão o pH, a capacidade de troca catiônica (CTC), capacidade de troca aniônica (CTA), quantidade de matéria orgânica, bem como a quantidade e composição da fração de argila (argilas silicatadas e óxidos) (FONTES *et al.*, 2000; FONTES & GOMES, 2003) e ainda a textura e a atividade microbiana (BERTONCINI, MATTIAZZO, 1999).

Com o aumento do pH irá reduzir a disponibilidade dos metais pesados, em função do balanceamento das cargas negativas oriundas do processo de desprotonação dos componentes do solo com as dos metais. No entanto, com a redução do pH, ocorre maior disponibilidade dos metais na solução do solo, pois com o aumento da concentração de íons H^+ na solução irá promover competição destes com os sítios de troca com os metais catiônicos (MCBRIDE, 1994).

A presença de matéria orgânica no solo aumenta a CTC, devido ao incremento das cargas negativas do solo o que favorece a adsorção de metais devido a formação de complexos orgânicos com esses elementos e a formação de quelatos, deixando os metais menos solúveis (BAUER e BLODAU, 2006).

Nos solos tropicais, os óxidos (ferro, alumínio e manganês) desempenham importante papel da adsorção dos metais pesados. No qual estes podem ser adsorvidos especificamente, criando ligações parcialmente covalente com os oxigênios da estrutura do mineral ou podem ser adsorvidos eletrostaticamente na superfície dos óxidos (MCBRIDE, 1994).

Os microrganismos do solo possuem a capacidade de reduzir também a disponibilidade de metais pesados no solo por meio de complexação desses elementos ou por quelatção. Pandey *et al.*, (2022) verificaram que houve a redução de teores de Cr em função da ação dos microrganismos do solo, por meio da produção de compostos orgânicos que complexaram o Cr da solução do solo.

4. REFERÊNCIAS

- ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. 2 ed. London: Blackie Academic & Professional, p. 368.1995
- ALMEIDA NETA, M. N. *et al.* Inoculation of *Bacillus* spp. and nitrogen levels increase chickpea production. **Ciência e Agrotecnologia** v. 45, 2021.
- AVELAR, R.I.S. *et al.* Production and quality of chickpea seeds in different sowing and harvest periods. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 2, p.155-164, 2018.
- BHADOURIA, J.; GIRI, J. Purple acid phosphatases: roles in phosphate utilization and new emerging functions. **Plant Cell Reports** v. 41, p. 33-54, 2022
- BAUER, M.; BLODAU, C. Mobilization of arsenic by dissolved organic matter from iron oxides, soils and sediments. **Science of the Total Environment**, p. 179-190, 2006.
- BERTONCINI, E. I. Mobilidade de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. Piracicaba 102p. **Dissertação** (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1997.
- BERTONCINI, E. I.; MATTIAZZO, M. E. Lixiviação de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.737-744, 1999.
- BETTIOL, W; CAMARGO, O. A. **A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola**. 2006.
- BOIX, C. *et al.* Behaviour of emerging contaminants in sewage sludge after anaerobic digestion. **Chemosphere**, v. 163, p. 296-304, 2016.
- BUCHANAN, B .B. *et al.* **Biochemistry e molecular biology of plants**. In: Wiley Blackwell (6th ed., vol. 1). Pondicherry: John Wiley & Sons. 1283 p. 2015.
- CARVALHO, S. I. C. *et al.* Fenologia do grão-de-bico tipo Kabuli. Brasília, DF: **Embrapa Hortaliças**, 26 p. 2021.
- FONSECA, J. H. S. *et al.* Chickpea production in response to fertilization with zinc and doses of phosphorus. **Comunicata Scientiae**, v. 11, 2020.
- FONTES, M. P. F.; GOMES, P. C. Simultaneous competitive adsorption of heavy metal by the mineral matrix of tropical soils. **Applied Geochemistry**, v. 18, p. 795-804, 2003.
- FONTES M.P F, MATOS A.T.; NEVES J. C. L. Competitive adsorption of Zn, Cd, Cu and Pb in three highly weathered Brazilian soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 31, p. 2939-2958, 2010.
- FURTINI NETO, A. E. *et al.* **A. Fertilidade do solo**. Curso de pós-graduação “Lato Sensu” (especialização) a distância- fertilidade do solo e nutrição de plantas no agronegócio. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.
- GARCIA, R. A. *et al.* Isolation and characterization of phosphate solubilization bacteria in Northwestern Argentina and its effect in promoting growth in maize (*Zea mays* L.). **Revista Agronomic Noroest Argentina**, v. 35, p. 13-28, 2015.
- GOMES, P. **Adubos e Adubações**. 5. ed. São Paulo: Nobel, 1976. 188 p.
- He, J. *et al.* Modified sewage sludge as temporary landfill cover material. **Water Science and Engineering**, v. 8, n. 3, p. 257-262. 2015.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Diretoria de Pesquisa Nacional de Saneamento Básico- Abastecimento de água e esgotamento sanitário**, 2017. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/30/84366>>. Acesso: 7 nov. 2023.

JUKANTI, A. K. *et al.* Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L): a review. **British Journal of Nutrition**, v. 108, n. 1, p. 11-26, 2012.

KAUR, R.; PRASAD, K. Technological, processing and nutritional aspects of chickpea (*Cicer arietinum*) – A review. **Trends in Food Science e Technology**, v. 109, p. 448-463, 2021.

KELESSIDIS, A.; STASINAKIS, A. S. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. **Waste Management**, v. 32, n. 6, p. 1186-1195, 2012.

KIRCHMANN, H.; BORJESSON, G.; KATTERER T, COHEN, Y. From agricultural use od sewage sludge to nutrient extraction: a soil Science outlook. **Ambio**, v. 46, n.2, p. 143-154. 2017

KOUR, D. *et al.* Biodiversity, current developments and potencial biotechnological application of phosphorus-solubilizing and mobilizing microbes: A review. **Pedosphere**, v.31, p.43-75, 2021

LUSIBA, S. *et al.* Growth yield and water use efficiency of chickpea (*Cicer arietinum*): response to biochar and phosphorus fertilizer application. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 64. 2017.

MALAVOLTA, E. *et al.* **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002

MCBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils**. Oxford University Press, 1994.

MENDES, I. C. *et al.* Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 26 p. 2003

MERGA, B.; HAJI, J. Economic importance of chickpea: Production, value, and world trade. **Cogent Food & Agriculture**, v.5, n.1, 2019.

MURRAY, R. *et al.* The impact of municipal sewage stabilization processes on the abundance, field persistence, and transmission of antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes to vegetables at Harvest. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 1680-1687, 2019.

NASCIMENTO, A. L. *et al.* Chemical atributes of sewage sludge: relationships to sources and treatments and implications for sludge usage in agriculture. **Journal of Cleaner Production**, v. 58, p.120-746, 2020.

NASCIMENTO, W.M.; SILVA, P. P.; ARTIAGA, O. P.; SUINAGA, F. A. **Grão-de-bico. Hortaliças Leguminosas**. Brasília, DF. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, (Embrapa), 2016.

NASCIMENTO, W. M. *et al.* **Cultivo do grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.)**. Brasília, DF: EMBRAPA-CNPQ, 11.p. 1998.

OWEN, D.; WILLIAMS, A.P.; GRIFFITH, G.W.; WITHERS, P. Use of comercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition. **Applied Soil Ecology**. v. 86, p. 41-54, 2015.

PAULA, J. R. *et al.* Mineralização do carbono e nitrogênio de resíduos aplicados o solo em campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1729-1741, 2013.

PEGORARO, R. F. *et al.* Ckickpea production and soil Chemical atributes after phosphorus and molybdenum fertilization. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 5, p. 474-483, 2018.

PRABHU, N.; BORKAR, S.; GARG, S. Phosphate solubilization by microorganisms: Overview, mechanisms, application and advances. **Advances in Biological Science Research**, p. 161-176, 2019.

QUEIROGA, V. P.; GIRÃO, E. G.; ALBUQUERQUE, BEM. **Grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.):** Tecnologias de plantio e utilização. Campina Grande: AREPB, 199F, 2021.

RICHARDSON, A. E. Prospects for using soli microorganisms to improve the acquisition of phophurus by plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 28, p. 897-906, 2001

RICHARDSON, A.E.; Soil microrganisms and phosphurus availability. In: PANKHURST, C.E. *et al.* (Ed). **Soil biota management in sustainable farming systems**. Melbourne: CSIRO. p. 50-62, 1994.

SAMREEN, S.; KAUSAR, S. Phosphorus Fertilizer: The original and commercial sources. In: T Zhang (ed), **Phosphorus-recovery and Recycling**, IntechOpen, London, UK, p. 1-14, 2019.

STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. Fósforo - essencial para a vida. Simpósio sobre fósforo na Agricultura Brasileira. São Paulo, SP. **Anais: Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 2004. 726 p

VANCE, C. P.; UHDE-STNE, C.; ALLEN, D. L. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **Ney Phytol.**, 157:423-447, 2003.

Zuo W. *et al.* Sewage sludge amendment improved soil properties and sweet sorghum yield and quality in a newly reclaimed mudflat land. **Sci Total Environ**, v. 654, p. 541-549, 2019.

5. ARTIGOS

5.1 Artigo 1 - Lodo compostado e bactérias solubilizadoras na disponibilidade de fósforo e na produção de grão-de-bico

Composted sludge and solubilizing bacteria in phosphorus availability and chickpea production

Este artigo foi elaborado de acordo as normas da Revista Ciência Agronômica.

Lodo compostado e bactérias solubilizadoras na disponibilidade de fósforo e na produção de grão-de-bico

RESUMO

A utilização de resíduos orgânicos associados a organismos que solubilizam fósforo e promovem o crescimento de plantas, podem aumentar a disponibilização desse elemento e a produção de grão-de-bico. Nesse contexto, avaliaram-se a disponibilidade de fósforo e a produção de grão-de-bico após a aplicação de fontes orgânicas e minerais de fósforo com mix de bactérias solubilizadoras de fosfato. O estudo foi conduzido em blocos casualizados, com quatro repetições em esquema fatorial 2 x 4, consistindo em ausência e presença do mix de *Bacillus subtilis* sp e *B. megaterim* sp. e quatro manejos de fontes orgânicas e minerais de fósforo: ausência de adubação (Test); adubação mineral com 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples (SS); adubação orgânica com 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de lodo de esgoto (LC) e adubação mineral e orgânica na proporção de 50:50% de P₂O₅ (SSLC). No florescimento, avaliou-se o teor foliar de nutrientes e a fertilidade do solo e, no final do ciclo, os componentes de produção relacionados a massa de matéria seca (t ha⁻¹), índice de colheita; eficiência agrônômica e produtividade. A utilização de fontes fosfatadas proporcionou aumento do teor de P no solo. A adubação com LC, SS ou SSLC aumentaram a fertilidade do solo contribuindo para a absorção de nutrientes (especialmente P, Ca e Mg) implicando no incremento de 72% a produtividade de grão-de-bico. Com isso, considera-se a utilização de LC e LCSS alternativas viáveis de adubação fosfatada para o aumento da produção de grão-de-bico e redução do consumo de fontes minerais de fósforo.

Palavras-chave: *Cicer arietinum* L., biossólido, fertilização mineral, produtividade, bactérias promotoras de crescimento, *Bacillus subtilis* sp.

Composted sludge and solubilizing bacteria in phosphorus availability and chickpea production

ABSTRACT

The use of organic waste associated with phosphorus-solubilizing organisms and growth promoters can increase the availability of this nutrient and chickpea production. From this perspective, this study evaluated the phosphorus availability and production of chickpea after the application of organic and mineral phosphorus sources with a mix of solubilizing bacteria. The study was conducted in randomized blocks with four replications in a 2 x 4 factorial arrangement consisting of the absence and presence of a mix of *Bacillus subtilis* sp. and *B. megaterim* sp. and four different managements with organic and mineral phosphorus sources: no fertilization (Control); mineral fertilization with 150 kg ha⁻¹ of P₂O₅ provided as single superphosphate (MP); organic fertilization with 150 kg ha⁻¹ of P₂O₅ provided as sewage sludge (SS), and mineral and organic fertilization at a ratio of 50:50% of P₂O₅ (MPSS). The flowering period was chosen to evaluate the leaf nutrient contents and soil fertility. At the end of the cultivation cycle, the production components related to dry matter (t ha⁻¹), harvest index, agronomic efficiency, and yield were evaluated. The use of phosphate sources increased the soil P content. Fertilization with SS, MP, or MPSS increased soil fertility, contributing to the nutrient uptake (especially P, Ca, and Mg), with a 72% increase in chickpea yield. Based on these results, the use of SS and MPSS is recommended to increase chickpea production and reduce the consumption of mineral phosphorus sources.

Key words: *Cicer arietinum* L. Biosolid Mineral Fertilization, Yield, Growth Promoting Bacteria, *Bacillus subtilis* sp.

INTRODUÇÃO

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) é a terceira leguminosa mais cultivada no mundo, (FAOSTAT, 2022). Sua importância está relacionada à contribuição na alimentação humana e qualidade nutricional (BATOOL *et al.*, 2021). O cultivo de grão-de-bico ocorre principalmente no continente asiático, mas tem aumentado em solos tropicais brasileiros, pois apresenta condições climáticas favoráveis ao seu desenvolvimento e bom desempenho produtivo.

No Brasil os rendimentos de grãos observados quando irrigados são superiores a 1.000 kg ha⁻¹ (PEGORARO, *et al.*, 2018), superior à média mundial (965 kg ha⁻¹), e potencial para até 3.000 kg ha⁻¹ em sistemas de manejo com irrigação (ALMEIDA NETA *et al.*, 2021). No entanto, para a obtenção de maiores produtividades a nutrição fosfatada equilibrada é considerada essencial, uma vez que o fósforo (P) participa de diversos processos metabólicos nas plantas e elevada adsorção em os solos tropicais.

O manejo da adubação fosfatada no cultivo de grão-de-bico em solos tropicais do Brasil é recente, e objeto de estudos, visto que os solos tropicais possuem baixa disponibilidade natural de P para as plantas e dinâmica complexa em função do alto potencial de adsorção covalente aos argilominerais oxídicos (FONSECA *et al.*, 2020; LUSIBA *et al.*, 2017). Isso influencia o crescimento e a produtividade da cultura em virtude da disponibilidade de P (PEREIRA *et al.*, 2020). Em função da adubação fosfatada, foi observado um aumento significativo no rendimento de grãos do grão-de-bico em torno de 413 kg ha⁻¹ na Etiópia (WOLDE-MESKEL *et al.*, 2018). Em outro trabalho, observou-se redução no número de dias para atingir 50% de floração em grão-de-bico quando realizado a adubação fosfatada (MELETA e ABERA 2019).

Os fertilizantes minerais fosfatados são oriundos de rochas fosfáticas, que são consideradas como fontes escassas e não renováveis (SAMREEN e KAUSAR 2019). Uma alternativa ao uso de fontes minerais de fósforo é o lodo de esgoto (LE), por ser rico em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo (ABREU-JUNIOR *et al.*, 2020; GONÇALVES *et al.*, 2021), potássio, cobre, ferro, manganês e zinco (SHARMA e DHALIWAL 2019).

A utilização dos resíduos orgânicos como fertilizantes se dá principalmente devido a sua capacidade de fornecer nutrientes e ao aporte de matéria orgânica, o que melhora as condições físicas, químicas e biológicas do solo (ZUO *et al.*, 2019). Em estudo realizado durante 30 anos, foi verificado que houve aumento do fósforo solúvel com a taxa de aplicação de lodo e que a sua utilização é um recurso valioso principalmente para melhorar a estrutura e a fertilidade do solo (YU *et al.*, 2021). De acordo Kominko *et al.* (2019), o uso de LE na produção de fertilizantes organominerais permite a reciclagem de 82 a 140 toneladas de P₂O₅ e 42 a 73 toneladas de nitrogênio (N), sendo assim uma solução propícia para o gerenciamento do LE. Além disso, a utilização de fontes orgânicas de fósforo em associação a organismos solubilizadores pode aumentar a eficiência de sua utilização pelas plantas.

Nos últimos anos, estudos com bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) têm se intensificado, visando à descoberta de indivíduos e fenômenos responsáveis pelo aumento da disponibilidade de fósforo e produção de plantas. Diversos gêneros, como *Bacillus*, *Pseudomonas* e

Erwinia já foram isolados. Segundo Chen *et al.* (2020), também propiciaram maiores taxas de germinação de sementes, crescimento de raízes, folhas, grãos e além de aumentar a resistência contra patógenos. A utilização de biosolubilizadores em conjunto a fontes alternativas na fertilização fosfatada pode ser considerada promissora para o grão-de-bico, pois se trata de uma cultura de importância econômica, exigente em adubação fosfatada e que também interage com microrganismos do solo como o *Bacillus spp* (ALMEIDA NETA *et al.*, 2021; PEGORARO *et al.*, 2018).

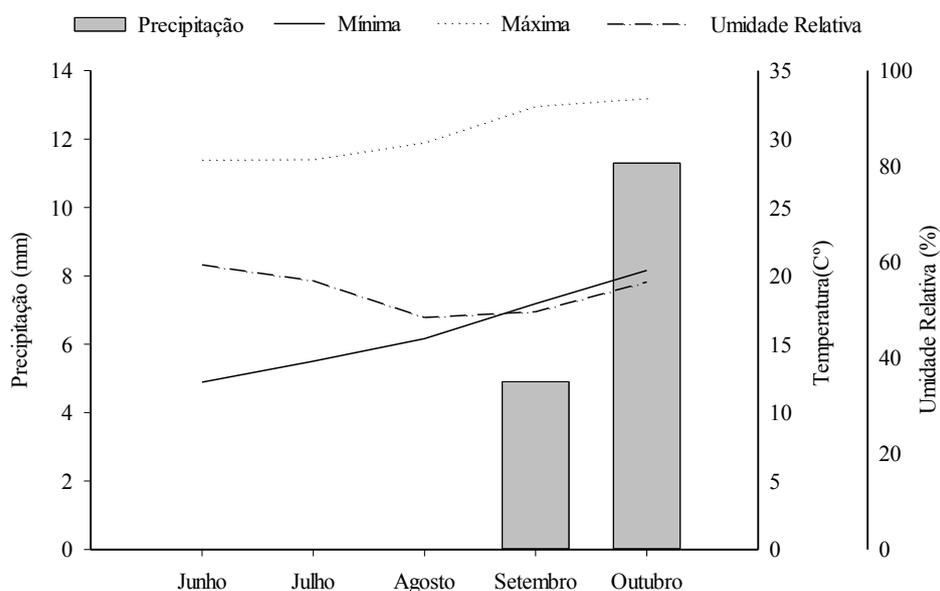
Diante disso, o objetivo foi avaliar a disponibilidade de fósforo e a produção de grão-de-bico após a aplicação de fontes orgânicas e minerais de fósforo com mix de bactérias solubilizadoras.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo e condições experimentais

O estudo foi conduzido em campo na área experimental do Instituto de Ciências Agrárias, campus Montes Claros – MG, coordenadas geográficas 16°40'57.5"S e 43°50'21.4"W, altitude média de 650 m, no período de junho a outubro de 2021. O clima da região é classificado como Aw, megatérmico, com inverno seco e verão chuvoso (ALVARES *et al.*, 2013). As condições climáticas no período de condução do experimento são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 Dados meteorológicos de precipitação (mm), umidade relativa (%), temperatura mínima e máxima (C°) correspondente ao período de cultivo do grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), dados de acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021). Sendo os valores de precipitação do mês de outubro correspondente até o dia 14, no qual foi realizada a colheita.



Caracterização do solo da área experimental e lodo compostado

O solo da área de cultivo foi classificado como Cambissolo Háplico de textura média (SANTOS *et al.*, 2018) e, previamente, na montagem do estudo foram coletadas oito amostras simples por amostra composta de solo na profundidade 0-20 cm, para caracterização física e química: pH (H₂O): 6,0; P (Mehlich 1): 31,5 mg dm⁻³; P remanescente: 33,3 mg L⁻¹; K (Mehlich 1): 266,2 mg dm⁻³; Ca: 8,61 cmol_c dm⁻³; Mg: 1,72 cmol_c dm⁻³; Al (KCl): 0,00 cmol_c dm⁻³; H+Al: 1,02 cmol_c dm⁻³; SB: 11,01 cmol_c dm⁻³; t:11,01 cmol_c dm⁻³; m: 0,0%; T: 12,03 cmol_c dm⁻³; V: 91,53 %; Matéria orgânica: 2,57 dag kg⁻¹; areia grossa: 13,30 dag kg⁻¹; areia fina: 4,70 dag kg⁻¹; silte: 54,0 dag kg⁻¹; argila: 28,0 dag kg⁻¹.

O lodo de esgoto utilizado no estudo foi obtido na estação de tratamento de esgoto – ETE Vieira na cidade de Montes Claros – MG, no qual havia sido tratado termicamente a 350° C por 30 minutos. O LE foi colocado em sacos de nylon e cultivado *Pennisetum purpureum* Schum e *Urochloa brizantha* cv. Marandu, no qual posteriormente (época de florescimento) esses materiais vegetais foram triturados e misturado ao LE seco e realizado o processo de compostagem, por um período de 2 meses sendo revolvido a cada 15 dias. Após compostagem o material foi coletado para determinação das características químicas (Tabela 1). Os teores de metais pesados no lodo compostado foram inferiores ao limite permitido em biossólidos para a utilização desses materiais em solos agrícolas de acordo a resolução CONAMA 498 (BRASIL, 2020).

Tabela 1. Caracterização química do lodo de esgoto utilizado no experimento.

Atributos	Resultado	Atributos	Resultado
pH H ₂ O	6,03	Mg (g kg ⁻¹)	1,6
C org (g kg ⁻¹)	322,81	Na (mg kg ⁻¹)	618,0
Total N (g kg ⁻¹)	32,24	Fe (mg kg ⁻¹)	3,075
C/N	10,01	Zn (mg kg ⁻¹)	283,0
CEC (mmol _c kg ⁻¹)	916,01	Mn (mg kg ⁻¹)	120,0
MO (g kg ⁻¹)	572,3	Ni (mg kg ⁻¹)	23,0
P (g kg ⁻¹)	7,8	Pb (mg kg ⁻¹)	31,0
K (g kg ⁻¹)	4,0	Cu (mg kg ⁻¹)	112,0
Ca (g kg ⁻¹)	10,3		

Nota: C org – Carbono orgânico; N total – nitrogênio total; C/N – relação carbono/nitrogênio, CTC – capacidade de troca catiônica; MO- Matéria orgânica; P- fósforo; K- potássio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; Fe – ferro; Na – sódio; Zn – zinco; Mn – manganês; Ni – níquel, Pb – chumbo; Cu - cobre.

O estudo foi delineado em blocos ao acaso com quatro repetições, no esquema fatorial 2 x 4. O primeiro fator correspondeu a inoculação ou não de mix de *Bacillus subtilis* sp e *B. megaterim* sp., na população estimada de 4 x 10⁹ células viáveis/ml⁻¹. O segundo fator correspondeu a quatro manejos de fontes orgânicas e minerais de fósforo: ausência de adubação (Test); adubação fosfatada mineral com 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples (SS); adubação fosfatada com 150

kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de lodo de esgoto compostado (LC) e adubação fosfatada mineral mais lodo de esgoto compostado na dose 75 (50%) e 75 (50%) kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente (SSLCL).

O preparo do solo para montagem do estudo ocorreu de forma convencional por meio de aração e gradagem, vinte dias antes da semeadura. Foram demarcadas parcelas com dimensões de 2 x 1 m, contendo quatro linhas de cultivo com espaçamento 0,50 x 0,10 m entre linhas e plantas respectivamente, totalizando 40 plantas por parcela, dessas considerou-se para avaliações as 10 plantas localizadas na área útil das duas linhas centrais, descartando-se as plantas das extremidades dessas linhas. A cultivar utilizada foi a BRS 'Aleppo', que possui crescimento semiereto, adaptável ao semiárido mineiro e com grãos tipo Kabuli (Nascimento *et al.*, 2016).

A semeadura ocorreu no dia 08 de junho de 2021 de forma manual no sulco de plantio com três sementes a cada 0,10 m e o desbaste ocorreu aos 15 dias após emergência das plantas, deixando-se 10 plantas por metro linear, totalizando 200.000 plantas ha⁻¹. Nos tratamentos que receberam inoculação, misturou-se de forma manual às sementes ao mix de bactérias *Bacillus subtilis* sp e *B. megaterim* sp., momento antes da semeadura.

A adubação de semeadura foi realizada no sulco, ao lado e abaixo das sementes utilizando-se 20 kg ha⁻¹ de N e K₂O na forma de ureia e cloreto de potássio, respectivamente, em todas as parcelas. Nos tratamentos com adubação fosfatada foram adicionados na semeadura 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples (18% de P₂O₅) ou lodo compostado, de acordo com os tratamentos. Considerou-se para fins de dose de fósforo fornecida via lodo compostado o seu teor total (Tabela 1), para tanto foi aplicado 8.392,31 kg ha⁻¹ de lodo compostado na recomendação de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A recomendação de fósforo para o estudo foi definida de acordo Pegoraro *et al.* (2018).

A adubação de cobertura foi realizada aos 25 e 35 dias após a emergência das plantas (DAE) com a aplicação de 50 e 30 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, respectivamente. Também foi aplicado aos 28 DAE, 80 g ha⁻¹ de molibdênio via foliar, na forma de molibdato de amônio. As doses de nutrientes recomendadas nesse estudo utilizaram como referência resultados científicos descritos por Almeida Neta *et al.* (2020) e Pegoraro *et al.* (2018).

A irrigação e os tratamentos fitossanitários foram empregados de acordo com a demanda e as recomendações para a cultura na região (NASCIMENTO *et al.*, 2016). Sendo adotado o sistema de irrigação por microaspersão com turno de rega de quatro dias, e o controle das plantas daninhas ocorreu de forma manual com a utilização de enxada sempre que necessário.

Avaliações experimentais

Na época do florescimento (67 DAE), foi realizada a avaliação da clorofila total por meio do aparelho SPAD-502, sendo efetuadas medições de 20 folíolos por parcela localizados no terço superior das plantas referentes as da parcela útil. Estas folhas foram coletadas, armazenadas e levadas para estufa de circulação de ar forçado a 65°C e, posteriormente moídas para a

determinação dos teores de N de acordo o método Kjeldahl, e P, K, Mg, Ca, S por digestão nítrico-perclórica (TEDESCO *et al.*, 1995).

Ainda na época de florescimento foi efetuada coleta de amostras de solo na linha e entrelinha de plantio, sendo coletadas 4 amostras simples por amostra composta, referente a cada unidade experimental, sendo realizado as análises químicas empregando os seguintes métodos: pH em água (acidez ativa); Carbono Orgânico (método Walkley e Black 1934); Ca e Mg trocáveis (método KCl 1 mol L⁻¹ e titulação com EDTA); Al (método KCl 1 mol L⁻¹ e titulação com NaOH); P disponível (Mehlich-1 e colorimetria); P remanescente (método do P em solução de equilíbrio e colorimetria); K (método Mehlich-1 e fotometria de chama) e calculou-se a soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions a pH 7 (T), acidez potencial (H+Al), acidez efetiva (t), saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%).

Aos 124 DAE, realizou-se a colheita de 10 plantas da área útil de cada parcela para avaliação das características de crescimento e produção: altura da planta (cm); massa seca dos componentes (g planta⁻¹): folhas (MSF), ramos (MSRA), vagens (MSV), massa seca do caule (MSC), massa seca dos grãos (MSG), massa seca de raízes (MSR) massa seca de palhada (MSPAL), estimado pelo somatório de MSF, MSRA e MSV; massa seca da parte aérea (MSPA), estimada a partir do somatório de MSF, MSV, MSRA, MSC e MSG; e massa seca total (MST) estimada pelo soma de MSPA com MSR; número de sementes por planta (NS); número de vagens com um grão (NV1); número de vagens com dois grãos (NV2); número de vagens total (NVT); e peso de 100 grãos (P100). Por meio dessas avaliações calculou-se a produtividade em t ha⁻¹, o índice de colheita (IC) em % ((peso da semente/biomassa da parte aérea) x 100) e a eficiência agrônômica do grão-de-bico, expressa pela fórmula:

$$EA = \frac{Pta - Pti}{DTa}$$

Sendo:

EA = eficiência agrônômica em kg de grãos por kg de nutrientes aplicado;

Pta = produtividade do tratamento fertilizado com P (kg ha⁻¹);

Pti = produtividade do tratamento controle sem aplicação de P (kg ha⁻¹);

DTa = dose no tratamento fertilizado com P (kg ha⁻¹).

Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância univariada (Anova) e em seguida, as médias foram comparadas pelo teste de agrupamento Scott-Knott a significância ($p \leq 5\%$). A análise estatística foi realizada com o software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2014). Também foi realizada a análise multivariada (Manova), relacionando-se por meio de variáveis canônicas a disponibilidade de

fósforo no solo após a aplicação dos tratamentos, com os componentes de produção e atributos químicos do solo. Essa análise estatística foi feita com auxílio do software estatístico R (pacotes ExpDes.pt e Multivariate Analysis).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características químicas do solo avaliadas na linha e entrelinha de semeadura

Os resultados da pesquisa mostraram que não houve efeito significativo ($p > 0,05$) para as interações entre a inoculação do mix de *B. subtilis* e *B. megaterium* e os diferentes manejos de adubação fosfatada utilizados referentes aos dados da linha e da entrelinha de plantio do grão-de-bico. As aplicações de fontes de fósforo (manejo) influenciaram ($p \leq 0,05$) de modo isolado os atributos químicos do solo na linha e entrelinha de cultivo do grão-de-bico (Tabela 2).

Tabela 2. Atributos químicos do solo da linha (L) e entrelinha (EL) de semeadura após o manejo sem adubação fosfatada (Test), adubação com superfosfato simples (SS), lodo de esgoto compostado (LC) e superfosfato simples + lodo compostado, na proporção 1:1 (SSLC).

Trat.	----CO----		-----pH-----		-----P-----		-----K-----		-----Ca-----		-----Mg-----	
	L	EL	L	EL	L**	EL*	L	EL	L	EL	L	EL
	--dag kg ⁻¹		-----H ₂ O-----		-----mg dm ⁻³ -----		-----		-----cmol _c dm ⁻³ -----		-----	
Test	1,6	1,4	7,8	7,0	30,8b	27,0b	258,8	322,0	8,7	8,3	2,7	2,0
SS	1,6	1,5	7,6	7,0	99,7a	34,8a	245,9	334,1	9,1	8,5	2,9	2,4
LC	1,8	1,6	7,8	7,2	74,2a	38,0a	247,6	327,1	8,8	8,2	2,9	2,3
SSLC	1,7	1,3	7,8	7,7	100,6a	34,9a	250,8	322,0	8,8	8,3	2,7	2,0

Trat.	---H+Al---		-----SB-----		-----t-----		-----T-----		-----V-----		-----Prem-----	
	L	EL	L*	EL	L*	EL	L*	EL*	L	EL	L	EL
	-----		-----		-----		-----		-----cmol _c dm ⁻³ -----		-----%-----	
	-----		-----		-----		-----		-----		-----mg L ⁻¹ -----	
Test	0,77	0,88	11,5b	11,2	11,5b	11,2	12,2b	12,3b	93,6	92,6	36,7	30,7
SS	0,78	0,85	12,3a	11,8	12,3a	11,8	13,1a	13,1a	93,9	93,2	43,8	31,2
LC	0,77	0,84	11,9a	11,4	11,9a	11,4	12,7a	12,7a	93,9	93,1	43,5	31,5
SSLC	0,76	0,85	12,2a	11,3	12,2a	11,3	12,9a	12,9a	94,0	92,9	39,8	31,4

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna não se diferem estatisticamente pelo teste Scott Knot a 0,05% (*) e a 0,01% (**). CO - Carbono Orgânico (método Walkley & Black); pH em água; P- fósforo disponível (Mehlich-1 e colorimetria); K - potássio (método Mehlich-1 e fotometria de chama); Ca - cálcio e Mg – magnésio trocáveis (método KCl 1 mol/L e titulação com EDTA); acidez potencial (H+Al); SB- soma de bases; t- capacidade efetiva de troca de cátions; T- capacidade potencial de troca de cátions a pH 7; V - saturação por bases; e Prem – fósforo remanescente (método do P em solução de equilíbrio e colorimetria).

Efeito isolado ($p \leq 0,01$) da inoculação com o mix de *Bacillus* spp. foi observado apenas para o pH do solo da entrelinha de semeadura. Obteve-se aumento do pH do solo (pH= 7,4) após a aplicação dos *Bacillus* spp., em comparação àquele que não recebeu inoculação (pH= 6,9) (Tabela 2). Maiores valores de pH do solo foram observados na entrelinha de plantio após o manejo com *Bacillus* spp. Nessa condição de pH elevado ($>7,0$) aumenta-se a presença de formas inorgânicas divalentes (HPO_4^{2-}) e trivalentes (HPO_4^{3-}) de fósforo no solo, formas menos disponíveis para as plantas (KALAYU *et al.*, 2019). No entanto, a presença BSF produzem ácidos orgânicos que irão acidificar o meio (KUMAR *et al.*, 2018). Os autores Israr *et al.* (2016) utilizando *Pseudomonas putida* em plantio de grão-de-bico observaram a redução do pH rizosférico.

A utilização de BSF permite efeitos benéficos, nos quais esses microrganismos são capazes de secretar compostos orgânicos e ácidos inorgânicos que irão solubilizar o fosfato insolúvel. De modo que o grupo carboxila e a hidroxila irão quelatar os cátions (Ca, Al e Fe) e liberar compostos solúveis de P, os quais as raízes das plantas possam absorver e promover a redução do pH em solos alcalinos (KALAYU *et al.*, 2019; RAWAT *et al.*, 2020). Isso favorece um maior crescimento e desenvolvimento das plantas. No entanto, no presente estudo, não foi observado efeitos benéficos do *Bacillus* spp. nos atributos químicos do solo, havendo alteração apenas no pH da entrelinha.

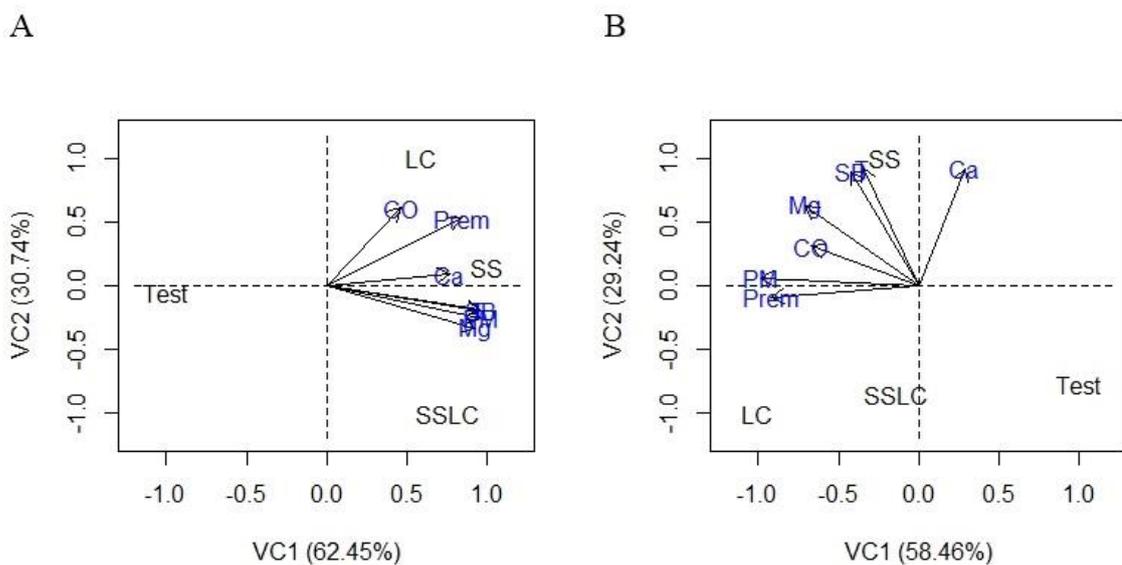
A aplicação de fósforo nos tratamentos SSLC, SS e LC aumentou os teores de P, SB, t e T na linha e o teor de P e T do solo na entrelinha de cultivo, em comparação ao tratamento sem adubação (Tabela 2). Os tratamentos com adubação fosfatada não diferiram entre si e os incrementos médios de P no solo corresponderam a 69,4%; 69,1% e 58,5%, na linha de cultivo, e 22,6%, 22,4% e 28,9% na entrelinha, respectivamente para SSLC, SS e LC.

O manejo com SSLC, SS e LC aumentou de 4 a 7% a SB na linha de semeadura, implicando no incremento da capacidade efetiva e potencial de troca de cátions do solo. Na entrelinha de cultivo, os tratamentos com adubação fosfatada também contribuíram para o incremento médio de 3 a 6,50% da capacidade potencial de troca de cátions (T) (Tabela 2). Esses aumentos ocorreram em função da maior liberação dos nutrientes contidos nos adubos aplicados em cada manejo, comparativamente à testemunha que não recebeu adubação fosfatada. De acordo com Silva *et al.* (2021), a aplicação de lodo compostado no solo teve pouca influência no aumento do pH do solo, porém favoreceu o aumento da matéria orgânica e a disponibilidade de N, P, Fe, Mn, Zn e Cu, resultando consequentemente em um maior acúmulo desses nutrientes pelas plantas. O aumento nos teores de P, Mg, K, Mn, Fe, capacidade de troca de cátions, e matéria orgânica do solo também foi observado após a aplicação de lodo de esgoto pelos autores Costa *et al.* (2014).

Por meio da análise multivariada, utilizando as variáveis canônicas foi possível identificar a contribuição dos tratamentos para a fertilidade do solo (Figura 2). No VC1, observou-se que a maior disponibilidade de P (Mehlich), Mg, SB e T ocorreram principalmente após a utilização dos manejos com SS e SSLC na linha. Já os manejos com LC e SS favoreceram o P remanescente, e a adubação com LC o teor de carbono orgânico no solo. O manejo Testemunha apresentou menor disponibilidade de nutrientes, visto que não recebeu nenhuma fonte fosfatada. E por meio da VC2, observou-se que o manejo com LC favoreceu o Carbono orgânico e o P remanescente (Figura 2 A). Na entrelinha de cultivo verificou-se por meio do VC1 (corresponde a 58,46% da explicação da variação total dos

dados) que a aplicação de SS obteve alta correlação com o teor de Ca no solo e o manejo com LC teve menor correlação com os teores de P e P remanescente. Para a VC2 o que mais correlacionou a SB, T e Mg foi o SS (Figura 2 B).

Figura 2 Dispersão gráfica da primeira (VC1) e segunda variável canônica (VC2) com base nas características teor de fósforo (PM), cálcio (Ca), magnésio (Mg), carbono orgânico (CO), fósforo remanescente (Prem), soma de bases (SB) e CTC total (T) do solo na linha (A) e entrelinha (B) de cultivo, e diferentes tratamentos com fontes de fósforo (Test: testemunha, SS: superfosfato simples, LC: lodo de esgoto compostado e SSLC: superfosfato simples e lodo de esgoto compostado), amostrada.



O aumento de SB em função da aplicação do manejo SSLC em comparação a testemunha (Figura 2A) está relacionado à maior disponibilidade de bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) uma vez que na composição do lodo de esgoto compostado e na do superfosfato simples contém bases que foram liberadas para a solução do solo. Abreu *et al.* (2016) obtiveram resultados semelhantes com o aumento da SB e conseqüentemente da CTC nos primeiros 0-10 cm de profundidade em sistemas agroflorestais em plantio de Teca (*Tectona grandis* Linn. F.) com a aplicação de lodo de esgoto no solo.

Características de crescimento, produção e produtividade

A aplicação de fontes de fósforo (manejo) e a inoculação com mix de *Bacillus spp.* influenciaram o crescimento e a produção do grão-de-bico. Obteve-se interação entre os dois fatores para as características massa seca de raízes (MSR), massa seca de folhas (MSF), massa seca total

(MST), massa seca de palhada (MSPAL), altura de plantas (ALT) e para os teores foliares de Ca e Mg (Tabela 3).

Tabela 3. Efeito da interação da inoculação do mix de *Bacillus* spp. com os manejos empregados no cultivo do grão-de-bico em massa seca de folhas (MSF), massa seca de raízes (MSR), massa seca total (MST), massa seca de palhada (MSPAL), altura (ALT), teor foliar de cálcio e magnésio.

Trat	MSF*		MSR*		MST*		MSPAL*	
	SB	CB	SB	CB	SB	CB	SB	CB
----- t ha ⁻¹ -----								
Test.	1,16 Aa	0,83 Ba	0,95 Aa	1,03 Aa	5,05 Ba	3,82 Ba	3,71 Aa	3,06 Ba
SS	0,68 Aa	1,07 Ba	1,86 Aa	1,03 Aa	7,37 Aa	4,99 Bb	4,87 Aa	3,37 Bb
LC	0,83 Ab	1,37 Aa	1,25 Aa	1,68 Aa	5,30 Ba	6,78 Aa	3,84 Aa	4,74 Aa
SSLC	0,95 Aa	1,22 Aa	0,55 Ab	2,14 Aa	5,04 Ba	6,32 Aa	3,27 Ab	4,89 Aa
----- cm-----								
ALT*			Ca**		Mg**			
	SB	CB	SB	CB	SB	CB	SB	CB
----- g kg ⁻¹ -----								
Test.	95,72 Ba	99,75 Ba	4,90 Ba	4,87 Aa	2,79 Ba		2,24 Aa	
SS	95,09 Bb	108,40 Aa	6,32 Ba	5,46 Aa	3,87 Ba		2,81 Aa	
LC	102,32 Aa	95,67 Ba	3,04 Bb	6,77 Aa	2,02 Bb		3,72 Aa	
SSLC	106,12 Aa	100,22 Ba	9,85 Aa	5,87 Ab	6,14 Aa		3,04 Ab	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não se diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott a (*) 0,05 % e (**) 0,01% de probabilidade. SB – sem *Bacillus*; CB – com *Bacillus*.

A utilização de LC e SSLC como fontes de fósforo e a aplicação de *Bacillus* spp. aumentaram a produção de MSF, MST e MSPAL no grão-de-bico, em comparação as plantas que não receberam adubação fosfatada (Tabela 3). O incremento na produção de folhas e resíduos vegetais (MSPAL) correspondeu a 1,83 t ha⁻¹ no tratamento SSLC em comparação à testemunha. A inoculação do *Bacillus* spp. no manejo SSLC promoveu acréscimo de 74,29% e 33,12% na MSR e MSPAL em comparação ao mesmo manejo sem a inoculação (Tabela 3).

A presença *Bacillus* spp. também potencializou a disponibilidade de nutrientes para as plantas e proporcionou aumento em algumas variáveis de produção, com aumento de 39,42 % na MSF no manejo com LC. De acordo com Kang *et al.* (2019) o uso de uma nova cepa de *Bacillus tequilensis* - SSB07, produz giberelinas GA1, GA3, GA5, GA8, GA19, GA24, GA53 e ácido indol-3-acético e ácido abscísico. Nesse contexto, a aplicação dessa nova cepa favoreceu um aumento no comprimento e biomassa da parte aérea, maior desenvolvimento das folhas e os níveis de pigmentos fotossintéticos em plantas de soja. Dessa forma, a presença de fertilização fosfatada e compostos

orgânicos provenientes do LC e SS favoreceu o desenvolvimento de *Bacillus* spp., assim o crescimento e a produção de grão-de-bico.

O uso do manejo SS com o mix de *Bacillus* spp, proporcionou plantas maiores do que nos demais tratamentos inoculados (Tabela 3). Essa influência positiva com a mistura de *Bacillus* spp. na altura das plantas é atribuída ao aumento da atividade biológica do solo e à disponibilidade de nutrientes, contribuindo para melhorias na qualidade física, química e biológica do oslo, conforme descrito por Nascimento *et al.* (2014).

A presença de *Bacillus* spp. no manejo LC beneficiou a absorção dos teores foliares de Ca e Mg (Tabela 3). No entanto, no manejo SSLC ocorreu o contrário, a ausência de *Bacillus* foi que favoreceu uma maior absorção de Ca e Mg nas folhas do grão-de-bico (Tabela 3). Isso decore de condições distintas na disponibilidade de fósforo. Nessa condição, após a adubação fosfatada a planta tinha maior disponibilidade do nutriente e a presença do *Bacillus* spp. teve menor importância e pode ter competido com a planta pela absorção de Ca e Mg devido a adição de material orgânico (lodo compostado). Além disso, a adição de LC mais SS estimula a atividade biológica do solo devido maior disponibilidade de carbono e nutrientes (KALAYU *et al.*, 2019), favorecendo assim o consumo de Ca e Mg desse ambiente pela biota.

As características de produção e produtividade que não apresentaram interação significativa entre os fatores *Bacillus* versus manejo foram descritas no texto de modo individual. O fator *Bacillus* spp. influenciou apenas a clorofila total (CLT) (Figura 3). E as fontes de fósforo influenciaram produtividade (PROD), número de vagens com um grão (NV1), número de vagens com dois grãos (NV2), número de vagem total (NVT), número de sementes por planta (NS), massa seca de grãos (MSG), índice de colheita (IC) e eficiência agrônômica (EA) (Figura 4), teores foliares dos nutrientes P, Ca, Mg e índice de clorofila total (CLT) (Figura 5).

Figura 3 Efeito da inoculação com (CB) e sem (SB) *Bacillus* spp. sob o teor de Clorofila Total nas folhas do grão-de-bico

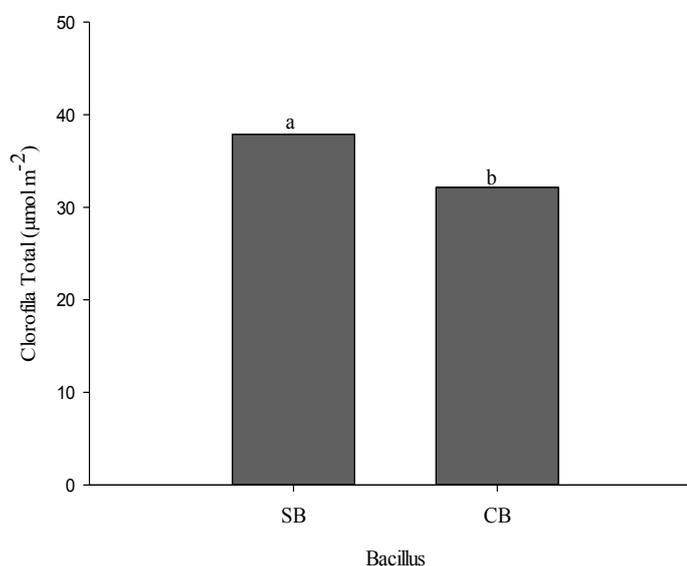


Figura 4 Características da produção do grão-de-bico: número de vagens com um grão (NV1), número de vagens com dois grãos (NV2), número de vagens total (NVT), número de sementes por planta (NS), produtividade (PROD), massa seca de grãos (MSG), índice de colheita (IC) e eficiência agrônômica (EA) após a adubação com fontes de fósforo: sem adubação fosfatada (test.), superfosfato simples (SS), lodo de esgoto compostado (LC), superfosfato simples + lodo de esgoto compostado (SSLC).

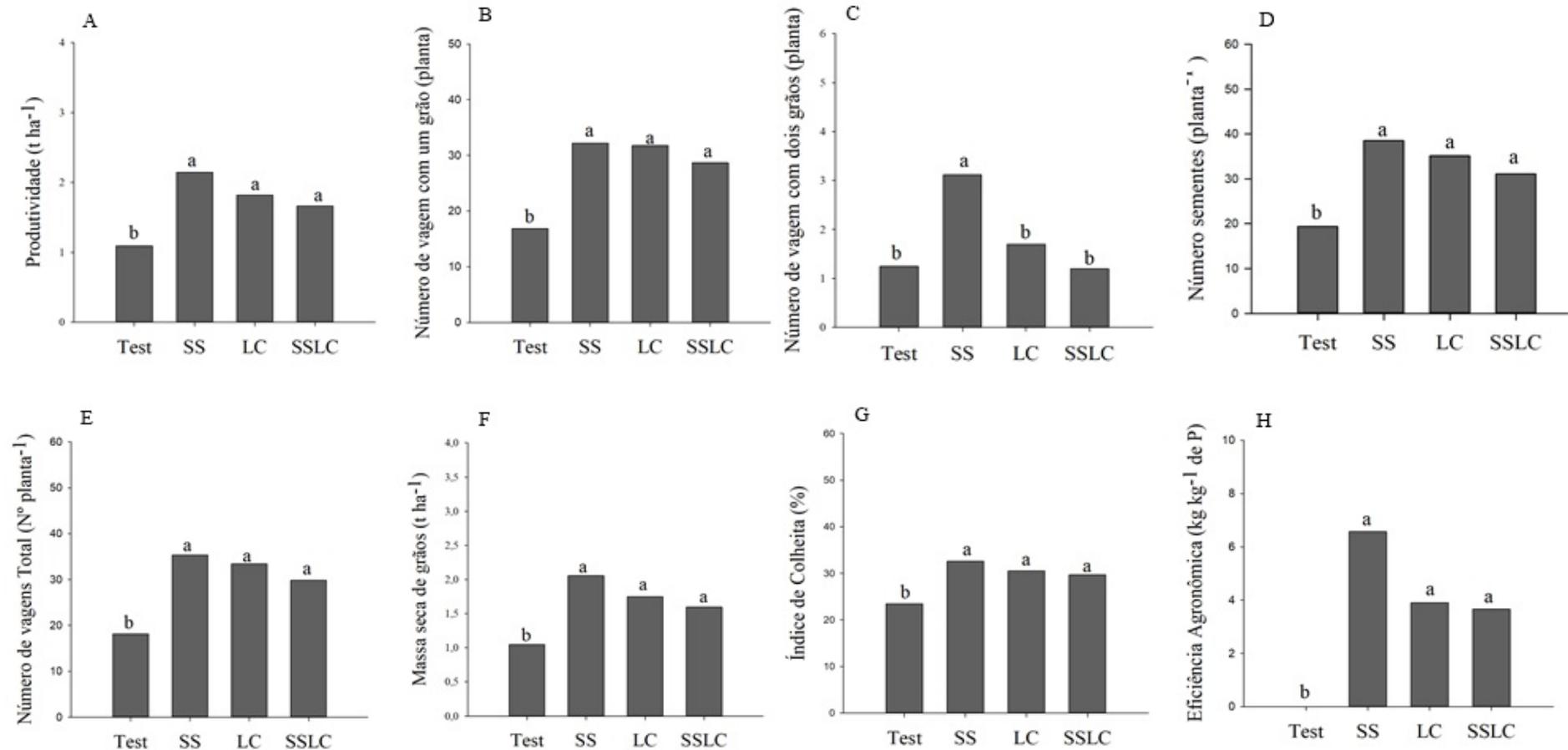
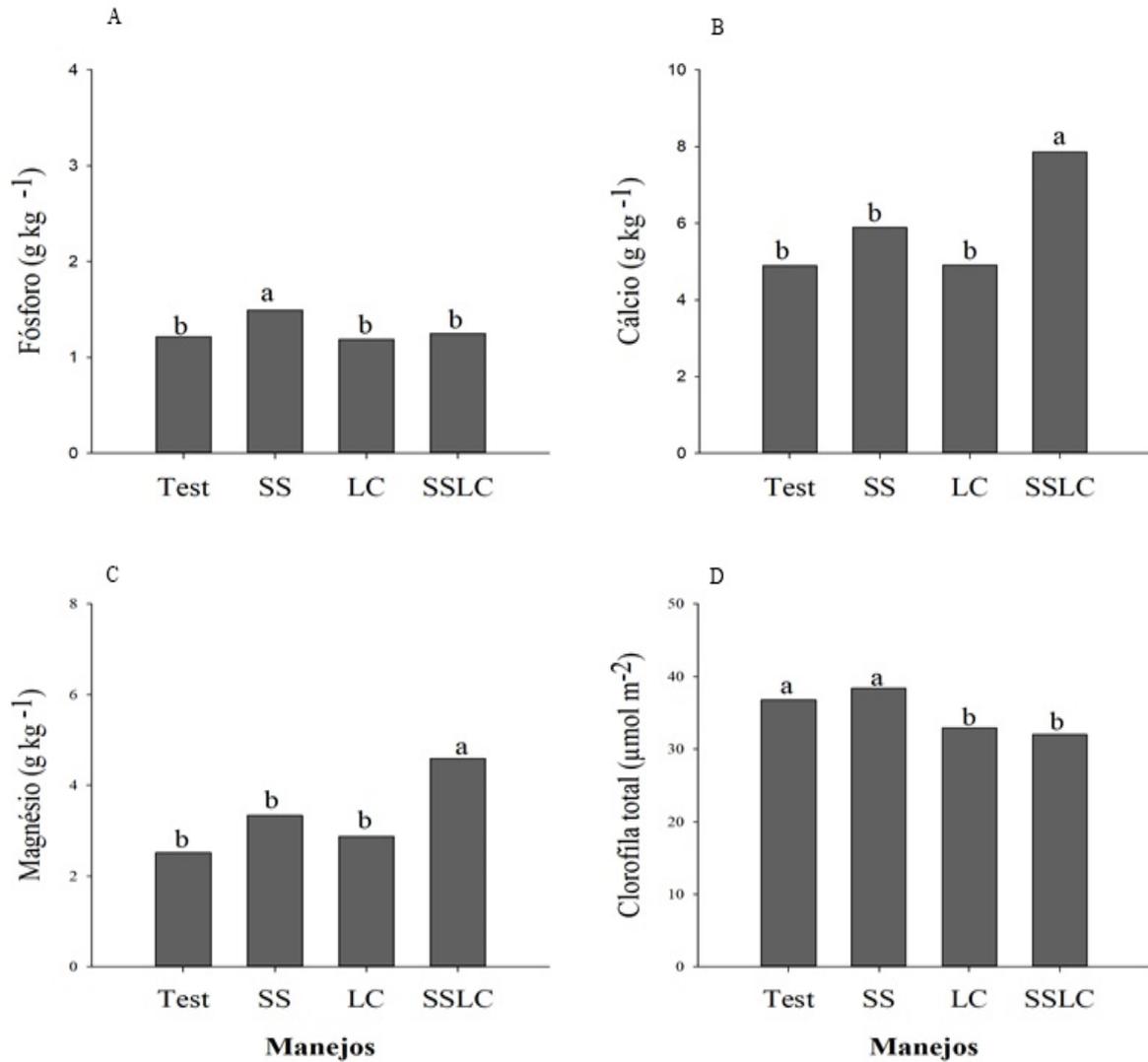


Figura 5 Efeito isolado dos manejos sobre os teores foliares de fósforo, cálcio, magnésio e índice de clorofila total em folhas de grão-de-bico



Nesse cenário, a inoculação com *Bacillus spp.* ocasionou a redução da Clorofila Total (CLT) em cerca de $5,72 \mu\text{mol m}^{-2}$ em relação à ausência de inoculação (Figura 3). No entanto, Lima *et al.* (2019) observaram um aumento no índice de clorofila em plantas de feijão comum não estressadas quando inoculadas com *B. subtilis* spp. De acordo com Almeida Neta *et al.* (2021), essa redução poderia estar associada a alterações fisiológicas na planta resultantes da adição da mistura de bactérias aplicadas às sementes e ao aumento na produção do tratamento. A presença de outras bactérias de vida livre na rizosfera de plantas de grão-de-bico poderia ser a razão pela ausência de efeitos com a inoculação de *Bacillus spp.* no presente estudo para a maioria das características avaliadas.

A adubação com SS, LC e SSLC foram estatisticamente iguais entre si e diferiram da testemunha para as variáveis PROD, NV1, NS, NVT, MSG, IC e EA (Figura 4A; B; D; E; F; G e H, respectivamente). Esses resultados demonstram que a utilização do lodo puro ou associado a adubação mineral garante efeitos estatisticamente iguais quando comparado somente a adubação mineral.

A utilização do LC na agricultura, como forma adequada de descarte de resíduos e fonte de fósforo, pode reduzir os custos financeiros com adubação mineral. Este pode ser utilizado como fonte alternativa de fertilizante orgânico. De acordo com Eid *et al.* (2020), a aplicação de lodo de esgoto como biofertilizante para a espécie *Corchorus olitorius* foi considerada viável por não causar risco ambiental quanto o acúmulo de metais pesados no solo para todas as dosagens aplicadas (0, 10, 20, 30 e 40 g kg⁻¹), não afetando a qualidade dos brotos de *C. olitorius*.

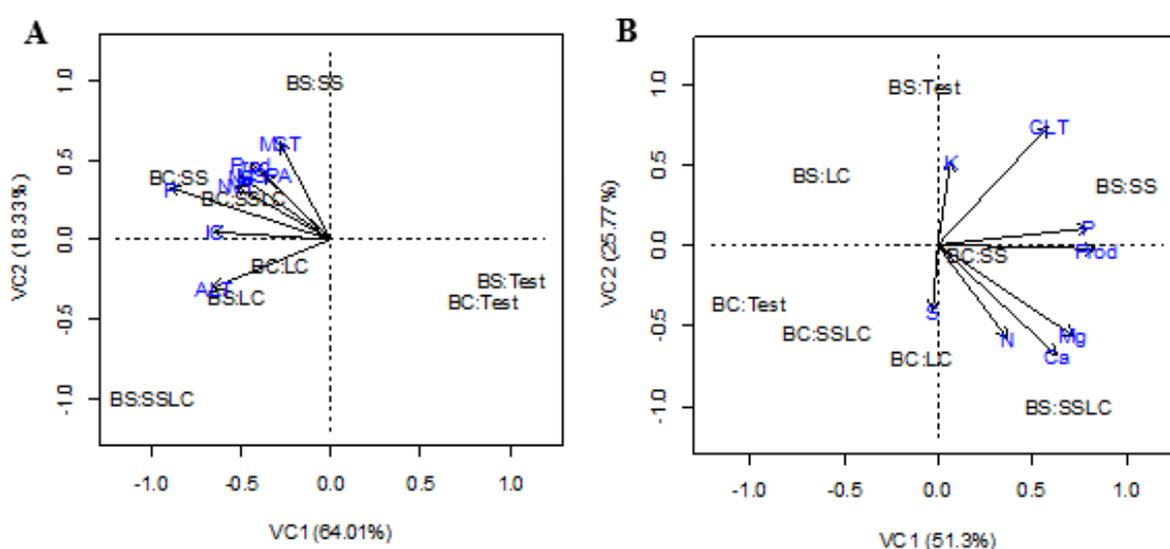
A adubação fosfatada propiciou a produtividade média de 1,87 t ha⁻¹, enquanto na ausência de adubação a produtividade correspondeu a 1,09 t ha⁻¹ (Figura 4). O incremento médio de 41,7% na produtividade dos tratamentos que receberam a adubação fosfata em comparação a testemunha, demonstra a importância desse elemento para o aumento na produção de grão-de-bico (Figura 4A). A baixa produtividade (1,09 t ha⁻¹) obtida para a testemunha está correlacionada à ausência de aplicação de alguma fonte de fósforo, ocorrendo assim redução da taxa fotossintética e posteriormente queda na produtividade. Fonseca *et al.* (2020) observaram um incremento na produtividade de 34% com a adubação fosfatada em relação a testemunha, enquanto Pegoraro *et al.* (2018) com a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de P obtiveram uma produtividade de 2.710 kg ha⁻¹ de grão-de-bico no semiárido mineiro.

Dentre os tratamentos com adubação fosfatada, a utilização de SS favoreceu a produção de número de vagens com dois grãos (NV2) e o teor foliar de P, não interferindo em diferenças na produtividade final entre tratamentos com adubação (Figura 4C e 5A).

Para os teores de P foliar, não houve diferenças nos teores em comparação aos tratamentos com lodo de esgoto (LC e SSLC) e a testemunha (Figura 5A). No entanto, a produtividade para esses tratamentos foi superior ao da testemunha (Figura 4A), indicando uma maior absorção de P nos tratamentos com lodo. De acordo com Kalayu *et al.* (2019) e Satyaprakash *et al.* (2017) a adubação fosfatada equilibrada aumenta a eficiência energética na planta, aumentando o acúmulo de fotoassimilados, amido nos grãos e peso dos grãos, uma vez que o P é importante no processo da fotossíntese, no qual estimula o crescimento de raízes e o rendimento de grãos.

Na análise de variáveis canônicas, a partir do gráfico de dispersão observou-se que de 82,34% da variabilidade total dos dados são explicados pela VC1 e VC2 (Figura 6A). A VC1 representou a maior variabilidade (64,01%), indicando que o aumento da disponibilidade de P no solo após a aplicação dos tratamentos com lodo ou superfosfato simples, na presença ou ausência de *Bacillus spp.* aumentou a capacidade produtiva do grão-de-bico, em especial após a aplicação de BC:SS e BC:SSLC.

Figura 6 Dispersão gráfica da primeira variável canônica (VC1) e à segunda (VC2): **A:** com base na disponibilidade de fósforo no solo (P) após a aplicação dos tratamentos com *Bacillus* e fontes de fósforo (BS: sem *Bacillus*; BC: com *Bacillus*; SS: superfosfato simples e LC: lodo de esgoto compostado) com altura de planta (ALT), número total de vagens (NVT), número de sementes (NS), peso de 100 sementes (P100), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca total (MST), razão da matéria seca entre raízes/parte aérea (RPA) e produtividade (Prod); **B:** com base nas características teor foliar de N, P, K, Ca, Mg e S, índice de clorofila (CLT), produtividade (Prod) e diferentes interações entre tratamentos com *Bacillus* e fontes de fósforo (BS: sem *Bacillus*; BC: com *Bacillus*; SS: superfosfato simples e LC: lodo de esgoto compostado).



Na análise canônica das características nutricionais em relação à produtividade (Figura 6B), observou-se que em torno de 77,07% da variabilidade total dos dados foram explicados por VC1 e VC2, sendo que os valores positivos da VC1 indicam que houve alta correlação do teor foliar de P com a produtividade relacionada ao manejo Superfosfato Simples sem *Bacillus* (BS: SS), seguido pelo índice de clorofila. E o manejo SSLC sem *Bacillus spp.* (BS:SSLC) promoveu maior acúmulo de Mg, Ca e N na folha. No quadrante gráfico relacionado aos valores negativos (VC1), observou-se que a ausência de adubação fosfatada (Test) com *Bacillus* (BC) apresenta alta correlação negativa com a produtividade, enquanto a adição de P por meio dos tratamentos com lodo ou superfosfato simples proporcionou aumento na produtividade do grão-de-bico, demonstrando boa relação entre P e produtividade.

O aumento na capacidade produtiva do grão-de-bico, particularmente após a aplicação de BC:SS e BC:SSLC (Figura 6A) demonstra a eficiência na utilização do manejo SSLC associado ao *Bacillus* assim como o SS. De acordo Kang *et al.* (2019), as bactérias produzem fitohormônios (giberelinas (GAs), citocininas, ácido indol-3-acético (AIA)) que proporcionam um maior crescimento

da planta favorecendo assim a capacidade produtiva das plantas e a aplicação de formas minerais e orgânicas de nutrientes em conjunto equilibram a nutrição de plantas ao longo do tempo (Figura 6B), favorecendo os fatores de produção e a produtividade no grão-de-bico cultivado em regiões com levado potencial produtivo.

CONCLUSÃO

1 - A utilização de lodo de esgoto compostado e a mistura de lodo compostado com superfosfato simples mostraram-se eficientes quanto à adubação mineral com o superfosfato simples, levando em consideração a produtividade do grão-de-bico. Neste caso, ambos podem ser utilizados como uma fonte alternativa, contribuindo para a redução de custos e aplicação de adubos minerais.

2- A aplicação do mix de *Bacillus subtilis* e *B. megaterium* não influenciaram no aumento do teor de fósforo na folha do grão-de-bico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (PRPq - UFMG) e à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (Capes; Código Financeiro 001) pelo apoio financeiro a este projeto de pesquisa e concessão de Bolsas.

REFERÊNCIAS

ABREU, S. A. H. *et al.* Chemical attributes of the soil in agroforestry systems subjected to organic fertilizations. **African Journal of Agricultural Research**, 10:2378-2388, 2016

ABREU-JUNIOR, C. H. *et al.* Sewage sludge application in *Eucalyptus urograndis* plantation: availability of phosphorus in soil and wood production. **Frontiers in Environmental Science** 8, 116, 2020.

ALMEIDA NETA, M. N. *et al.* Inoculation of *Bacillus* spp. and nitrogen levels increase chickpea production. **Ciência e Agrotecnologia**, 45: e015421, 2021.

ALMEIDA NETA, M. N. *et al.* Does inoculation with *Rhizobium tropici* and nitrogen fertilization increase chickpea production? **Ciência e Agrotecnologia**, 44:e016520, 2020.

ALVARES, C. A. *et al.* Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BATTOOL, S. *et al.* Correction to: Zinc-Solubilizing Bacteria-Mediated Enzymatic and Physiological Regulations Confer Zinc Biofortification in Chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. v. 21, p. 2456-2471, 2021.

BRASIL, Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020. **Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e da outras providências**. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). R DOU: 21/08/2020, Seção 1. P.265. Available via DIALOG. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-498-de-19-de-agosto-de-2020-273467970> (2020) Accessed 12 Jun 2022

COSTA, V. L. *et al.* Spatial distribution of phosphorus in an Oxisol amended with sewage sludge and mineral fertilization. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 287-293, 2014.

EID, E. M. *et al.* Sewage sludge application enhances the growth of *Corchorus olitorius* plants provides a sustainable practice for nutrient recirculation in Agricultural soils. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 149-159, 2020.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Available via DIALOG. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. 2022, Accessed 23 May 2022

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 109-112, 2014.

FONSECA, J. H. S. *et al.* Chickpea production in response to fertilization with zinc and doses of phosphorus. **Comunicata Scientiae**, 11:E3106, 2020.

GONÇALVES, P. W. B. *et al.* Carbon and nitrogen mineralization and macronutrient recovery in soils amended with sewage sludge. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 14, n. 2551, p. 1-11, 2021.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados meteorológicos de estações automáticas**. 2021. Available via DIALOG <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A506>. Accessed 10 May 2023

ISRAR, D. *et al.* Interactive effects of phosphorus and *Pseudomonas putida* on chickpea (*Cicer arietinum* L.) growth, nutrient uptake, antioxidant enzymes and organic acids exudation. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 108, p. 304-312, 2016.

KALAYU, G. Phosphate solubilizing microorganisms: Promising Approach as Biofertilizers. **International Journal of Agronomy**, v. 2019, p. 1-7, 2019.

KANG, S. *et al.* Integrated phytohormone production by the plant growth-promoting rhizobacterium *Bacillus tequilensis* SSB07 induced thernotolerance in soybean. **Journal of Plant Interactions**, v. 14, p. 416-423, 2019.

KOMINKO H, GORAZDA K, WZOREK Z. Potentiality of sewage sludge-based organo-mineral fertilizer production in poland considering nutriente value, heavy metal contente and phytotoxicity for rapeseed crops. **J Environ Manag** 248:109283, 2019.

KUMAR, A.; KUMAR, A.; PATEL, H. Role of microbes in phosphorus availability and acquisition by plants. **International Journal of Current Microbiology and Appled Scienses**, v. 7, p. 1344-1347, 2018.

LIMA, B. C. *et al.* *Bacillus subtilis* ameliorates water stress tolerance in maize and common bean. **Journal of Plant Interactions**, v. 14, p. 432-439, 2019.

LUSIBA, S.; ODHIAMBO, J.; OGOLA, J. Growth, yield and water use efficiency of chickpea (*Cicer arietinum*): response to biochar and phosphorus fertilizer application. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 64, n. 6, p. 819-833, 2018.

MELETA, T.; ABERA, G. Effects of rhizobium inoculation and phosphorus fertilizer rates on growth, yield, and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) at Goro, Bale zone, Oromia regional state. **International Journal of Applied Agricultural Sciences**, v. 5, p. 62-70, 2019.

NASCIMENTO, A. L. *et al.* Heavy metal contents in soil and in sunflower fertilized with sewage sludge. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 294-300, 2014.

NASCIMENTO, W. M. *et al.* **Grão-de-bico. Hortaliças Leguminosas**. Brasília, DF. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa, p. 89-118, 2016. Available via DIALOG. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/212752/1/HORTALICAS-LEGUMINOSAS.pdf>
Accessed 09 Oct 2021

PEGORARO, R. F, *et al.* Chickpea production and soil Chemical atributes after phosphorus and molybdenum fertilization. **Ciência Agrotecnologia**, v. 42, n. 5, p. 474-483, 2018.

PEREIRA, F. F. *et al.* Características agronômicas do algodão submetido a época e doses de aplicação de fósforo no cerrado piauiense. **Revista Cultura Agronômica**, v. 29, p. 11-21, 2020.

RAWAT, P. *et al.* Phosphate-Solubilizing Microorganisms: Mechanism and Their Role in Phosphate Solubilization and Uptake. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, p. 49-68, 2020.

SAMREEN, S.; KAUSAR, S. Phosphorus Fertilizer: The original and commercial sources. In: T Zhang (ed), Phosphorus-recovery and Recycling, **Intech Open Journals**, London, UK p.81-94, 2019.

SANTOS, H. G, *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa, Brasília, Brasil, 2018.

SATYAPRAKASH, M. *et al.* Phosphorous and phosphate solubilising bacteria and their role in plant nutrition. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 4, p. 2133-2144, 2017.

SHARMA, S.; DHALIWAL, S. S. Effect of sewage sludge and rice straw compost on yield, micronutrient availability and soil quality under rice–wheat system. **Communications In Soil Science and Plant Analysis**, v. 50, n. 16, p. 1943-1954, 2019.

SILVA, W. R. *et al.* Effects of Sewage Sludge Stabilization processes on Soil Fertility, Mineral Composition, and Grain Yield of Maize in Successive Cropping. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, p. 1076-1088, 2021.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 1995.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, n. 1, p. 29–38, 1934

WOLDE-MESKEL, E. *et al.* Additive yield response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to *rhizobium* inoculation and phosphorus fertilizer across smallholder farms in Ethiopia. **Agriculture, Ecosystems e Environment**, v. 261, p. 144-152, 2018.

YU, B. *et al.* Species fractions, and characterization of phosphorus in sewage sludge: A critical review from the perspective of recovery. **Science of The Total Environment**, v. 786, 147437, 2021.

ZUO, W. *et al.* Sewage sludge amendment improved soil properties and sweet sorghum yield and quality in a newly reclaimed mudflat land. **Science of The Total Environment**, v. 654, p. 541-549, 2019.

5.2 Artigo 2 – Inoculação com *Bacillus spp.* e adubação com biossólido na produção e acúmulo de nutrientes em grão-de-bico

Inoculation with *Bacillus* and fertilization with biosolids on the production and accumulation of nutrients in chickpeas

Este artigo foi elaborado conforme normas da Revista Ciência Agronômica

Inoculação com *Bacillus* spp. e adubação com biossólido na produção e acúmulo de nutrientes em grão-de-bico

RESUMO

O uso de tecnologias como a inoculação com bactérias solubilizadoras de fosfato bem como a associação com fontes orgânicas de fósforo buscam um melhor desempenho produtivo do grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) que é uma cultura de grande importância econômica. O objetivo foi avaliar a inoculação com mix de *Bacillus* spp. e diferentes fontes fosfatadas no crescimento, produtividade e acúmulo de nutrientes no grão-de-bico. O experimento foi realizado em campo, com delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições em esquema fatorial 2x4, sendo presença ou ausência de mix de *Bacillus subtilis* sp e *B. megaterim* sp. e quatro manejos: ausência de adubação fosfatada (Test); adubação mineral com 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples (SS); adubação orgânica com 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de lodo de esgoto (LC) e adubação mineral e orgânica na proporção de 50:50% de P₂O₅ (SSLC). Avaliou-se a fertilidade do solo e os teores foliares de nutrientes na época de florescimento, e ao final do ciclo os componentes de produção relacionados à massa de matéria seca, índice de colheita, produtividade e acúmulo de nutrientes da área de cultivo via sementes. Os tratamentos LC, SSLC e SS favoreceram acréscimo do teor P no solo, no entanto, não ocasionaram diferença significativa na produtividade do grão-de-bico. O mix de bactérias influenciou na produtividade em torno de 13,47%. Não houve diferença significativa quanto ao acúmulo de nutrientes nos grãos. O LC e SSLC podem ser utilizados como fontes alternativas de fósforo.

Palavras-chave: Lodo de esgoto; Bactérias solubilizadoras de fosfato; *Cicer arietinum* L. Adubação orgânica.

Inoculation with *Bacillus* spp. and fertilization with biosolids in the production and accumulation of nutrients in chickpeas

ABSTRACT

The use of technologies such as inoculation with phosphate-solubilizing bacteria, as well as the association with organic sources of phosphorus, aims to enhance the productive performance of chickpeas (*Cicer arietinum* L.), which is a crop of significant economic importance. The objective was to assess the inoculation with a mix of *Bacillus* spp. and different phosphate sources on chickpea growth, productivity, and nutrient accumulation. The experiment was conducted in the field with a randomized block design, four replications in a 2x4 factorial scheme, considering the presence or absence of the mix of *Bacillus subtilis* sp and *B. megaterium* sp., and four treatments: no phosphate fertilization (Test); mineral fertilization with 150 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in the form of single superphosphate (SS); organic fertilization with 150 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in the form of sewage sludge (LC); and mineral and organic fertilization in a 50:50% ratio of P₂O₅ (SSLC). Soil fertility and leaf nutrient levels were evaluated at the flowering stage, and at the end of the cycle, production components related to dry matter mass, harvest index, productivity, and nutrient accumulation in the cultivation area through seeds were assessed. LC, SSLC, and SS treatments increased phosphorus content in the soil, although they did not lead to a significant difference in chickpea productivity. The bacterial mix influenced productivity by approximately 13,47%. There was no significant difference in nutrient accumulation in the grains. LC and SSLC can be used as alternative phosphorus sources.

Keywords: Sewage sludge; Phosphate-solubilizing bacteria; *Cicer arietinum* L. Organic fertilization.

INTRODUÇÃO

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) é uma leguminosa com potencial alimentício devido ao seu elevado valor nutritivo, sendo rico em aminoácidos essenciais, ácidos graxos insaturados, carboidratos e alto teor proteico (JUKANTI *et al.*, 2012). Cerca de 70% da produção mundial do grão-de-bico é oriunda da Índia, sendo também o maior consumidor do grão (ICRISAT, 2017). O seu baixo custo de produção, alto valor nutritivo e boa adaptabilidade à diversas condições climáticas têm aumentado a sua popularidade. No Brasil, o seu cultivo e consumo ainda é considerado baixo.

As condições climáticas aliadas a cultivares adaptadas as condições brasileiras têm permitido a instalação de lavouras no Brasil com produtividades superiores aos grandes centros produtores como a Índia. No norte de Minas Gerais, em condições irrigadas Almeida Neta *et al.*, (2021) obtiveram produtividade acima de 3.000 kg ha⁻¹, superior à média mundial de 975 kg ha⁻¹.

A obtenção de elevada produtividade de grãos em solos tropicais intemperizados é dependente, entre outros fatores, da disponibilização de nutrientes do solo e da adubação equilibrada com macro e micronutrientes para as plantas. Dentre os principais macronutrientes, o fósforo (P) apresenta complexa dinâmica nesses solos, além de funções específicas nas plantas, relacionadas a estruturação de fósfolipídeos, ácidos nucleicos e inúmeros processos biológicos como a fotossíntese e a respiração (BHADOURIA *et al.*, 2022).

Solos brasileiros em sua grande maioria possuem baixa disponibilidade natural de P para as plantas e, elevado potencial de adsorção covalente aos argilominerais oxidicos (FONSECA *et al.*, 2020; LUSIBA *et al.*, 2017). Por isso, é necessário à sua complementação com adubação mineral ou orgânica. A adubação mineral fosfatada é proveniente de rochas fosfáticas estimadas como fontes não renováveis, escassas (SAMREEN and KAUSAR, 2019) e com elevado custo financeiro para aquisição.

Frente à aquisição convencional de fertilizantes fosfatados de rocha, a utilização de fontes residuais provenientes da atividade humana, como compostos de lodo de esgoto podem apresentar menor custo financeiro e potencial para suprir parte da demanda nutricional de plantas cultivadas. O lodo de esgoto (LE), oriundo de estações de tratamento apresenta na sua composição química teores consideráveis de fósforo, além de outros nutrientes, como N (GONÇALVES *et al.*, 2021), K, Cu, Fe, Mn e Zn (LOBO *et al.*, 2013) e matéria orgânica, que promovem melhorias nas condições físicas, químicas e biológicas do solo (ZUO *et al.*, 2019), favorecendo o desenvolvimento das plantas.

Nesse sentido, o uso de fontes alterativas de fósforo com constituintes orgânicos, como o lodo de esgoto pode estimular a atividade biológica de organismos solubilizadores de nutrientes, e contribuir para a absorção de nutrientes e produção de grão-de-bico. Em solos tropicais, aproximadamente 70% do P aplicado por meio de fertilizantes minerais ou orgânicos permanecem retidos no solo em formas pouco disponíveis para as plantas (PAVINATO *et al.*, 2020). Sendo necessário o uso de tecnologias que aumentem a solubilização do P, com a inoculação ou estímulo ao desenvolvimento de bactérias solubilizadoras (BSF).

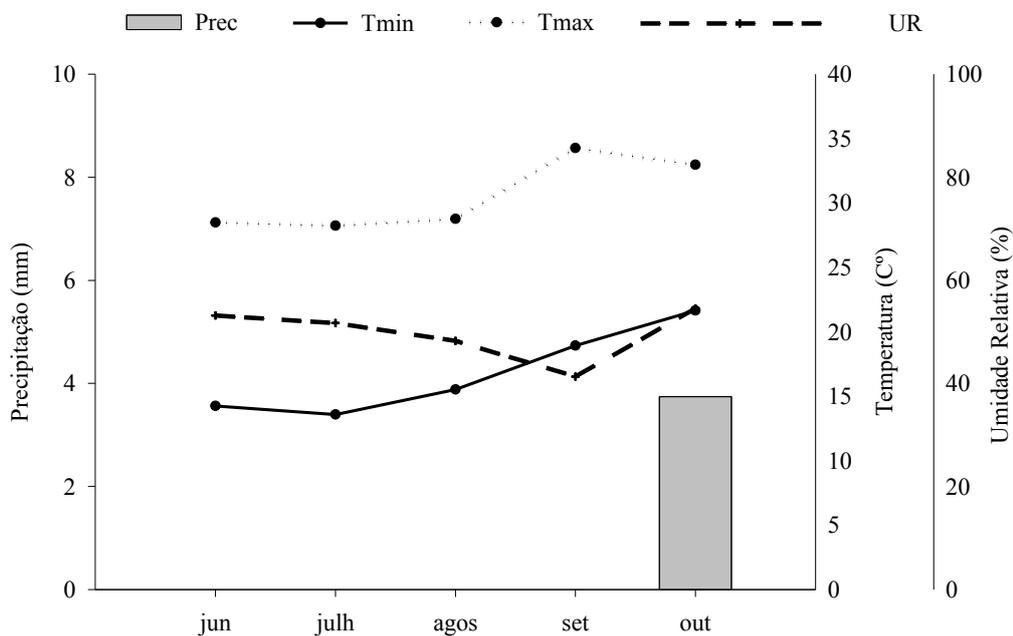
A utilização de bactérias solubilizadoras em associação ao lodo de esgoto como fonte alternativa de fósforo na adubação podem promover efeitos benéficos na nutrição, desempenho

vegetativo e produtivo do grão-de-bico. Com isso, o objetivo do estudo foi avaliar a inoculação com o mix de *Bacillus* spp e as diferentes fontes fosfatadas no crescimento, produtividade e exportação de nutrientes no grão-de-bico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em campo em uma área do Instituto de Ciências Agrárias (ICA) da Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil no período de junho a outubro de 2022. A região no qual o experimento foi conduzido possui clima considerado como Aw, megatérmico sendo o inverno seco e verão chuvoso (ALVARES *et al.*, 2013). Na Figura 1 são apresentadas as condições climáticas durante a realização do estudo.

Figura 1 Precipitação, umidade relativa e temperatura máxima e mínima durante o período de condução do experimento com grão-de-bico no ano de 2022, de acordo informações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023).



O solo foi classificado como Cambissolo Háplico de textura média (Santos *et al.*, 2018). As propriedades físicas e químicas do solo são descritas na Tabela 1.

O lodo de esgoto (LE) proveniente da estação de tratamento de esgoto (ETE -Vieira) da cidade de Montes Claros -MG, já havia sido tratado termicamente a 350° C por 30 minutos na própria

ETE. No LE foi cultivado *Pennisetum purpureum* Schum e *Urochloa brizantha* cv. Marandu, no qual posteriormente esses materiais vegetais foram triturados e adicionados ao LE seco e realizado o processo de compostagem pelo período de 2 meses. Ao final da compostagem foi coletado amostras para a determinação das características químicas do lodo de esgoto compostado (LC) apresentadas na Tabela 1. Dados de acordo com Cardoso *et al.*, (2021).

Tabela 1. Características químicas do solo e do lodo de esgoto compostado usado no experimento.

Material	Atributos	Resultado	Atributos	Resultado
Solo	pH (H ₂ O)	5,8	t (cmol _c dm ⁻³)	9,4
	P (mg dm ⁻³)	33,4	m (%)	0
	P rem (mg L ⁻¹)	33,3	T (cmol _c dm ⁻³)	10,23
	K (mg dm ⁻³)	446,1	V (%)	91,93
	Ca (cmol _c dm ⁻³)	6,86	CO (dag kg ⁻¹)	1,36
	Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,4	areia (dag kg ⁻¹)	30
	Al (cmol _c dm ⁻³)	0	silte (dag kg ⁻¹)	42
	H+Al (cmol _c dm ⁻³)	0,83	argila (dag kg ⁻¹)	28
	SB (cmol _c dm ⁻³)	9,4		
Lodo Compostado	pH H ₂ O	6,03	Mg (g kg ⁻¹)	1,6
	CO (g kg ⁻¹)	322,81	Na (mg kg ⁻¹)	618
	Total N (g kg ⁻¹)	32,24	Fe (mg kg ⁻¹)	3075
	C/N	10,01	Zn (mg kg ⁻¹)	283
	CEC (mmol _c kg ⁻¹)	916,01	Mn (mg kg ⁻¹)	120
	MO (g kg ⁻¹)	572,3	Ni (mg kg ⁻¹)	23
	P (g kg ⁻¹)	7,8	Pb (mg kg ⁻¹)	31
	K (g kg ⁻¹)	4	Cu (mg kg ⁻¹)	112
	Ca (g kg ⁻¹)	10,3		

Note: P - fósforo disponível (Mehlich⁻¹); P rem – fósforo remanescente; K – potássio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; (H+Al) – acidez potencial; SB- soma de bases; t – capacidade de troca efetiva; m – saturação por alumínio; T – capacidade de troca de cátions a pH 7; V – saturação de bases; CO – carbono orgânico; Total N – nitrogênio total; C/N – relação carbono/nitrogênio; CEC – capacidade de troca de cátions; MO - matéria orgânica; K- potassium; Fe – ferro; Na – sódio; Zn – zinco; Mn – manganês; Ni – níquel, Pb –chumbo; Cu - cobre.

O resultado da análise dos teores de metais pesados no LC demonstrou que os teores de metais pesados estavam abaixo do limite aceitável em biossólidos, para a utilização deste tipo de material em solos agrícolas segundo a resolução do CONAMA 498 (Conselho Nacional do Meio Ambiente) (Brasil 2020).

O experimento foi conduzido em condições de campo no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 2 x 4. Os tratamentos corresponderam a: o primeiro fator constituiu da presença ou ausência da inoculação de mix de *Bacillus subtilis* sp e *B. megaterium* sp., na população estimada de 4 x 10⁹ células viáveis /ml. O segundo fator correspondeu

a diferentes fontes orgânicas e minerais de fósforo: ausência de adubação (Test); adubação mineral com superfosfato simples, correspondendo à 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 (SS); adubação orgânica com lodo de esgoto compostado, correspondendo à 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 (LC) e a adubação mista, sendo superfosfato simples mais o lodo de esgoto compostado na dose de $75 (50\%)$ e $75 (50\%) \text{ kg}^{-1}$ de P_2O_5 respectivamente (SSLC).

O preparo do solo constou de aração e gradagem cerca de vinte dias antes da semeadura. No qual foram demarcadas as parcelas com dimensões de $2 \times 1 \text{ m}$, constituídas de quatro linhas de cultivo espaçadas entre linhas e plantas $0,50 \times 0,10 \text{ m}$ respectivamente. Sendo consideradas para as avaliações 10 plantas situadas na área útil das duas linhas centrais. Foi utilizado a cultivar BRS 'Aleppo', com adaptabilidade ao semiárido mineiro e possui crescimento semiereto e grãos do tipo Kabuli. A semeadura ocorreu em sulco de plantio e com 15 dias após emergência (DAE) foi realizado o desbaste a fim de obter 10 plantas por metro linear, totalizando 20.000 plantas por hectare.

Foi realizada a adubação de base em todas as parcelas com 20 kg ha^{-1} de N e K_2O na forma de ureia e cloreto de potássio respectivamente. Em relação os tratamentos com adubação fosfatada foram adicionados na semeadura 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato simples (18% de P_2O_5) ou lodo compostado, conforme cada tratamento. A recomendação do estudo em relação ao fósforo, foi de acordo com Pegoraro *et al.*, (2018), no qual foi levado em consideração o teor total de P (Tabela 1) presente no lodo compostado para a determinação da dose de fósforo fornecida, no qual foi aplicado $8.392,31 \text{ kg ha}^{-1}$ de lodo compostado na recomendação de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

A adubação de cobertura ocorreu aos 15 e 30 DAE com aplicação 50 e 30 kg ha^{-1} de N na forma de ureia, respectivamente. Aos 23 DAE foi aplicado 80 g ha^{-1} de molibdênio via foliar na forma de Molibdato de amônio. As recomendações utilizadas neste estudo foram de acordo os resultados científicos descritos por Almeida Neta *et al.*, (2020) e Pegoraro *et al.*, (2018).

Os tratamentos fitossanitários e a irrigação foram efetuados conforme as necessidades e as recomendações para a cultura na região (NASCIMENTO *et al.*, 2016). O sistema de irrigação empregado na área foi microaspersão, com o turno de rega de quatro dias, sendo o controle de plantas daninhas efetuado de forma manual com a enxada.

Características avaliadas

Na época do florescimento (74 DAE) foram realizadas leituras da clorofila a e b por meio do aparelho SPAD-502, sendo as leituras feitas em seis folhas localizadas no terço superior das plantas da área útil de cada parcela. Na mesma data também foram coletadas material vegetal do terço superior (quarta folha a partir do ramo apical) encaminhados para o laboratório onde foram secas em estufa de circulação forçada de ar a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ e em seguida foram moídas para a determinação de carbono e dos teores de N de acordo com o método Kjeldahl, e para a determinação de P, K, Ca, Mg e S por digestão nítrico-perclórica (TEDESCO *et al.*, 1995). Também foi realizado a coleta de amostras de solo da linha e entrelinha de plantio, sendo coletadas quatro amostras simples para

compor uma composta por parcela, na profundidade de 0,0-20 cm para análise dos atributos químicos do solo, conforme Embrapa (1997).

Aos 104 DAE efetuou-se a colheita de 10 plantas da área útil de cada parcela para avaliação das características: altura da planta (ALT); massa seca de raiz (MSR), massa seca de folhas (MSF), massa seca de vagens (MSV), massa seca de ramos (MSRA), massa seca de grãos (MSG), massa seca de caule (MSC), massa seca de palhada (MSPAL), estimado pelo somatório de MSF, MSRA e MSV; massa seca da parte aérea (MSPA), estimada a partir do somatório de MSF, MSV, MSRA, MSC e MSG; massa seca total (MST), número de vagens com um grão (NV1), número de vagens com dois grãos (NV2), número de sementes total (NST), peso total de sementes (PST), peso de 100 sementes (P100), índice de colheita (IC) e produtividade (PROD).

As sementes foram moídas para as realizações das análises químicas das sementes do grão-de-bico referente aos macronutrientes. O N de acordo com o método Kjeldahl, e P, K, Ca, Mg e S por digestão nítrico-perclórica e carbono (TEDESCO *et al.*, 1995).

A partir dos teores das sementes foram calculados os conteúdos dos nutrientes desses componentes por meio da multiplicação dos teores pelos respectivos valores médios da massa seca de cada componente. Além disso, foi calculada a estimativa de exportação de nutrientes pelas sementes.

Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (Anova) e posteriormente, as médias foram comparadas pelo teste de agrupamento Scott-Knott a significância ($p \leq 0,05$). Sendo a análise estatística realizada pelo software estatístico Sisvar 5.3 (FERREIRA, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características químicas do solo

A adubação com fontes de fósforo e a inoculação de sementes com mix de *Bacillus* spp. influenciaram, de modo isolado, os atributos químicos solo ($p < 0,05$) da linha e entrelinha de semeadura do grão-de-bico. Houve influência das fontes de fósforo ($p \leq 0,05$) nos atributos fósforo (P), soma de bases (SB), capacidade efetiva de troca de cátions (t) e capacidade de troca de cátions a pH 7 (T), da linha (Figura 2), e no pH, na acidez potencial (H+Al), e saturação por bases (V) da entrelinha de cultivo (Figura 3), e da inoculação com o *Bacillus* spp. ($p \leq 0,05$) nos teores de carbono orgânico do solo (C.org) da entrelinha de cultivo ($p \leq 0,05$) (Figura 4).

Os atributos químicos do solo que não foram influenciados pelos tratamentos estão descritos na Tabela 2. Obteve-se médias de pH igual a 7,6; 7,4; 7,5 e 7,4 da linha e de 7,8; 7,5; 7,6 e 7,7 da

entrelinha, respectivamente para Test, SS, LC e SSLC. Quanto à classificação agrônômica o pH do solo foi considerado como muito alto (>7,0).

Tabela 2. Atributos químicos do solo (K, Ca, Mg, P rem) da linha e entrelinha de semeadura do grão-de-bico inoculado com mix de *Bacillus* spp. e adubados com fontes de fósforo (sem fontes de fósforo-Test, superfosfato simples-SS, lodo de esgoto compostado-LC e superfosfato simples + lodo compostado, na proporção 1:1-SSLC).

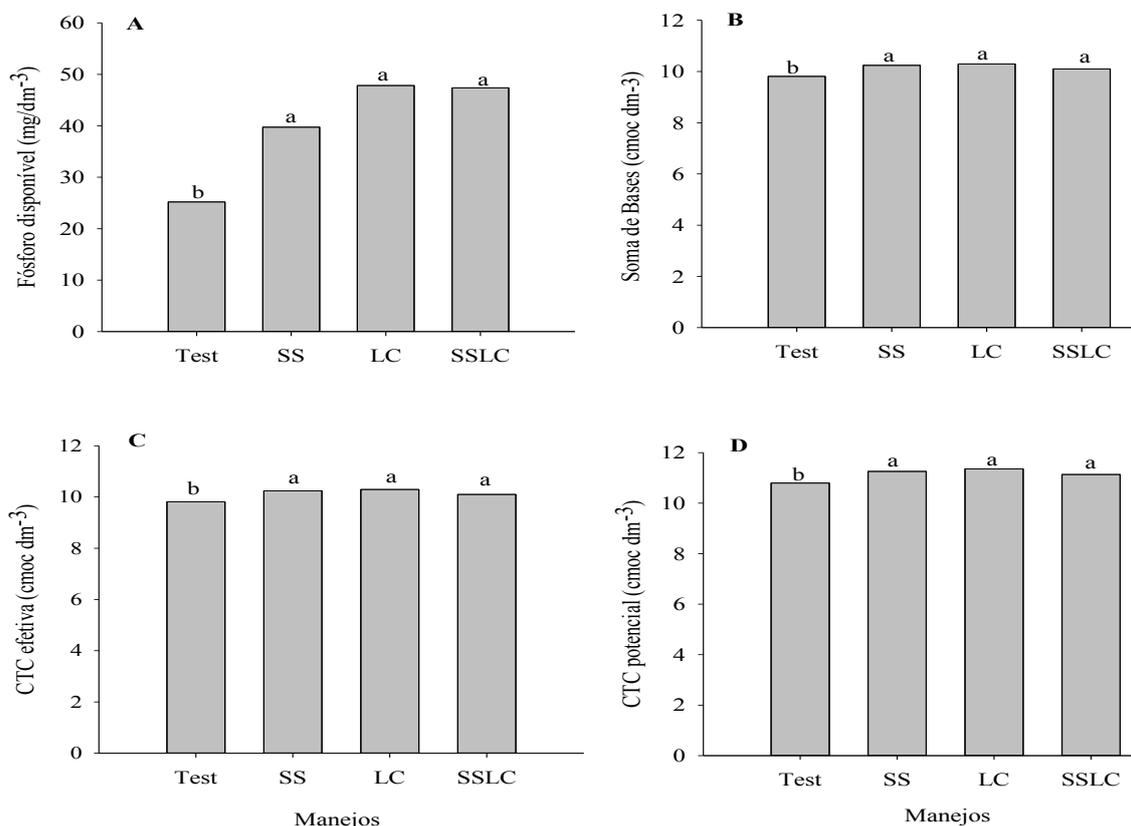
Nutrientes		<i>Bacillus</i> spp	Manejos				p-valor
			Test	SS	LC	SSLC	
K (mg dm ⁻³)	Linha	Sem	340,4	319,7	356,5	326,6	0,21 ^{ns}
		Com	326,6	326,6	303,6	324,3	
	Entrelinha	Sem	275,8	284,6	332	284,6	0,77 ^{ns}
		Com	290,3	316,2	276	296,1	
Ca (cmol _c dm ⁻³)	Linha	Sem	7,4	7,9	7,7	7,7	0,58 ^{ns}
		Com	7,6	7,9	7,8	7,7	
	Entrelinha	Sem	7,0	6,8	6,6	7,1	0,94 ^{ns}
		Com	7,2	6,9	6,5	6,7	
Mg (cmol _c dm ⁻³)	Linha	Sem	1,5	1,4	1,7	1,4	0,71 ^{ns}
		Com	1,2	1,5	1,5	1,5	
	Entrelinha	Sem	1,4	1,5	1,7	1,5	0,42 ^{ns}
		Com	1,5	1,3	1,6	1,5	
P rem (mg L ⁻¹)	Linha	Sem	26,1	27,7	26,8	27,4	0,40 ^{ns}
		Com	26,6	27,8	27,2	27,9	
	Entrelinha	Sem	27	26,5	27,4	27,1	0,24 ^{ns}
		Com	26,6	26,5	26,1	26,8	

K - potássio (método Mehlich-1 e fotometria de chama); Ca - cálcio e Mg – magnésio trocáveis (método KCl 1 mol/L e titulação com EDTA); e Prem – fósforo remanescente (método do P em solução de equilíbrio e colorimetria). ^{ns}: não significativo a 5 % pelo teste F da análise de variância.

As fontes de fósforo (manejo) aplicadas interferiram de forma isolada nas características químicas do solo cultivado com grão-de-bico, tanto na linha quanto na entrelinha de plantio ($p < 0,05$). Na linha, houve influência para teor de P, SB, t, T (Figura 2).

Os tratamentos LC, SSLC e SS apresentaram maiores teores de P disponível na linha de cultivo, com incrementos, respectivos de 47,3%; 46,8% e 36,5% em comparação ao tratamento sem adubação-testemunha (Figura 2A). A adubação com SS, LC e SSLC como fonte de fósforo também aumentou a SB, t e T do solo em comparação ao manejo sem adubação (Figura 2B, 2C, 2D). Com isso obteve-se teores estatisticamente iguais de P nos solos adubados com lodo (LC) e superfosfato simples (SS) (Figura 2A), indicando o LC como fonte adequada para manutenção da disponibilidade de P do solo para as plantas. Costa *et al.*, (2014) também observaram aumento no teor de P, Mg, K, Mn, Fe, CTC e matéria orgânica do solo após a aplicado lodo de esgoto.

Figura 2 Efeito isolado dos diferentes manejos sobre as características químicas do solo da linha de cultivo: fósforo disponível (A), soma de bases (B), capacidade efetiva de troca de cátions (C) e capacidade potencial de troca de cátions (D) no cultivo do grão-de-bico cultivar Aleppo. * Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem pelo teste de agrupamento Scott-Knott a 5% de probabilidade.

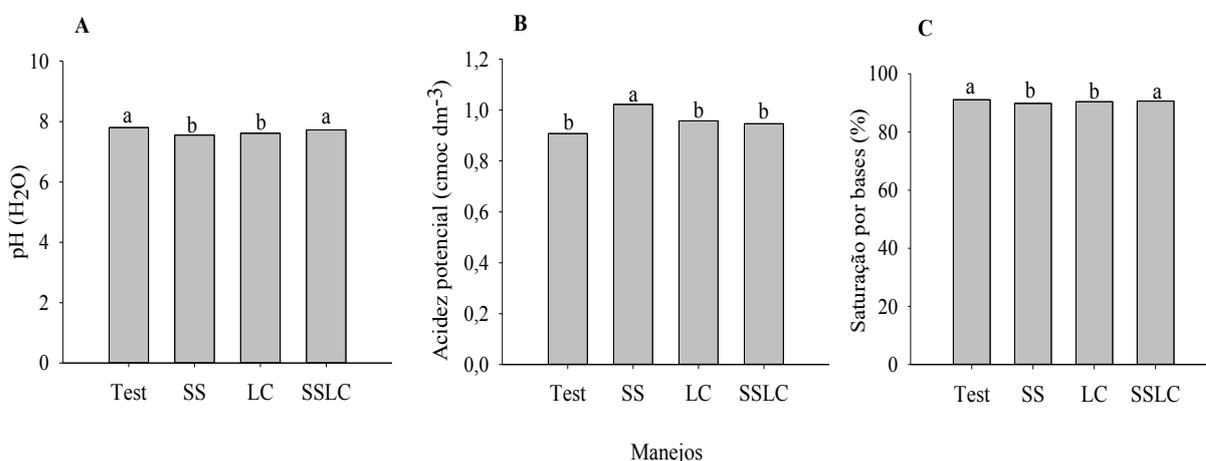


A adubação com SS, LC e SSLC aumentou em 4% a SB do solo da linha de cultivo, em comparação ao tratamento sem adubação fosfatada (Figura 2B), favorecendo consequentemente o acréscimo da CTC efetiva (t) e potencial do solo (T) (Figura 2C e 2D). Os incrementos médios de T no solo corresponderam a 4,9; 4,4 e 3,1% respectivamente para LC, SS e SSLC (Figura 2D). De acordo com Costa *et al.* (2014), a presença de compostos orgânicos provenientes do lodo intensifica o processo microbiano de decomposição da matéria orgânica após a sua adubação, contribuindo para maior disponibilização de bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}), incrementando a SB do solo.

Rodrigues *et al.*, (2023) em seus estudos com fertilizantes organominerais de lodo de esgoto nas formas pó, granulado e peletizado obtiveram taxas de disponibilização de P de 70% e 100% para solos arenosos e de textura franco argiloso arenoso, respectivamente, após a aplicação do fertilizante na forma pó, o que indica o seu elevado potencial como fonte de fósforo para as plantas cultivadas. Maior disponibilização de P no Latossolo Vermelho degradado após a aplicação de lodo de esgoto também foi observada por Bonini *et al.*, (2015).

Na entrelinha de plantio, os atributos químicos influenciados pelos manejos foram: o pH, H+Al e V (Figura 3). Houve aumento do pH do solo entorno de 0,2 e 0,3 unidades para SSLC e testemunha, respectivamente, em comparação ao tratamento SS (Figura 3A). Essa redução do pH apresentada na entrelinha de plantio nos tratamentos SS e LC pode ser associada a processos que ocorrem no solo, como por exemplo, a oxidação do enxofre presente na composição do SS e do LC e ainda da decomposição da matéria orgânica do lodo pelos microrganismos que resulta na produção de íons H⁺ acidificando assim o solo. Segundo Kumar *et al.*, (2018) BSF produzem ácidos orgânicos que causam redução do meio, no entanto no presente estudo não foi observado essa redução em função do mix de *Bacillus* spp. Os autores Gorai *et al.*, (2021) relataram em seus estudos a redução significativa do pH à medida que se elevou a concentração do P solúvel por meio da solubilização do fosfato de uma nova cepa endofítica (*B. siamensis* CNE6) que eles isolaram da rizosfera do grão-de-bico.

Figura 3 Atributos químicos do solo da entrelinha de cultivo: pH (H₂O), acidez potencial (t) e saturação por bases (V) influenciados pelas fontes de fósforo (manejo) nos diferentes tratamentos: sem adubação fosfatada (Test), adubação com superfosfato simples (SS), adubação com lodo compostado (LC) e adubação superfosfato simples + lodo compostado na proporção 1:1. Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem pelo teste de agrupamento Scott-Knott a 5% de probabilidade.

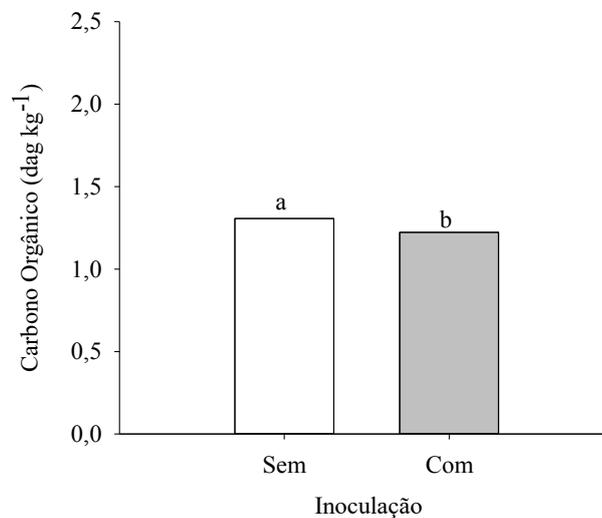


A aplicação de SS aumentou a acidez potencial do solo, em 6,86%; 7,84% e 10,78% respectivamente, em comparação aos tratamentos LC, SSLC e Test (Figura 3B). Houve acréscimo da V de 1,0 a 1,4% nos solos adubados com SSLC e testemunha, respectivamente, em comparação ao tratamento que recebeu somente SS (Figura 3C).

A inoculação do mix de *Bacillus* spp. na entrelinha de cultivo reduziu o teor de carbono orgânico do solo em 6,35 % (Figura 4). Esse resultado pode estar relacionado ao processo de capina manual de plantas espontâneas presentes nas entre linhas de plantio. Dessa forma, o revolvimento

do solo e a presença de *Bacillus* spp. podem ter acelerado a decomposição da matéria orgânica, promovendo a redução dos teores de carbono do solo. O teor de carbono orgânico do solo pode diminuir por processos de mineralização da matéria orgânica, onde parte do carbono mineralizado é utilizado para desenvolvimento dos microorganismos, parte majoritária é transformada em dióxido de carbono (CO₂) e parte minoritária permanece no solo sob formas secundárias (LUO e ZHOU, 2006).

Figura 4 Efeito da inoculação com e sem *Bacillus* spp. no carbono orgânico do solo na entrelinha de plantio do grão-de-bico. * Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem pelo teste de agrupamento Scott-Knott a 5% de probabilidade.



Características de crescimento e produção do grão-de-bico

A adubação com fontes de fósforo e a inoculação de sementes com mix de *Bacillus* spp. influenciou de modo isolado as características de crescimento e produção do grão-de-bico (Tabelas 3 e 4). A inoculação de sementes com *Bacillus* spp. influenciou ($p \leq 0,05$) os componentes de produção massa seca de vagens (MSV) e massa seca de ramos (MSRA) e até ($p < 0,10$) a MSG, MSPAL, MSPA, MST, PTS, ALT e a PROD. (Tabela 4).

As fontes de fósforo (manejo) não influenciaram as características avaliadas MSR, MSF, MSV, MSRA, MSG, MSC, MSPAL, MSPA, MST, NV1, NV2, NST, PTS, P100, ALT, PROD e IC (Tabela 3). Segundo Chagas *et al.*, (2021) e Pegoraro *et al.*, (2020), a existência de compostos orgânicos e nutrientes no lodo proporciona aumento da atividade biológica do solo e a taxa de mineralização de nutrientes para as plantas, acarretando na maior eficiência produtiva dos cultivos agrícolas. Entretanto, no presente estudo não houve diferença significativa da adubação com lodo compostado em comparação a adubação mineral para produtividade do grão-de-bico (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios das características de crescimento e produção do grão-de-bico que não apresentaram efeito nos diferentes manejos de adubação: ausência de fontes de fósforo (Test), superfosfato simples (SS), lodo de esgoto compostado (LC) e mistura de superfosfato simples + lodo compostado, na proporção 1:1 (SSLC).

Características	Manejos				p-valor
	Test	SS	LC	SSLC	
MSR (g planta ⁻¹)	2,54	3,27	2,51	3,09	0,38 ^{ns}
MSF (g planta ⁻¹)	5,70	6,30	5,81	6,11	0,94 ^{ns}
MSV (g planta ⁻¹)	6,58	6,28	6,03	7,04	0,64 ^{ns}
MSRA (g planta ⁻¹)	15,53	16,36	16,17	18,55	0,30 ^{ns}
MSG (g planta ⁻¹)	20,73	20,17	20,53	23,87	0,47 ^{ns}
MSC (g planta ⁻¹)	0,74	0,57	0,65	0,67	0,32 ^{ns}
MSPAL (g planta ⁻¹)	27,81	28,67	28,01	31,7	0,53 ^{ns}
MSPA (g planta ⁻¹)	49,29	49,43	49,2	56,24	0,48 ^{ns}
MST (g planta ⁻¹)	51,84	52,7	51,71	59,34	0,45 ^{ns}
NV1 (n° planta ⁻¹)	57,71	55,61	51,21	65,96	0,21 ^{ns}
NV2 (n° planta ⁻¹)	1,82	1,62	1,40	2,47	0,42 ^{ns}
NST (n° planta ⁻¹)	61,36	58,86	54,01	70,92	0,19 ^{ns}
PTS (g planta ⁻¹)	20,73	20,18	20,54	23,87	0,47 ^{ns}
P100 (g)	33,52	34,97	35,04	33,7	0,13 ^{ns}
ALT (cm planta ⁻¹)	72,99	74,75	72,16	72,17	0,44 ^{ns}
PROD (t ha ⁻¹)	4,14	4,03	4,01	4,77	0,47 ^{ns}
IC (%)	39,77	38,16	39,64	39,82	0,76 ^{ns}

Massa seca de: raiz (MSR), folhas (MSF), vagens (MSV), ramos (MSRA), grãos (MSG), caule (MSC), palhada (MSPAL), parte aérea (MSPA) e total (MST); número de vagens com um grão (NV1), com dois (NV2), número de sementes total (NST), peso total (PTS) e de 100 sementes (P100), altura (Alt), produtividade (PROD) e índice de colheita (IC). ^{ns}: não significativo a 5 % pelo teste F da análise de variância.

Tabela 4. Efeito do mix de *Bacillus* spp. na massa seca de raiz (MSR), folhas (MSF), vagens (MSV), ramos (MSRA), grãos (MSG), caule (MSC), palhada (MSPAL), parte aérea (MSPA) e total (MST), no número de vagens com um grão (NV1), com dois (NV2), número de sementes total (NST), peso total (PTS) e de 100 semente (P100), altura (Alt), produtividade (PROD) e índice de colheita (IC) nos componentes de crescimento e produção do *Cicer arietinum* L.

Características	<i>Bacillus</i> spp.		p-valor
	Sem	Com	
MSR (g planta ⁻¹)	2,86	2,85	0,99 ^{ns}
MSF (g planta ⁻¹)	5,85	5,98	0,81 ^{ns}
MSV (g planta ⁻¹)	5,86B	7,11A	0,04*
MSRA (g planta ⁻¹)	15,34B	17,95A	0,03*
MSG (g planta ⁻¹)	19,72B	22,94A	0,09 [‡]
MSC (g planta ⁻¹)	0,61	0,70	0,19 ^{ns}
MSPAL (g planta ⁻¹)	27,06B	31,04A	0,06 [‡]
MSPA (g planta ⁻¹)	47,4B	54,68A	0,06 [‡]
MST (g planta ⁻¹)	50,25B	57,54A	0,07 [‡]
NV1 (n° planta ⁻¹)	53,87	61,36	0,13 ^{ns}
NV2 (n° planta ⁻¹)	1,61	2,06	0,35 ^{ns}
NST (n° planta ⁻¹)	57,09	65,48	0,13 ^{ns}
PTS (g planta ⁻¹)	19,72B	22,94A	0,09 [‡]
P100 (g)	34,41	34,20	0,70 ^{ns}
ALT (cm planta ⁻¹)	71,72 B	74,31A	0,05 [‡]
PROD (t ha ⁻¹)	3,94 B	4,58 A	0,09 [‡]
IC (%)	39,07	39,63	0,66 ^{ns}

Médias seguidas por mesma letra maiúsculas na linha não diferem pelo teste de agrupamento Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns}, * e [‡] não significativo, significativo a 5% e até 10%, respectivamente pelo teste F da análise de variância.

A aplicação do mix de *Bacillus* spp. aumentou a MSV, MSRA, MSG, MSPAL, MSPA, PTS, ALT e a PROD ($p < 0,10$) (Tabela 4). Sendo o acréscimo da MSV em torno de 17,56% (Tabela 4), e proporcionou acréscimo de 14,51% da MSRA (Tabela 4). Para a MSPAL e MSPA houve o incremento de 12,82 e 13,31 %, respectivamente, quando se aplicou o mix de *Bacillus* spp, para a MST o acréscimo foi de 12,67% e para PTS foi de 14,04%. De acordo com os autores Abd_Allah *et al.*, (2018); Wong *et al.* (2015), a utilização dessas bactérias estimula o crescimento do sistema radicular, por meio da produção de hormônio giberelina e promovem uma maior absorção de nutrientes e consequentemente o dos componentes de produção da parte aérea. E isso pode ter sido favorável nos incrementos apresentados no grão-de-bico do presente estudo.

De acordo com Gorai *et al.*, (2021), a cepa isolada do grão-de-bico na Índia - *B. siamensis* CNE6, favoreceu a produção do ácido indolacético (AIA), a fixação de nitrogênio e solubilização de fosfato, proporcionando maior desenvolvimento e crescimento das plantas de grão-de-bico. No entanto, Elkoca *et al.*, (2010) relataram que quando associaram as bactérias *Rhizobium*, *Bacillus*

subtilis OSU-142 e *Bacillus megaterium* M-3 não houve incremento no rendimento de grãos do feijoeiro (3,098 kg ha⁻¹) devido a competição entre as que inocularam e as bactérias de vida livre presente no solo.

A altura das plantas também foi favorecida com a aplicação do mix de *Bacillus* em torno de 3,48 %. Esse favorecimento é justificado em função dos benefícios que os microorganismos proporcionam, um deles é o favorecimento no processo de mineralização dos nutrientes e consequentemente maior disponibilização dos nutrientes para as plantas (Tabela 4). A altura média das plantas do grão-de-bico obtidas no presente estudo (72,7 cm) foram superior as médias observadas por Artiaga *et al.*, (2015), no qual ele avaliou quinze genótipos de diferentes origens, incluindo duas cultivares comerciais “Cícero e IAC Marrocos” do Brasil, em três épocas de semeadura em condições de cultivo sequeiro. Esses autores observaram alturas das plantas variando de 33 a 61 cm, apesar de alguns genótipos com altura inferior aos demais ainda estejam dentro de padrões adequados para a colheita mecanizada.

A produtividade aumentou com a utilização do mix de *Bacillus* em torno de 13,47% em relação a sua não utilização (Tabela 4), sendo a produtividade média equivalente a 4,27 t ha⁻¹. Esse aumento da produtividade em função da inoculação demonstra que a utilização desses microorganismos podem ser eficientes na disponibilização de P para as plantas, ocasionando elevação na produtividade. De acordo com Gorai *et al.*, (2021), microorganismos pertencentes ao gênero *Bacillus* solubiliza fosfato e o disponibiliza para a absorção pelas plantas, refletindo no aumento da produtividade.

Teor foliar e acúmulo de nutrientes

As fontes de fósforo em conjunto com a inoculação com mix de *Bacillus* spp. interferiram no teor foliar de carbono e nos índices de clorofila a e total ($p \leq 0,05$) (Tabela 5). Efeito isolado da inoculação com o mix de *Bacillus* spp. ($p \leq 0,05$) foi observado para os índices de clorofila a e total (Tabela 6). E o efeito isolado do manejo foi observado para os índices de clorofila b, total e teor foliar de P (Tabela 7).

No manejo com SSLC, a ausência de inoculação aumentou em 4,27% o teor de carbono foliar, em comparação ao mesmo manejo inoculado (Tabela 5). Para os índices de clorofila a observou-se que a testemunha e SSLC inoculados aumentaram em torno de 26,92 e 25,01% respectivamente, quando comparados ao SS inoculado (Tabela 5). Assim como para os índices de clorofila total também foram favorecidos com a inoculação nos manejos testemunhas e SSLC inoculado (Tabela 5).

Tabela 5. Efeito da interação do mix de *Bacillus* spp. com os manejos empregados no cultivo do grão-de-bico no teor de carbono foliar (dag kg^{-1}), clorofila a e total ($\mu\text{mol L}^{-1}$).

Características	<i>Bacillus</i> spp	Manejos				p-valor
		Test	SS	LC	SSLC	
Carbono foliar (dag kg^{-1})	Sem	38,40	37,61	37,56	38,92 a	0,04*
	Com	37,32	37,52	38,88	37,26 b	
Clorofila a ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Sem	38,45	40,50 a	39,20 a	37,47	0,02*
	Com	38,62 A	28,10 Bb	30,47 Bb	39,65 A	
Clorofila total ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	Sem	49,05	48,70 a	47,67 a	43,05	0,001*
	Com	48,17 A	32,40 Bb	37,65 Bb	45,22 A	

Test – sem adubação fosfatada; SS – adubação com superfosfato simples; LC – adubação com Lodo de esgoto compostado; SSLC – adubação com a mistura de superfosfato simples + lodo de esgoto compostado na proporção 1:1. Médias seguidas por letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não se diferem a 5% pelo teste de agrupamento Scott-Knott. * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F da análise de variância.

O aumento nos teores de clorofila a e total observados nos tratamentos SSLC e testemunha inoculados, corroboram com resultados obtidos por Devi *et al.*, (2023) que também observaram aumento de clorofila com a inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF). Sabe-se que os teores de clorofila nas plantas são essenciais para a captação de energia e produção de fotoassimilados, sendo bons indicadores do estado nutricional das plantas. No entanto, também foi observado no presente estudo aumento dos teores de clorofila a e total nos tratamentos não inoculados (Tabela 5).

Não houve interferência do mix de *Bacillus* spp. nas características: teor de carbono, índice de clorofila b, nos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, sendo as médias correspondentes a $37,93 \mu\text{mol m}^{-2}$; $7,43 \mu\text{mol m}^{-2}$; $37,20 \text{ mg g}^{-1}$; $5,74 \text{ g kg}^{-1}$; $16,89 \text{ g kg}^{-1}$; $19,91 \text{ g kg}^{-1}$; $2,64 \text{ g kg}^{-1}$; $0,39 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente. A ausência de inoculação com o mix de *Bacillus* spp. aumentou os índices de clorofila a e total em torno de 11,80% e 13,28% respectivamente, em comparação ao inoculado (Tabela 6). No entanto, Devi *et al.*, (2023) e Elkoca *et al.*, (2010) observaram que a inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato (BSF) favoreceram o aumento da clorofila e o crescimento das plantas. Os autores Saharan e Nehra (2021) também constataram aumento da clorofila, do vigor, da altura e da disponibilização de nutrientes com a adição de BSF.

Tabela 6. Efeito isolado da inoculação com e sem *Bacillus* spp. nas características avaliadas na folha do grão-de-bico.

Características	<i>Bacillus</i> spp.		p-valor
	Sem	Com	
Carbono foliar (dag kg ⁻¹)	38,12	37,75	0,30 ^{ns}
Clorofila a (µmol L ⁻¹)	38,90A	34,21B	0,01*
Clorofila b (µmol L ⁻¹)	8,21	6,65	0,15 ^{ns}
Clorofila total (µmol L ⁻¹)	47,12A	40,86B	0,0007*
N (g kg ⁻¹)	37,59	36,81	0,67 ^{ns}
P (g kg ⁻¹)	5,71	5,78	0,85 ^{ns}
K (g kg ⁻¹)	16,78	17,00	0,61 ^{ns}
Ca (g kg ⁻¹)	19,80	20,02	0,86 ^{ns}
Mg (g kg ⁻¹)	2,61	2,68	0,66 ^{ns}
S (g kg ⁻¹)	0,40	0,39	0,89 ^{ns}

N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não se diferem pelo teste de agrupamento Scott-Knott a 5% de probabilidade. * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F da análise de variância.

As fontes de fósforo influenciaram os índices de clorofila b e total e os teores foliares de P e K ($p \leq 0,05$) (Tabela 7). A adubação com fósforo nos manejos SS, LC e SSLC reduziu os índices de clorofila b e total em comparação ao tratamento testemunha (Tabela 7). De acordo com Pereira *et al.* (2015), os pigmentos fotossintéticos sofrem influência da composição da matéria orgânica, no qual esses compostos além de fornecer nutrientes alteram a microbiota do solo e a absorção de compostos pelas plantas. O aumento dos teores de clorofila total e b são importantes, pois permitem a captação de energia de outros comprimentos de onda aumentando a eficiência energética na formação de ATP e NADPH que serão usados pela planta no processo de fotossíntese, elevando o seu rendimento quântico e, conseqüentemente, o desenvolvimento das plantas, segundo Pereira *et al.*, (2015).

A utilização de LC, SS e SSLC reduziu o teor foliar de P em 19,79%; 20,66% e 27,60 % respectivamente, em comparação a testemunha (Tabela 7). Neste caso, pode ter ocorrido efeito diluição do P na planta para os tratamentos que receberam alguma fonte fosfatada. Pois o P é um nutriente importante para o desenvolvimento das plantas, estando ele ligado à função estrutural e ao processo de transferência e armazenamento de energia (MALAVOLTA *et al.*, 1989). A deficiência de P acarreta redução do sistema radicular, do crescimento das plantas, da emissão de folhas, menor área foliar, reduzindo a captação da radiação solar e conseqüentemente redução da produção de fotoassimilados (BONFIM-SILVA *et al.*, 2012; KALAYU 2019; SATYAPRAKASH *et al.*, 2017), no entanto, no presente estudo não foi observado deficiência de P em nenhum dos tratamentos. Após um ano da aplicação de lodo de esgoto, Zuba Junio *et al.*, (2012) observaram em seus estudos aumentos lineares de P e N em folhas de milho.

Tabela 7. Teores médios das características foliares avaliadas quanto as diferentes fontes de fósforo (manejos) utilizados: Test (sem adubação fosfatada); SS (superfosfato simples); LC (lodo compostado) e SSLC (mistura de superfosfato simples + lodo compostado na proporção 1:1) no cultivo do grão-de-bico.

Características	Manejos				p-valor
	Test	SS	LC	SSLC	
Carbono foliar (dag kg ⁻¹)	37,86	37,57	38,22	38,09	0,61 ^{ns}
Clorofila a (µmol L ⁻¹)	38,57	34,30	34,83	38,56	0,18 ^{ns}
Clorofila b (µmol L ⁻¹)	10,07 A	6,25 B	7,82 B	5,57 B	0,03*
Clorofila total (µmol L ⁻¹)	48,61 A	40,55 B	42,66 B	44,13 B	0,01*
N (g kg ⁻¹)	40,68	34,29	38,72	35,10	0,06 ^{ns}
P (g kg ⁻¹)	6,92 A	5,49 B	5,55 B	5,01 B	0,006*
K (g kg ⁻¹)	17,91 A	16,08 B	17,04 B	16,54 B	0,04*
Ca (g kg ⁻¹)	20,15	19,10	19,87	20,52	0,88 ^{ns}
Mg (g kg ⁻¹)	2,78	2,70	2,62	2,48	0,62 ^{ns}
S (g kg ⁻¹)	0,38	0,40	0,42	0,35	0,54 ^{ns}

N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não se diferem pelo teste de agrupamento Scott-Knott a 5% de probabilidade. * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F da análise de variância.

A interação das fontes de fósforo e a inoculação com o mix de *Bacillus* spp. não influenciou ($p > 0,05$) nos acúmulos dos nutrientes da parte aérea e grãos do grão-de-bico (Tabela 8). Também não houve influencia ($p > 0,05$) de forma isolada da inoculação com o mix de *Bacillus* spp. ou manejos na absorção de nutrientes pelas plantas.

O N foi o macronutriente mais acumulado na parte aérea e grãos do grão-de-bico, e apresentou a seguinte ordem decrescente de absorção: N > K > P > Ca > Mg > S, correspondendo a acúmulos médios de 206,47; 72,65; 42,48; 15,48; 10,70; 0,44 kg t⁻¹, respectivamente, na parte aérea (Tabela 8). Sequência semelhante foi observada por Oliveira *et al.*, (2021) na cultura da soja, sendo N > K > P > Ca > S e Mg. E, Magalhães *et al.*, (2017) obtiveram a seguinte ordem decrescente de acúmulo de nutrientes nos grãos de soja adubados com esterco de galinha: N > K > P > Mg > Ca > S.

Tabela 8: Acúmulo de nutrientes na parte aérea, grãos e resíduos vegetais remanescentes (parte aérea + vagens) na área de cultivo do grão-de-bico após diferentes manejos de adubação utilizados no plantio: ausência de fontes de fósforo (Test), superfosfato simples (SS), lodo de esgoto compostado (LC) e mistura de superfosfato simples + lodo compostado, na proporção 1:1 (SSLC).

	Nutrientes	Manejos				p-valor
		Test	SS	LC	SSLC	
		Kg t ⁻¹				
Acúmulo de nutrientes na parte aérea do	N	207,58	188,63	186,47	243,01	0,21 ^{ns}
	P	41,48	42,00	37,79	48,67	0,32 ^{ns}
	K	73,78	66,33	64,29	86,24	0,08 ^{ns}
	Ca	15,25	15,75	12,82	18,13	0,17 ^{ns}
	Mg	10,88	10,22	8,75	12,95	0,06 ^{ns}
	S	0,46	0,46	0,34	0,53	0,23 ^{ns}
	Nutrientes	Manejos				p-valor
		Test	SS	LC	SSLC	
		Kg t ⁻¹				
Acúmulo de nutrientes nos grãos	N	141,13 (68%)	129,63 (69%)	141,98 (76%)	164,32 (68%)	0,40 ^{ns}
	P	28,15 (68%)	28,82 (69%)	28,72 (76%)	32,82(67%)	0,67 ^{ns}
	K	49,92 (67%)	45,50 (68%)	49,06 (76%)	57,91 (67%)	0,26 ^{ns}
	Ca	10,35 (67%)	10,80 (68%)	9,72 (75%)	12,25 (67%)	0,48 ^{ns}
	Mg	7,35 (68%)	7,01 (68%)	6,66 (76%)	8,74 (67%)	0,23 ^{ns}
	S	0,31 (67%)	0,32 (70%)	0,26 (76%)	0,36 (68%)	0,50 ^{ns}
	Nutrientes	Manejos				p-valor
		Test	SS	LC	SSLC	
		Kg t ⁻¹				
Acúmulo Remanescente	N	66,43A (32%)	59,19A (31%)	47,97A (24%)	78,69A (32%)	0,032 [*]
	P	13,33A (32%)	13,18A (31%)	9,71A (24%)	15,84A (33%)	0,030 [*]
	K	23,85A (33%)	20,82B (32%)	16,28B (24%)	28,32A (33%)	0,010 [*]
	Ca	4,88A (33%)	4,93A (32%)	3,30B (25%)	5,88A (33%)	0,021 [*]
	Mg	3,53A (32%)	3,21A (32%)	2,23B (24%)	4,20A (33%)	0,005 [*]
	S	0,14A (33%)	0,14A (30%)	0,08B (24%)	0,17A(32%)	0,050 [*]

N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não se diferem pelo teste de agrupamento Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns}, ^{*} não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F da análise de variância.

Os grãos tiveram taxa de acúmulo de nutrientes na parte aérea superior a 67% (Tabela 08), indicando elevada capacidade de translocação de nutrientes de órgãos vegetativos para reprodutivos. Gaspar *et al.*, (2017) obtiveram remobilização de N de cerca de 66-99 % dos órgãos vegetativos para as sementes em formação da soja.

O N é o nutriente mais abundante na planta e pode ser translocado das partes mais velhas para as mais novas. Devido a sua mobilidade na planta, ao final do ciclo da cultura, esse elemento é direcionado para a produção de vagens e grãos (GONÇALVES, 2012). Estudos realizados por Perez *et al.*, (2013) também observaram que o N foi o nutriente mais exportado pelos grãos do feijoeiro em sistema de plantio direto, com 68% do N acumulado nos grãos e 32% remanescente na área de cultivo pela deposição de resíduos vegetais (folhas, vagens, ramos).

O K foi o segundo nutriente mais acumulado pelas sementes do grão-de-bico, sendo a média de 50,6 kg t⁻¹ (Tabela 8). Esses resultados corroboram com os de Magalhães *et al.*, (2017), que também notaram que o K obteve a segunda colocação do ranking de exportação de nutriente pelas sementes da soja. De acordo com Taiz *et al.*, (2017), o K é o segundo elemento mais exigido pela grande maioria das plantas, e ele possui grande papel no crescimento e extensão celular e ainda atua na formação de carboidratos e amidos, ativador enzimático, síntese de proteínas e no controle osmótico celular.

O P foi o terceiro nutriente mais acumulado pelas sementes do grão-de-bico com média de 29,63 kg t⁻¹ (Tabela 8), no entanto, não quer dizer que ele seja menos importante para a cultura. Pelo contrário, se trata de um nutriente que corresponde uma maior resposta à adubação da cultura. Pegoraro *et al.*, (2018), verificaram elevação da produtividade do grão-de-bico de acordo com o aumento das doses de fósforo aplicado no solo. O P é um elemento muito importante para o desenvolvimento das plantas e a sua ausência pode acarretar atrasos no desenvolvimento e produtividade do grão-de-bico. De acordo Laviola *et al.*, (2008), esse deve ser fornecido em quantidades superiores as acumuladas nas plantas, devido o P ser facilmente adsorvido no solo.

O Ca, Mg e o S foram o quarto, quinto e sexto nutrientes mais acumulados pelas sementes do grão-de-bico (Tabela 8). Magalhães *et al.*, (2017) observaram sequência semelhante sendo o Mg, Ca e S respectivamente para o quarto, quinto e sexto nutrientes mais exportados pelas vagens da soja. De acordo com esses autores, o Ca possui predisposição a acumular na parte aérea e pouca translocação para os frutos, devido a sua baixa mobilidade. A média de Mg acumulado nos grãos no presente estudo foi de 7,44 kg t⁻¹ (Tabela 8), sendo esse elemento muito importante para o processo de formação de sementes e qualidade das sementes, estando esse elemento relacionado a ativação de enzimas e constituição da molécula de clorofila (TAIZ *et al.*, 2017). Foi observado média de 0,31 kg t⁻¹ (Tabela 8) de S acumulado nos grãos, sendo ele um macronutriente que participa da composição das ferredoxinas, complexos enzimáticos envolvidos na fotossíntese e na fixação do N₂ (em leguminosas) e a sua deficiência pode interromper a síntese de proteínas (TAIZ *et al.*, 2017).

A porcentagem de acúmulo de nutrientes nos grãos variou de 67 a 76% em comparação ao total absorvido pela parte aérea do grão-de-bico (Tabela 8). Denotando o elevado potencial de exportação de nutrientes da área de cultivo pela leguminosa.

Apesar da elevada taxa de exportação de nutrientes da área de cultivo via grãos, observaram-se taxas consideráveis de permanência de nutrientes na área de cultivo, por meio dos resíduos vegetais do grão-de-bico, variando de 24 e 33% (Tabela 8). Essas porcentagens corresponderam ao acúmulo médio de 63,07 kg t⁻¹ de N; 22,32 kg t⁻¹ de K e 13,01 kg t⁻¹ de P nos resíduos de folhas, ramos e vagens. Houve efeito significativo (p<0,05) dos manejos utilizados no

acúmulo remanescente dos nutrientes nos resíduos da parte aérea (Tabela 8). O manejo com SSLC propiciou os maiores acúmulos de K, Ca, Mg e S, não diferindo dos manejos Test para K e dos manejos Test e SS para os demais nutrientes.

Esses resultados indicam que a maioria dos nutrientes absorvidos pelo grão-de-bico é exportada da área de cultivo via grãos (67 a 76%). No entanto, pode-se considerar a que menor proporção de nutrientes remanescentes na área de cultivo pode contribuir substancialmente para sistemas de recomendação de adubação de cultivos subsequentes, devido ao potencial de deposição de N, P e K, especialmente em sistemas com maior produção de resíduos vegetais, como no SSLC.

CONCLUSÕES

1. A utilização de fontes fosfatadas aumentou a disponibilidade de P no solo, favorecendo o acréscimo de bases trocáveis do solo, na CTC potencial e efetiva.

2. O mix de *Bacillus* spp. aumentou a produtividade do grão-de-bico em 13,47% em relação ao não inoculado.

3. O acúmulo de nutrientes pelas sementes de grão-de-bico não é influenciado pelos manejos de fontes fosfatadas e inoculação com mix de *Bacillus* spp. sendo as médias de 144,27 kg t⁻¹; 50,60 kg t⁻¹; 29,63 kg t⁻¹; 10,78 kg t⁻¹; 7,44 kg t⁻¹ e 0,31 kg t⁻¹ para N, K, P, Ca, Mg e S respectivamente.

4. Os manejos fosfatados aplicados não influenciam nos teores remanescentes de N e P.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (PRPq- UFMG) e à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (Capes; Código Financeiro 001) pelo apoio financeiro a este projeto de pesquisa e concessão de Bolsas.

REFERÊNCIAS

ABD_ALLAH, E.F. *et al.* Endophytic bacterium *Bacillus subtilis* (BERA 71) improves salt tolerance in chickpea plants by regulating the plant defense mechanisms. **Journal of Plant Interactions**. 13(1):37-44, 2018.

ALMEIDA NETA, M.N. *et al.* Inoculation of *Bacillus* spp. and nitrogen levels increase chickpea production. **Ciênc Agrotec** 45: e 015421. 2021

ALMEIDA NETA, M.N. *et al.* Does inoculation with *Rhizobium tropici* and nitrogen fertilization increase chickpea production? **Ciênc Agrotec** 44:e016520.

ALVARES, C.A. *et al.*. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol Zeitschrift** 22(6):711-728. 2013.

ALVAREZ, V.V.H. *et al.*. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez VVH. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª aproximação, Viçosa, MG, 1999.395p.

ARTIAGA, O.P. *et al.* Avaliação de genótipos de grão de bico em cultivo de sequeiro nas condições de cerrado. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**, 10 (1):102-109, 2015.

BHADOURIA, J.; GIRI, J. Purple acid phosphatases: roles in phosphate utilization and new emerging functions. **Plant Cell Reports** 41:33-54, 2022 .

BRASIL (2020) Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de bio sólido em solos, e da outras providências. **Conselho Nacional do Meio Ambiente** (CONAMA). R DOU: 21/08/2020, Seção 1. P.265. Available via DIALOG.

BONINI, C.S.B.; ALVES, M.C.; MONTANARI, R. Sewage sludge and mineral fertilization on recovery of chemical properties of a degraded soil. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental** 19(4):388-393. 2015.

BONFIM-SILVA, E.M. *et al.* Desenvolvimento e produção da crotalária adubada com fosfato natural reativo em Latossolo do Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.14, p.347-357. 2012.

CARDOSO, P.H.S. *et al.* Production of organic fertilizer based on sewage sludge cultivated with grass under an aeration system. **Rev Ceres** 68(5):471-483. 2021.

COSTA, V.L. *et al.* Spatial distribution of phosphorus in an Oxisol amended with sewage sludge and mineral fertilization. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental** 18(3):287-293. 2014.

CHAVES, J. Da. S. *et al.* Produção de biomassa vegetal de *Gliricídia sepium* em sistemas consorciado com fruteiras. **Conjecturas**, 22 (16), 287-298. 2022.

CHEN, Y. *et al.* Biocontrol of tomato wilt disease by *Bacillus subtilis* isolates from natural environments depends on conserved genes mediating biofilm formation. **Environ Microbiol** 15(3):848-864. 2013.

DHANKER, R. *et al.* Soil microbial properties and functional diversity in response to sewage sludge amendments. **Arch Agron Soil Sci.** 2020.

DEVI, R. *et al.* Indigenous plant growth-promoting rhizospheric and endophytic bacteria as liquid bioinoculants for growth of sweet pepper (*Capsicum annum* L.) **Biologia**, 2023.

DOGRA, N. *et al.* Nutrient enhancement of chickpea grown with plant growth promoting bacteria in local soil of Bathinda, Northwestern India. **Physiology and Molecular Biology of Plants** 25(5):1251–1259, 2019.

ELALAMI, D. *et al.* Effect of coupling alkaline pretreatment and sewage sludge co0digestion on methane production and fertilizer potential of digestate. **Science of the Tota Environment**, v.743, 2020.

ELKOCA, E.; TURAN, M.; DONMEZ, M.F. Effects of single, dual and triple inoculations with *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium* and *Rhizobium leguminosarum* bv. *Phaseoli* on nodulation, nutrient uptake, yield and yield parameters of common bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv'elkoca-05'). **Journal Plant Nut** 33:2104-2119. 2010.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise do solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).

FONSECA, J.H.S. *et al.* Chickpea production in response to fertilization with zinc and doses of phosphorus. **Comunicata Scientiae**, 11, e3106. 2020.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciênc Agrotec** 38(2):109-112. .2014.

GASPAR, A.P. *et al.* Dry Matter and nitrogen uptake partitioning, and removal across a wide range of soybean seed yield levels. **Crop Science**, v. 57, p.2170-2182, 2017.

GARG, N.; BHARTI, A. Salicylic acid improves arbuscular mycorrhizal symbiosis, and chickpea growth and yield by modulating carbohydrate metabolismo under salt stress. **Mycorrhiza**, v.28, n.8, p.727-746, 2018.

GRZYB, A.; WOLNA-MARUWKA, A.; NIEWIADOMSKA, A. Environmental factors affectining the mineralization of crop residues. **Agronomy**, 10.1951. 2020.

GONÇALVES, J.M. Acúmulo de nutrientes em soja transgênica no cerrado goiano. **Goiânia**, GO: PPGA, 2012.

GONÇALVES, P.W.B. *et al.* Carbon and nitrogen mineralization and macronutrient recovery in soils amended with sewage sludge. **Arab J Geosci** 14(23):1-11. 2021.

GORAI, O.S. *et al.* *Bacillus siamensis* CNE6- a multifaceted plant growth promoting endophyte of *Cicer arietinum* L. having broad spectrum antifungal activities and host colonizing potential. **Microbiological Research** 252- 126859, 2021.

ICRISAT, International Crops Research Institute for the semi-arid tropics – **Chickpea**, 2017. Disponível em: <https://www.icrisat.org/>

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados meteorológicos de estações automáticas**. 2023 Available via DIALOG. <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A506>

KALAYU, G. Phosphate solubilizing microorganisms: Promising Approach as Biofertilizers. **Int J Agron** 2019:1-7. 2019.

LAVIOLA, B.G.; DIAS, L.A.S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-mansão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1969-1975, 2008.

KUMAR, A.; KUMAR, A.; PATEL, H. Role of microbes in phosphorus availability and acquisition by plants. **Int J Curr Microbiol Appl Sci** 7(5):1344-1347. 2018.

LOBO, T.F. *et al.* Management of sewage sludge and mineral nitrogen in soil fertility over time. **Semin-Cienc Agrar** 34(6):2705-2726. 2013.

LUSIBA, S.; ODHIAMBO, J.; OGOLA, J. Growth yield and water use efficiency of chickpea (*Cicer arietinum*): response to biochar and phosphorus fertilizer application. **Arch Agron Soil Sci**, 2017.

LUO, Y; ZHOU, X. Soil respiration and the environment. **Amsterdam**: Elsevier, 326 p. 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, A.S. Avaliação do estado nutricional de plantas. 2 ed. Piracicaba: **Potafos**, 201p, 1989.

MAGALHÃES, I.P.B. *et al.* Produtividade e exportação de nutrientes em feijão-vagem adubado com esterco de galinha. **Revista Ceres**, Viçosa, v.64, n.1, p.098-107, 2017.

NAIR, A.; NGOUAJIO, M. Soil microbial biomass, functional microbial diversity, and nematode Community structure as affected by cover crops and compost in an organic vegetable production system. **Appl Soil Ecol**. 92:45-55, 2012.

NASCIMENTO, W.M. *et al.* **Grão-de-bico. Hortaliças Leguminosas**. Brasília, DF. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa 89-118p. Available via DIALOG. 2016.

PAGE, K.L. *et al.* Changes in soil water storage with no-tillage and crop residue retention on a Vertisol: Impact on productivity and profitability over a 50 year period. **Soil and Tillage Research**, v.194, 2019.

PAVINATO, P.S. *et al.* Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable in Brazil. **Sci Rep** 10:15615, 2020.

PEGORARO, R.F. *et al.* Chickpea production and soil Chemical attributes after phosphorus and molybdenum fertilization. **Ciênc Agrotec** 42(5): 474-483. 2018.

PEREIRA, M.S. Utilização de lodo de esgoto na agricultura. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 9, n.1, p.01-08. 2015.

PEREZ, A.A.G. *et al.* Extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro adubado com nitrogênio, em diferentes tempos de implantação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 37(5). 2013.

RODRIGUES, M.M. *et al.* Use of a Concerning Sewage Sludge in the Manufacture of Organomineral Fertilizer: Agronomical Implications and Sustainable Disposal. **J. Soil. Sci. Plant Nutri** , 2023.

SANTOS, H.G *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa, Brasília, Brasil, 2018.

SAHARAN, B.S.; NEHRA, V. Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. **Life Science Med Res** 21(1)1-15. 2011.

SAMREEN, S.; KAUSAR, S. Phosphorus Fertilizer: The original and commercial sources. In: T Zhang (ed), **Phosphorus-recovery and Recycling**, IntechOpen, London, UK. pp 1-14. 2019.

SHARMA, B.; SINGH, R.P. Physiological, biochemical, growth, and yiel responses of radish (*Raphanus sativus* L.) plants grown on diferente sewage sludge-fly ash misture (SLASH) ratios. In: Waste valorization and recycling, **Singapore**, v.2, p.539-552. 2019.

TAIZ, L.E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre, Artmed Editora,858p. 2017.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. UFRGS, Porto Alegre, Brasil. 1995.

TRIPATHI, B. D. A short term study on toxic effects of distillery sludge amendment on microbiological and enzymatic properties of agricultural soil in a tropical city. **J Earth Sci Climat Change**. 1:106 2011.

TURAN, M. *et al.*. Plant growth-promoting rhizobacteria improved growth, nutrient, and hormone content of cabbage (*Brassica oleracea*) seedlings. **Turk Jour Agric For**. 38:327-333, 2014.

VERMA, J.P. *et al.* Effect of indigenous Mesorhizobium spp. and plant growth promoting rhizobacteria on yields and nutrients uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under sustainable agriculture. **Ecological Engineering**, v.51, p.282-286, 2013.

WONG, W.S. *et al.* The importance of phytohormones and microbes in biofertilizers. In: Bacterial Metabolites in Sustainable Agroecosystem. **Sustainable Development and Biodiversity**. Springer, pp105-158. Available via DIALOG. 2015.

ZUBA JUNIO, G.R. *et al.* Corn yield response to residual effect of fertilization with sewage sludge compost and rock phosphate. **Rev Bras Eng Agríc Ambient** 16:1289-1297. 2012.

ZUO, W. *et al.* Sewage sludge amendment improved soil properties and sweet sorghum yield and quality in a newly reclaimed mudflat land. **Sci Total Environ** 654:541-549. 2019.

5.3 Artigo 3 – Metais pesados em cultivo de grão-de-bico adubado com lodo de esgoto como fonte de fósforo

Este artigo foi elaborado conforme normas da revista *Journal of Environmental Management*

Metais pesados em cultivo de grão-de-bico inoculado com mix de *Bacillus* spp. e adubado com lodo de esgoto como fonte de fósforo

RESUMO

O lodo de esgoto é fonte de nutrientes e matéria orgânica para cultivos agrícolas, no entanto, pode conter elevados teores de metais pesados e contaminar o solo, as plantas cultivadas e o ambiente. Objetivou-se com esse trabalho avaliar os teores de metais pesados no solo, folhas e em sementes do grão-de-bico em função da aplicação de *Bacillus* e lodo de esgoto compostado. O estudo foi desenvolvido em campo em esquema fatorial 2x4, sendo os tratamentos constituídos de presença ou ausência de *Bacillus subtilis* sp e *B. megaterim* sp. e quatro manejos: ausência de adubação fosfatada (Test); adubação mineral com 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples (SS); adubação orgânica com 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de lodo de esgoto (LC) e adubação mineral e orgânica na proporção de 50:50% de P₂O₅ (SSLC), em blocos casualizados, com 4 repetições. Foram avaliados os seguintes metais pesados: Arsênio, Bário, Cádmiio, Cromo, Cobre, Ferro, Manganês, Molibdênio, Níquel, Chumbo, Selênio e Zinco no solo, folhas e nas sementes. O teor de Cr no solo foi reduzido com a inoculação do mix de *Bacillus* spp. e os teores de Bário, Ferro, Molibdênio, Manganês, Níquel, Chumbo e Zinco não foram influenciados pelas fontes fosfatadas. A inoculação nos manejos LC e SSLC promoveu declínio nos teores de chumbo nas folhas do grão-de-bico. E houve incremento dos teores de Zinco nas sementes com a aplicação do LC em decorrência da decomposição desse material e conseqüentemente disponibilização para as plantas.

Palavras-chave: *Cicer arietinum*; biossólidos; elementos potencialmente tóxicos; nutrição mineral.

Heavy metals in chickpea cultivation inoculated with a mix of *Bacillus* spp. and fertilized with sewage sludge as a source of phosphorus

ABSTRACT

The sewage sludge is a source of nutrients and organic matter for agricultural crops; however, it may contain high levels of heavy metals that can contaminate the soil, cultivated plants, and the environment. The objective of this study was to evaluate the levels of heavy metals in soil, leaves, and chickpea seeds as a result of the application of *Bacillus* and composted sewage sludge. The study was conducted in a field in a 2x4 factorial scheme, where the treatments consisted of the presence or absence of *Bacillus subtilis* sp and *B. megaterium* sp., and four management practices: absence of phosphate fertilization (Test); mineral fertilization with 150 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in the form of single superphosphate (SS); organic fertilization with 150 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in the form of sewage sludge (LC); and mineral and organic fertilization at a 50:50% ratio of P₂O₅ (SSLC), in randomized blocks, with 4 replications. The following heavy metals were evaluated: Arsenic, Barium, Cadmium, Chromium, Copper, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Lead, Selenium, and Zinc in the soil, leaves, and seeds. The Cr content in the soil was reduced with the inoculation of the *Bacillus* spp. mix, and the levels of Barium, Iron, Molybdenum, Manganese, Nickel, Lead, and Zinc were not influenced by the phosphate sources. Inoculation in LC and SSLC treatments led to a decline in lead levels in chickpea leaves. There was an increase in Zn levels in the seeds due to the application of LC, resulting from the decomposition of this material and consequently its availability to the plants.

Keywords: *Cicer arietinum*; biosolids; potentially toxic elements; mineral nutrition.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional tem gerado cada vez mais lodo de esgoto (LE), que possui grande potencial para o uso em áreas agrícolas e florestais. Esse biossólido é fonte promissora de nutrientes, principalmente de nitrogênio (N) e fósforo (P) (KIRCHMANN *et al.*, 2017). Contendo ainda potássio (K), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) (Meleta *et al.*, 2019) e matéria orgânica (Abreu-Junior *et al.*, 2020), sendo esta última constituinte de cerca de 50 % da fração sólida do lodo de esgoto (Kominko *et al.*, 2017).

Por ser material rico em fósforo, o lodo de esgoto tem sido alvo de estudos com o objetivo de utilizá-lo como fonte alternativa de fertilizante fosfatado. Isso ocorre porque os fertilizantes minerais são, em sua grande maioria, provenientes de rochas fosfáticas consideradas cada vez mais escassas, sendo recurso natural finito e não renovável (Samreen; Kausar, 2019).

No entanto, a utilização do lodo de esgoto como fertilizantes é restrita, principalmente devido a presença de elementos potencialmente tóxicos (Nascimento *et al.*, 2020), tais como metais pesados, pesticidas, detergentes, produtos orgânicos tóxicos, desreguladores hormonais e microrganismos patogênicos nele contido (Murray *et al.*, 2019), que têm o potencial de gerar contaminação ambiental e humana através da ingestão de alimentos contaminados.

Smiri *et al.*, (2015) relataram o potencial do lodo de esgoto para a aplicação em solos agrícolas, devido apresentarem teores de metais pesados dentro dos níveis críticos aceitáveis na Tunísia. De acordo com Nascimento *et al.* (2014) a contaminação em função da aplicação do LE acima de níveis permitidos pela legislação resultará da frequência e da forma com que o LE é aplicado ao solo. A utilização de lodo de esgoto por Eid *et al.* (2020) como biofertilizantes para *Corchorus olitorius*, foi avaliado como viável, uma vez que não apresentou riscos ambientais em relação ao acúmulo de metais pesados no solo para todas as dosagens aplicadas (0, 10, 20, 30 e 40 g kg⁻¹). Além disso, essa aplicação não demonstrou impactos adversos na qualidade dos brotos de *C. olitorius*.

Estudos com a aplicação do lodo de esgoto têm elevado a produtividade em diversas culturas. Albuquerque *et al.* (2015) constataram aumento na produtividade e no crescimento de plantas de girassol com a adição de doses de até 30 t ha⁻¹ de lodo de esgoto. E Ragonezi *et al.* (2022) observaram aumento da biomassa total, produtividade e da biomassa aérea da batata-doce nos 2 ciclos de cultivo em função da aplicação do lodo de esgoto.

As plantas são capazes de absorver metais pesados da solução do solo, e armazená-los nos tecidos vegetais. O armazenamento desses elementos na planta é variável conforme órgãos e espécies vegetais. Singh e Agrawal (2010) observaram níveis elevados de Chumbo (Pb) nas sementes de *Vigna radiata* L. cv Malviya janpriya (HUM 6) ao serem fertilizadas com 12 kg m⁻² de lodo de esgoto. De acordo com esses autores, a aplicação de doses de lodo de esgoto acima de 9 kg m⁻² resultou em maiores concentrações de Ni e Pb, enquanto as taxas de 12 kg m⁻² para o Cd promoveram concentrações nos grãos superiores aos limites permitidos na Índia. Nascimento *et al.* (2014) verificaram que a aplicação de doses de lodo de esgoto aumentou os teores de Cu, Ni e Pb no solo, e de Zn, Cu e Mn nas plantas de Girassol.

Existem poucos estudos relacionados a adubação do grão-de-bico com lodo de esgoto como fonte de fósforo e a possível absorção de metais pesados sob a influência de microrganismos do gênero *Bacillus spp.* Diante o exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência da aplicação de *Bacillus spp.* e a adubação com lodo de esgoto nos teores de metais pesado no solo, na planta e nos grãos de *Cicer arietinum L.*

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na fazenda experimental Professor Hamilton de Abreu Navarro, no Instituto de Ciências Agrárias – ICA/UFMG, localizado no campus Montes Claros – MG, nas coordenadas geográficas 16° 40'57.51" S e 43°50'21.40" W, no período de junho a outubro de 2022.

O clima da região é Aw, considerado de acordo Alvares et al. (2013) como sendo megatérmico, com chuvas no verão e inverno seco. Os registros climáticos durante o período da pesquisa estão apresentados na Fig. 1.

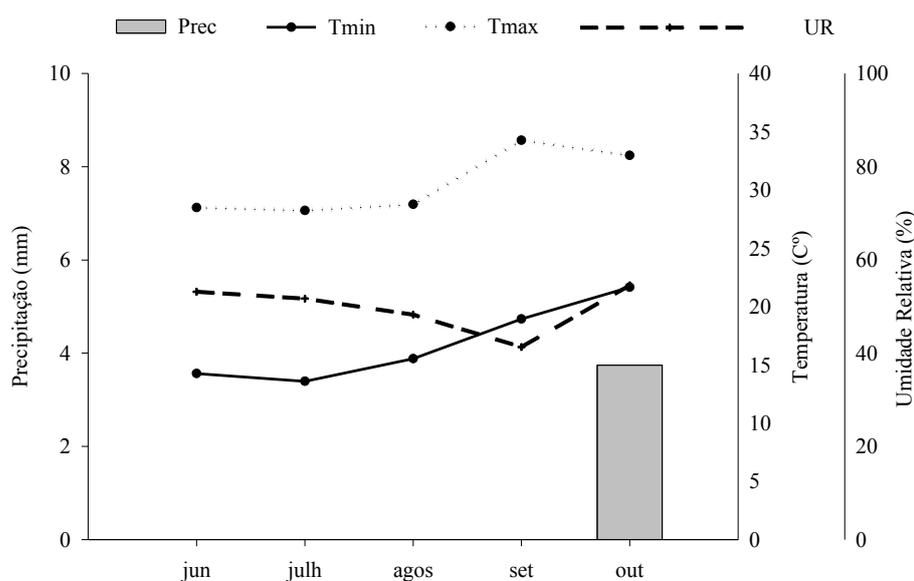


Fig. 1 Precipitação, umidade relativa e temperatura máxima e mínima durante o período de condução do experimento com grão-de-bico no ano de 2022, de acordo informações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023).

O solo foi classificado como Cambissolo Háplico de textura média (Santos et al. 2018). As propriedades físicas e químicas do solo, são descritas a seguir: textura (areia= 30 dag kg⁻¹; silte= 42 dag kg⁻¹ e argila=28 dag kg⁻¹), pH (H₂O) = 5,8; P disponível = 33,4 mg dm⁻³ (método Mehlich⁻¹ e colorimetria); K = 446,1 mg dm⁻³; Ca = 6,86 cmol_c dm⁻³; Mg = 1,40 cmol_c dm⁻³; Al = 0,00 cmol_c dm⁻³; acidez potencial (H+Al) = 0,83 cmol_c dm⁻³; soma de bases (SB) = 9,40 cmol_c dm⁻³; capacidade de troca efetiva (t) = 9,40 cmol_c dm⁻³; capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T) = 10,23 cmol_c dm⁻³; saturação por base (V) = 91,93 % e carbono orgânico do solo = 1,36 dag kg⁻¹.

O lodo de esgoto (LE) proveniente da estação de tratamento de esgoto (ETE -Vieira) da cidade de Montes Claros -MG, já havia sido tratado termicamente a 350° C por 30 minutos na própria ETE. O LE foi adicionado em sacos de nylon e cultivado *Pennisetum purpureum* Schum e *Urochloa brizantha* cv. Marandu. E aos 90 dias após o plantio das gramíneas foi realizado o corte e a trituração do material vegetal, no qual foi adicionado ao lodo de esgoto e realizado o processo de compostagem pelo período de 2 meses. Ao final da compostagem foi coletado amostras para a determinação das características químicas do lodo de esgoto compostado (LC) apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo e do lodo de esgoto compostado usado no experimento. Dados do lodo de esgoto de acordo com Cardoso et al. (2021).

Material	Atributos	Resultado	Atributos	Resultado
Solo	pH (H ₂ O)	5,8	t (cmol _c dm ⁻³)	9,4
	P (mg dm ⁻³)	33,4	m (%)	0
	P rem (mg L ⁻¹)	33,3	T (cmol _c dm ⁻³)	10,23
	K (mg dm ⁻³)	446,1	V (%)	91,93
	Ca (cmol _c dm ⁻³)	6,86	CO (dag kg ⁻¹)	1,36
	Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,4	areia (dag kg ⁻¹)	30
	Al (cmol _c dm ⁻³)	0	silte (dag kg ⁻¹)	42
	H+Al (cmol _c dm ⁻³)	0,83	argila (dag kg ⁻¹)	28
	SB (cmol _c dm ⁻³)	9,4		
Lodo Compostado	pH H ₂ O	6,03	Mg (g kg ⁻¹)	1,6
	CO (g kg ⁻¹)	322,81	Na (mg kg ⁻¹)	618
	Total N (g kg ⁻¹)	32,24	Fe (mg kg ⁻¹)	3075
	C/N	10,01	Zn (mg kg ⁻¹)	283
	CEC (mmol _c kg ⁻¹)	916,01	Mn (mg kg ⁻¹)	120
	MO (g kg ⁻¹)	572,3	Ni (mg kg ⁻¹)	23
	P (g kg ⁻¹)	7,8	Pb (mg kg ⁻¹)	31
	K (g kg ⁻¹)	4	Cu (mg kg ⁻¹)	112
	Ca (g kg ⁻¹)	10,3		

Note: P - fósforo disponível (Mehlich⁻¹); P rem – fósforo remanescente; K – potássio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; (H+Al) – acidez potencial; SB- soma de bases; t – capacidade de troca efetiva; m – saturação por alumínio; T – capacidade de troca de cátions a pH 7; V – saturação de bases; CO – carbono orgânico; Total N – nitrogênio total; C/N – relação carbono/nitrogênio; CEC – capacidade de troca de cátions; MO - matéria orgânica; K- potassium; Fe – ferro; Na – sódio; Zn – zinco; Mn – manganês; Ni – níquel, Pb –chumbo; Cu - cobre.

Os teores de metais pesados no LC apresentaram abaixo do nível do limite aceitável em bio-sólidos (Tabela 1), para que esse material seja empregado em solos agrícolas de acordo com a resolução CONAMA 498 (Conselho Nacional do Meio Ambiente) (Brasil, 2020).

O experimento foi conduzido em condições de campo no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 2x4, correspondendo os tratamentos: consistindo o primeiro fator da presença ou ausência da inoculação de mix de *Bacillus subtilis* sp e *B. megaterium* sp., na população estimada de 4×10^9 células viáveis/ml. O segundo fator correspondeu a diferentes fontes orgânicas e minerais de fósforo: ausência de adubação (Test); adubação mineral com superfosfato simples, correspondendo à 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 (SS); adubação orgânica com lodo de esgoto compostado, correspondendo à 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 (LC) e a adubação mista, sendo superfosfato simples mais o lodo de esgoto compostado na dose de $75 (50\%)$ e $75 (50\%) \text{ kg}^{-1}$ de P_2O_5 respectivamente (SSLC).

O preparo do solo constou de aração e gradagem cerca de vinte dias antes da semeadura. No qual foram demarcadas as parcelas com dimensões de $2 \times 1 \text{ m}$, constituídas de quatro linhas de cultivo espaçadas entre linhas e plantas $0,50 \times 0,10 \text{ m}$ respectivamente. Sendo consideradas para as avaliações 10 plantas situadas na área útil das duas linhas centrais. Foi utilizado a cultivar BRS 'Aleppo', com adaptabilidade ao semiárido mineiro e possui crescimento semiereto e grãos do tipo Kabuli. A semeadura ocorreu em sulco de plantio e com 15 dias após emergência (DAE) foi realizado o desbaste a fim de obter 10 plantas por metro linear, totalizando 20.000 plantas por hectare.

Foi realizada a adubação de base em todas as parcelas com 20 kg ha^{-1} de N e K_2O na forma de ureia e cloreto de potássio, respectivamente. Em relação os tratamentos com adubação fosfatada foram adicionados na semeadura 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato simples (18% de P_2O_5) ou lodo compostado, conforme cada tratamento. A recomendação do estudo em relação ao fósforo, foi de acordo com Pegoraro et al. (2018), no qual foi levado em consideração o teor total de P (Tabela 1) presente no lodo compostado para a determinação da dose de fósforo fornecida, no qual foi aplicado $8.392,31 \text{ kg ha}^{-1}$ de lodo compostado na recomendação de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

A adubação de cobertura ocorreu aos 15 e 30 DAE com aplicação 50 e 30 kg ha^{-1} de N na forma de ureia, respectivamente. Aos 23 DAE foi aplicado 80 g ha^{-1} de molibdênio via foliar na forma de molibdato de amônio. As recomendações utilizadas neste estudo foram de acordo os resultados científicos descritos por Almeida Neta et al. (2020) e Pegoraro et al. (2018).

A irrigação utilizada foi por meio de microaspersão, com o turno de rega de quatro dias e os tratamentos fitossanitários conforme as necessidades e as recomendações para a cultura na região (Nascimento et al., 2016).

2.1 Características avaliadas

No início do florescimento da cultura (74 DAE) foram realizadas as coletas de amostras de solo, sendo quatro amostras simples para compor uma composta por parcela na profundidade de 0,0-20 cm. No mesmo dia foram coletadas amostras do material vegetal do terço superior (quarta folha a partir do ramo apical) encaminhados para o laboratório onde foram secas em estufa de circulação forçada de ar a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ e em seguida foram moídas.

As amostras de solo foram secas e peneiradas para obter a TFSA (terra fina seca ao ar) e realizado a análise química. E para as análises dos metais pesados foi pesado 0,2 g de solo e para o material vegetal foram pesados aproximadamente 0,5 g. As amostras foram digeridas até completa dissolução em bloco digestor com a adição de 10 ml de HNO₃ puríssimo 65% (v/v), de acordo com a metodologia EPA-3051A (U.S.EPA, 2007).

A determinação dos teores de metais pesados nos extratos das amostras dos componentes solo, folhas e sementes do grão-de-bico, foram realizados por meio do espectrofotômetro de emissão ótica de plasma acoplado por indução (ICP- MS/MS), nos seguintes elementos As, Ba, Cd, Cr, Mn, Mo, Ni, Pb, Se e Zn, e por meio da espectrofotometria de absorção atômica o Fe e Cu (AAS- Atomic Absorption Spectrometry).

2.2. Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (Anova) e posteriormente, as médias foram comparadas pelo teste de agrupamento Scott-Knott a significância ($p \leq 0,05$). Sendo a análise estatística realizada pelo software estatístico Sisvar 5.3 (Ferreira, 2014).

3. RESULTADOS

As fontes fosfatadas e a inoculação com o mix de *Bacillus* spp. influenciaram de modo isolado os atributos químicos do solo na linha de plantio. As fontes de fósforo interferiram nos atributos P disponíveis, soma de bases (SB), CTC efetiva (t) e CTC potencial (T) ($p \leq 0,05$) (Tabela 2). Não houve efeito significativo da inoculação com *Bacillus* spp. em nenhum dos atributos químicos do solo avaliados ($p > 0,05$).

Tabela 2. Atributos químicos do solo após aplicação dos manejos fosfatados: sem fontes de fósforo-Test, superfosfato simples-SS, lodo de esgoto compostado-LC e superfosfato simples + lodo compostado, na proporção 1:1-SSLC na linha de plantio do grão-de-bico.

Atributos	Manejos				p-valor
	Test	SS	LC	SSLC	
pH (H ₂ O)	7,60	7,30	7,50	7,50	0,08 ^{ns}
P (mg dm ⁻³)	25,21B	39,70A	47,80A	47,30A	0,01*
K (mg dm ⁻³)	333,50	323,15	330,05	325,45	0,91 ^{ns}
Ca (cmol _c dm ⁻³)	7,54	7,94	7,78	7,77	0,37 ^{ns}
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,41	1,46	1,66	1,48	0,71 ^{ns}
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	0,98	1,02	1,06	1,03	0,47 ^{ns}
SB (cmol _c dm ⁻³)	9,81B	10,24A	10,29A	10,10A	0,01*
t (cmol _c dm ⁻³)	9,81B	10,24A	10,29A	10,10A	0,01*
T (cmol _c dm ⁻³)	10,79B	11,25A	11,35A	11,13A	0,004*
V (%)	90,92	90,94	90,66	90,72	0,88 ^{ns}
C.O. (dag kg ⁻¹)	1,40	1,47	1,44	1,45	0,78 ^{ns}
P rem (mg L ⁻¹)	26,36	27,75	27,07	27,68	0,08 ^{ns}

Médias seguidas por mesma letra maiúscula na linha não se diferem pelo teste de agrupamento Scott-Knott a 5% de probabilidade. ^{ns}, * não significativo e significativo, respectivamente a 5 % pelo teste F da análise de variância.

Os manejos SS, LC e SSLC interferiram ($p \leq 0,05$) nos atributos químicos do solo P, SB, t e T (Tabela 2). Houve maiores teores de P disponível na linha de cultivo quando utilizado os manejos SS, LC e SSLC, com incremento de 47,3%; 46,8 % e 36,5 % respectivamente, em comparação ao tratamento testemunha (Tabela 2).

A adubação com os manejos SS, LC e SSLC resultou em aumento de 4% na SB do solo da linha de cultivo, em relação ao tratamento sem adubação fosfatada (Tabela 2), proporcionando, dessa maneira, o acréscimo de t e T (Tabela 2). Em comparação à testemunha, os acréscimos médios de T no solo, foram de 4,9%; 4,4 % e 3,1% respectivamente para LC, SS e SSLC (Tabela 2).

O pH do solo apresentou média geral de 7,4 sendo a classificação química como alcalinidade fraca e agrônômica, como muito alta (Tabela 2). Os demais atributos químicos apresentaram os seguintes teores médios: P= 40,01 mg dm⁻³; P rem= 27,25 mg L⁻¹; K= 329,28 cmol_c dm⁻³; Ca= 7,71 cmol_c dm⁻³; Mg= 1,47 cmol_c dm⁻³; H+Al= 0,97 cmol_c dm⁻³; SB=10,07 cmol_c dm⁻³; t=10,07 cmol_c dm⁻³; T=11,07 cmol_c dm⁻³; V= 90,78% e CO= 1,7 dag kg⁻¹ (Tabela 2).

3.1. Metais pesados no Solo

Houve interação significativa ($p \leq 0,05$) entre o mix de *Bacillus* spp. e as fontes fosfatadas para os metais pesados As e Cu (Tabela 3). A inoculação com o mix de *Bacillus* spp. influenciou de forma isolada no teor de Cr (Fig. 2). Os manejos fosfatados não interferiram nos teores dos metais

pesados avaliados ($p > 0,05$). Os metais pesados Cd e Se não foram quantificados nas amostras do solo.

Tabela 3: Efeito da interação do *Bacillus* spp. com os diferentes manejos de adubação nos teores dos metais pesados Arsênio (As) e Cobre (Cu) no Cambissolo Háplico.

Metais pesados (mg kg ⁻¹)	<i>Bacillus</i> spp.	Manejos				<i>p</i> -valor
		Test	SS	LC	SSLC	
As	Sem	0,68	0,79	0,58	0,58b	0,01*
	Com	0,42B	0,63B	0,81A	1,08Aa	
Cu	Sem	9,12B	7,77Bb	10,87A	11,28A	0,04*
	Com	8,44	10,96a	10,88	9,42	

Testemunha (Test); superfosfato simples (SS); lodo compostado (LC); superfosfato simples + lodo compostado (SSLC). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não se diferem estatisticamente a 5% pelo teste de agrupamento Scott-Knott. * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F da análise de variância.

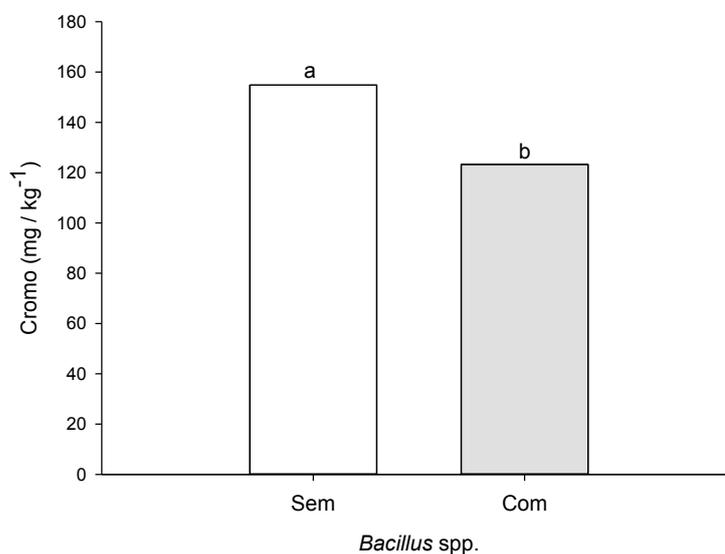


Fig. 2. Efeito isolado do mix de *Bacillus* spp no teor do metal pesado Cromo (Cr) no solo cultivado com grão-de-bico. Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem pelo teste de agrupamento Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A adubação com SSLC em associação ao *Bacillus* spp. aumentou o teor de As no solo em 46,29% em comparação ao mesmo manejo não inoculado (Tabela 3). Por outro lado, a presença do

Bacillus aumentou o teor de As em 48,14% e 61,11% no solo manejados com LC e SSLC, respectivamente, comparado à testemunha.

A aplicação de *Bacillus* spp. e adubação com SS aumentou o teor de Cu em média 29,10% comparado ao mesmo manejo não inoculado. Já em relação os manejos dentro do efeito *Bacillus* spp. constatou-se um aumento no solo de 16,1% e 19,1% correspondente ao LC e SSLC não inoculados, comparados a testemunha (Tabela 3).

A aplicação do mix de *Bacillus* spp. interferiu apenas no teor de Cr (Fig. 2), promovendo a redução deste metal no solo em 20,38%. Não houve influência dos manejos fosfatados nos metais pesados Ba, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb e Zn obtendo-se as seguintes médias 5,08 mg kg⁻¹; 36,18 mg kg⁻¹; 0,38 mg kg⁻¹; 70,01 mg kg⁻¹; 9,06 mg kg⁻¹; 0,85 mg kg⁻¹ e 43,56 mg kg⁻¹, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios referentes aos teores de metais pesados no solo que não apresentaram efeito nos diferentes manejos de adubação: ausência de adubação (Test), Superfosfato Simples (SS), Lodo de esgoto Compostado (LC) e mistura de Superfosfato Simples+ Lodo de esgoto Compostado (SSLC).

Metais Pesados (mg kg ⁻¹)	Manejos				<i>p</i> -valor
	Test	SS	LC	SSLC	
Ba	5,33	5,88	4,28	4,82	0,22 ^{ns}
Fe	37,58	34,84	35,96	36,35	0,08 ^{ns}
Mo	0,38	0,39	0,38	0,37	0,41 ^{ns}
Mn	65,37	64,29	76,54	73,84	0,19 ^{ns}
Ni	9,45	9,75	8,18	8,85	0,87 ^{ns}
Pb	0,86	0,85	0,85	0,84	0,99 ^{ns}
Zn	44,17	34,9	50,01	45,16	0,07 ^{ns}

Metais pesados: Bário (Ba), Ferro (Fe), Molibdênio (Mo), Manganês (Mn), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn). ^{ns}, não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F da análise de variância.

3.2. Metais pesados na folha do grão-de-bico

Houve interação significativa ($p \leq 0,05$) da inoculação do mix de *Bacillus* spp. com as fontes fosfatadas para os seguintes metais pesados nos teores foliares: Ba, Cr, Fe, Pb e Se (Tabela 5). Os manejos fosfatados interferiram de forma isolada nos teores foliares de As, Mo e Zn (Tabela 6). A inoculação interferiu apenas no teor de Cu (Fig. 3) nas folhas do grão-de-bico.

O mix de *Bacillus* spp. no manejo da testemunha reduziu os teores dos metais Cr, Fe e Se na folha do grão-de-bico (Tabela 5). Entretanto, para o manejo SS a inoculação incrementou os teores foliares dos metais pesados Ba, Fe e Pb, e também do Se no manejo LC (Tabela 5).

A ausência da inoculação nos manejos contribuiu para a elevação dos teores foliares dos metais Fe, Pb, Se e Ba na testemunha (Tabela 5). E em função da inoculação com o mix de *Bacillus* spp. constatou-se que o manejo SS propiciou o aumento dos teores de Ba, Fe e Pb nas folhas do grão-de-bico (Tabela 5). Verificou-se também que para os manejos LC e SSLC a inoculação do mix de *Bacillus* spp. proporcionou uma menor absorção de Pb em relação aos demais manejos inoculados (Tabela 5).

Tabela 5. Efeito da interação do mix de *Bacillus* spp. com os manejos empregados nos teores dos metais pesados em folhas do grão-de-bico.

Metais pesados (mg kg ⁻¹)	<i>Bacillus</i> spp.	Manejos				p-valor
		Test	SS	LC	SSLC	
Ba	Sem	25,66A	15,83Bb	21,95A	18,67B	0,003*
	Com	19,37B	28,59Aa	18,87B	18,82B	
Cr	Sem	5,36Aa	3,34A	3,96A	4,85A	0,034*
	Com	2,72Ab	4,14A	4,95A	4,71A	
Fe	Sem	1,98Aa	0,66Cb	1,36B	1,31B	0,000*
	Com	1,25Bb	2,97Aa	1,51B	1,32B	
Pb	Sem	1,33A	0,47Bb	0,84B	0,68B	0,000*
	Com	1,02B	1,84Aa	0,58C	0,37C	
Se	Sem	0,91Aa	0,42B	0,41Bb	0,50B	0,031*
	Com	0,54Bb	0,41B	0,91Aa	0,54B	

Bário (Ba); Cromo (Cr); Ferro (Fe); Chumbo (Pb); Selênio (Se); Testemunha (Test); superfosfato simples (SS); lodo compostado (LC); superfosfato simples + lodo compostado (SSLC). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não se diferem estatisticamente à 5 % pelo teste de agrupamento Scott-Knott. * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F da análise de variância.

Tabela 6. Teores médios de metais pesados na folha do *Cicer arietinum* L. em função dos manejos empregados no seu cultivo.

Metais pesados (mg kg ⁻¹)	Manejos				p-valor
	Test	SS	LC	SSLC	
As	0,65A	0,37B	0,45B	0,46B	0,004*
Mo	0,32B	0,55A	0,53A	0,51A	0,040*
Zn	26,64B	32,04A	34,97A	29,61B	0,036*

Arsênio (As), Molibdênio (Mo) e Zinco (Zn); Testemunha (Test); superfosfato simples (SS); lodo compostado (LC); superfosfato simples + lodo compostado (SSLC). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não se diferem estatisticamente à 5 % pelo teste de agrupamento Scott-Knott. * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F da análise de variância.

O manejo da testemunha (sem adubação fosfatada) aumentou o teor foliar de As em 30,76% em relação a adubação com lodo compostado (LC) (Tabela 6). Além disso, promoveu redução na absorção de Mo em relação aos demais tratamentos (Tabela 6). A combinação do superfosfato simples + lodo compostado (SSLC) diminuiu o teor de Zn na folha do grão-de-bico em comparação aos manejos Testemunha, SS e LC (Tabela 6).

A inoculação com o mix de *Bacillus* spp. resultou em redução de aproximadamente 13,73% no teor foliar de Cu (Fig.3).

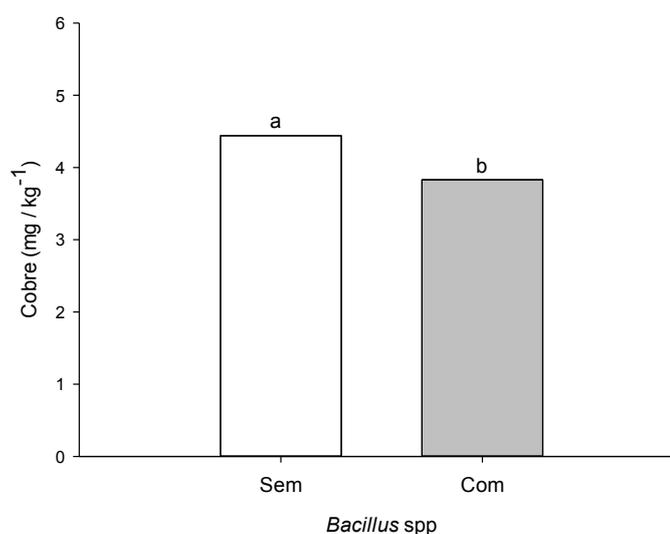


Fig. 3. Efeito isolado da inoculação com *Bacillus* spp. no teor de Cobre na folha do grão-de-bico. Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem pelo teste de agrupamento Scott-Knott a 5% de probabilidade.

3.3. Metais pesados nos grãos

Houve interação ($p \leq 0,05$) entre os manejos fosfatados e a inoculação para os teores de metais pesados Cr e Mn nas sementes do grão-de-bico (Tabela 7). Efeitos isolados dos manejos foram observados nos metais pesados Ba e Zn (Tabela 8). E o efeito da inoculação influenciou os teores de Cu nas sementes do *Cicer arietinum* L. (Fig. 4).

Tabela 7. Efeito da interação do mix de *Bacillus* spp. e os manejos fosfatados nos teores de metais pesados Cromo (Cr) e Manganês (Mn) em sementes de grão-de-bico cultivado no Norte de Minas Gerais.

Metais pesados (mg kg ⁻¹)	<i>Bacillus</i> spp.	Manejos				<i>p</i> -valor
		Test	SS	LC	SSLC	
Cr	Sem	0,33B	0,44Aa	0,24B	0,31Ba	0,028*
	Com	0,24A	0,25Ab	0,29A	0,15Ab	
Mn	Sem	7,39A	8,23A	7,12Ab	7,60A	0,015*
	Com	7,49B	8,64A	9,43Aa	7,29B	

Testemunha (Test); superfosfato simples (SS); lodo compostado (LC); superfosfato simples + lodo compostado (SSLC). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não se diferem estatisticamente a 5% pelo teste de agrupamento Scott-Knott. * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F da análise de variância.

Verificou-se que a presença da inoculação nos manejos SS e SSLC proporcionou redução dos teores de Cr nas sementes do grão-de-bico, e a elevação dos teores de Mn ocorreu com a aplicação de LC (Tabela 7). A ausência da inoculação em relação aos manejos incrementou o teor de Cr nas sementes quando aplicado os manejos SS e SSLC. Entretanto, com a inoculação não foi verificada diferença significativa nos teores do metal pesado Cr nas sementes em relação aos manejos aplicados. Já para os teores de Mn, notou-se que com a inoculação do mix de *Bacillus* spp. proporcionou incremento desse metal quando empregado os manejos SS e LC entorno de 13,31% e 20,57% respectivamente, comparados a testemunha.

Tabela 8. Efeito isolado dos manejos nos teores de metais pesados Bário (Ba) e Zinco (Zn) nas sementes do grão-de-bico.

Metais pesados (mg kg ⁻¹)	Manejos				<i>p</i> -valor
	Test	SS	LC	SSLC	
Ba	1,65B	1,79B	2,55A	1,63B	0,002*
Zn	39,06B	39,70B	45,29A	34,28B	0,009*

Testemunha (Test); superfosfato simples (SS); lodo compostado (LC); superfosfato simples + lodo compostado (SSLC). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não se diferem estatisticamente à 5 % pelo teste de agrupamento Scott-Knott. * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F da análise de variância.

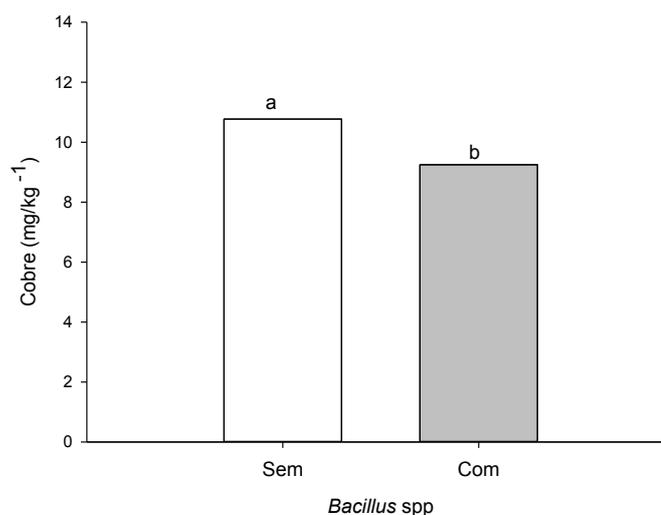


Fig. 4. Efeito isolado do mix de *Bacillus* spp. no teor de Cu nas sementes de grão-de-bico. Médias seguidas por mesma letra minúscula não diferem pelo teste de agrupamento Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A utilização do manejo LC promoveu elevação dos teores dos metais pesados Ba e Zn nas sementes em 35,29% e 13,75%, respectivamente, em relação a testemunha (Tabela 8).

Com a inoculação do mix de *Bacillus* spp., obteve-se redução de aproximadamente 14,11% no teor de Cu nas sementes (Fig. 4).

4. DISCUSSÃO

As fontes fosfatadas SS, LC e SSLC aumentaram os teores dos atributos químicos do solo P, SB, t e T (Tabela 2). A utilização do manejo com LC aumentou o teor de P no solo, igualando-se estatisticamente à da adubação mineral (SS), bem como a mistura das duas fontes (orgânica e mineral) – SSLC, indicando o elevado potencial do lodo de esgoto na disponibilização de P para as plantas.

Esses resultados corroboraram com os de Costa et al. (2014) que também observaram maior disponibilização de P com a aplicação de lodo de esgoto. Esses autores relataram ainda a disponibilização de outros nutrientes como Mg, Fe, K, Mn, o aumento da CTC e da matéria orgânica no solo em função da aplicação de lodo de esgoto no solo. Rodrigues et al. (2023) também observaram a disponibilização de P, N e S quando aplicado o lodo de esgoto no solo. Para esses autores o lodo de esgoto representa fonte confiável de adubação, principalmente pela disponibilização desses nutrientes (P, N e S) favorecendo o desenvolvimento das plantas. Maior

disponibilização de P também foi observado por Bonini et al. (2015) com a aplicação de lodo de esgoto em estudos realizados em Latossolo Vermelho degradado.

O lodo de esgoto compostado contém P nas frações minerais e orgânicas (Houben et al. 2019). De acordo com Costa et al. (2014), a aplicação de LC no solo intensificou o processo microbiano de decomposição da matéria orgânica, resultando na mineralização de P e das bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) presentes no composto de lodo. Esse fenômeno também explica o aumento da soma de bases (SB) no presente estudo (Tabela 2).

4.1. Metais pesados no solo

Os teores dos metais pesados no solo observados no atual estudo, não ultrapassaram os teores médios limitantes pela resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020 (Brasil, 2020). O aumento nos teores de As com a adição do LC e SSLC e a inoculação do mix de *Bacillus* spp (Tabela 3), ocorreu devido à presença do As no lodo compostado e a adição do mix de bactérias que promoveu redução do pH rizosférico, devido à liberação de ácidos orgânicos durante o processo de decomposição da matéria orgânica e conseqüentemente aumentou a disponibilização do As no solo (Abujabhat et al. 2016). Segundo Bauer e Blodau (2006), o pH é importante fator na disponibilização do As, e outros metais. Com a redução do pH e associação com a matéria orgânica há redução das cargas negativas do solo, o que resulta em menor capacidade de adsorção aos metais.

Os manejos LC e SSLC aumentaram os teores Cu no solo quando não inoculados (Tabela 3). Nascimento et al. (2014) também observaram aumento dos teores de Cu no solo, com a aplicação de lodo de esgoto na dose de $29,04 \text{ t ha}^{-1}$, disponibilizando $1,99 \text{ kg ha}^{-1}$ de Cu. Esses autores ainda constataram que não houve risco de contaminação do solo com a aplicação do LE por este elemento. Achkir et al. (2023) relataram em seus estudos o aumento dos teores de Cu no solo em função da aplicação de lodo de esgoto. No entanto, de acordo com esses autores apesar desse aumento, as concentrações ficaram a baixo dos níveis críticos estabelecidos para o uso agrônômico pela Diretriz da União Europeia (86/278/EEC).

O efeito isolado do mix de *Bacillus* spp. reduziu 20,38% o teor de Cr no solo (Figura 2). A produção de compostos orgânicos provenientes da atividade desse grupo de microrganismos pode ter contribuído para a redução da disponibilidade de Cr no solo, de acordo com Pandey et al., (2022) microrganismos podem mobilizar ou produzir compostos orgânicos capazes de complexar Cr na solução do solo.

Não houve efeito dos manejos sobre os metais pesados Ba, Fe, Mo, Mn, Ni, Pb e Zn (Tabela 4). Os teores médios desses metais pesados encontram-se a baixo dos níveis propostos pela normativa conjunta da COPAM (Conselho Estadual de Política Ambiental) e CERH (Conselho Estadual de Recursos Hídricos) no ano de 2022 (Minas Gerais, 2022). Observou-se que no solo sem adubação (testemunha), apresentou teores de metais pesados. Este fato segundo Huguen et al., (2013) pode estar relacionado a origem dos metais pesados no solo. Isso porque por meio do

processo de intemperismo de rochas ricas desses elementos disponibiliza-os. Outro fator que pode explicar é a adição dos metais pesados por ações antrópicas como adubações químicas, irrigação, adição de material orgânico contaminado por metais etc. Os metais pesados são passíveis de acumulação no solo, em função das suas características, podendo assim se tornar uma fonte de disponibilização a outros sistemas ambientais (Hugen et al. 2013).

Os autores Eid *et al.* (2018) observaram incrementos nos teores de Al, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn com a aplicação de lodo de esgoto no solo cultivado com fava (*Faba sativa* Bernh) na Europa, e os teores obtidos não ultrapassaram os níveis máximos permitidos pelo Conselho da Comunidade Européia (2001).

Assim como no presente estudo, Garrido et al. (2005) também não observaram teores de Cd no solo com a aplicação de lodo de esgoto. Este elemento possui potencial tóxico alto, pois é facilmente transferido de um nível para outro na cadeia trófica, podendo ocasionar contaminação aos seres humanos e em animais. Segundo Sharma et al. (2017), os biossólidos podem ser empregados na agricultura, pois proporcionam incrementos na produtividade das plantas e reduzem a biodisponibilidade de metais pesados, no entanto, deve-se utilizar proporções adequadas.

4.2. Metais Pesados nas Folhas do grão-de-bico

A maioria dos metais pesados avaliados no presente estudo Cu, Fe, Mn, Ni, Zn também são considerados micronutrientes para as plantas (Taiz et al., 2017). Contudo quando em níveis elevados se tornam elementos tóxicos podendo acumular-se nas plantas, contaminar animais e seres humanos devido a ingestão de alimentos contaminados. Já os demais (As, Ba, Cd, Cr, Pb) são considerados poluentes e podem interferir de forma negativa no crescimento e produtividade das plantas.

A inoculação no manejo testemunha reduziu os teores de Cr, Fe e Se nas folhas de grão-de-bico (Tabela 5). Segundo Kumar *et al.* (2018) e Pandey *et al.* (2022) a presença do mix de *Bacillus* spp. propiciou maior produção de compostos promotores de complexação com metais no solo, reduzindo a sua disponibilidade e absorção pelas plantas.

No manejo SS inoculado houve aumento nos teores foliares de Ba, Fe e Pb (Tabela 5). Yada et al., (2020) observaram que com a aplicação de lodo de esgoto em dois tipos de solos: latossolo vermelho eutroférico e latossolo vermelho distrófico houve aumento dos teores de Cd, Ni, Pb e Zn na parte aérea do milho, no entanto não verificaram diferença para as doses de 5, 10 e 20 t ha⁻¹ aplicadas. Eid *et al.* (2018) obtiveram teores médios de 37,6 mg kg⁻¹ de Pb em folhas de fava (*Faba sativa* Bernh.) avaliadas após 80 dias da aplicação de 150 t ha⁻¹ de lodo de esgoto, verificaram restrição da morfologia e da biomassa da fava em função da alta dosagem do lodo. De acordo com esses autores, essas alterações na planta estão relacionadas as maiores concentrações de metais pesados nas maiores concentrações do lodo, reduzindo as taxas fotossintética e de transpiração das plantas afetando o seu desenvolvimento. Zuba Junio *et al.* (2011) observaram redução dos teores de Pb na planta com o aumento das doses de lodo no esgoto, os autores relacionaram essa redução em função da complexação do metal com a matéria orgânica do lodo.

Apesar do aumento dos teores de Fe nas folhas do grão-de-bico não foi verificado visualmente nenhuma toxidez por esse elemento, sendo ele considerado imóvel na planta. No entanto, ele participa de processos relevantes como formação de enzimas como citocromo oxidase, essenciais no transporte de elétrons, tanto na fotossíntese e respiração (Taiz *et al.* 2017). Aksoy *et al.*, (2017) relataram que a cultura da soja possui grande potencial para ser usada como cultura biofortificadora de Fe, a fim de sanar a deficiência desse nutriente em seres humanos.

Nos manejos SS, LC e SSLC foi observado menores teores de As nas folhas do grão-de-bico, em comparação à testemunha (Tabela 6). Entretanto, este fato contradiz Varennes (2003), que afirma que com a adição de adubos fosfatados ao solo pode ocorrer um agravamento da toxicidade do As. Isso porque os íons fosfato ocupam locais de adsorção ao invés do As, o que aumenta a concentração de As na solução do solo e, conseqüentemente, maior absorção desse elemento pelas plantas. No presente estudo, a ausência de qualquer tipo de adubação fosfatada favoreceu a maior absorção de As pelas plantas do grão-de-bico e o acúmulo no limbo foliar. De acordo com Hartley e Lepp (2008), esse elemento tende a se concentrar em menor quantidade em folhas mais novas, sementes e frutos quando absorvidos por plantas. Já Kabata-Pendias *et al.* (2001) observaram que as suas maiores concentrações são nas raízes e em folhas mais velhas das plantas.

A inoculação do mix de *Bacillus* spp. reduziu os teores de Cu nas folhas do grão-de-bico. Esse decréscimo observado pode estar relacionado com a utilização desse elemento pelos microrganismos *Bacillus* spp e pelos que atuam em simbiose no processo de fixação biológica de nitrogênio. De acordo Aquino Neto e Camargo (2000), o metal torna-se insolúvel ou complexado com as proteínas do tecido microbiano, tornando-se menos disponível a absorção pelas plantas. Mesmo com a redução de Cu no presente estudo não foi verificado visualmente deficiências desse elemento nas plantas do grão-de bico durante a condução do experimento. Os teores de Cu quando em baixas concentrações nas plantas podem ocasionar nas folhas jovens murchamento, enrolamento, clorose e tornar-se quebradiças (Taiz *et al.* 2017).

4.3. Metais Pesados nos grãos

Houve interação ente os manejos e o mix de *Bacillus* spp. para os metais Cr e Mn presentes nas sementes do grão-de-bico (Tabela 7). Observou-se que a aplicação de *Bacillus* nos tratamentos com a SS e SSLC reduziu o teor do Cr nas sementes (Tabela 7). Este fato pode ser explicado devido à adição da matéria orgânica contida no lodo de esgoto compostado. Os microrganismos adicionados podem ainda ter liberado compostos orgânicos durante o processo de decomposição desse material, e com a liberação desses compostos orgânicos promoveu a complexação desse metal no solo, deixando-o menos disponível na solução do solo. Dessa forma, houve menor absorção do Cr pelas plantas, quando ocorreu a inoculação acumulando-se menos na semente.

A inoculação nos manejos LC e SS aumentou os teores de Mn nas sementes (Tabela 7). Apesar de não ter ocorrido diferença significativa na disponibilidade desse elemento no solo, o grão-de-bico foi capaz de absorver e acumular esse elemento nas sementes. Esse aumento se deve ao

fato do material de origem (LC) conter em sua composição teor considerável de Mn (Tabela 1) e matéria orgânica, possibilitando a formação de complexos orgânicos solúveis, aumentando a disponibilidade e transporte desse elemento até as raízes, resultando na absorção pelas plantas e alocação nas sementes.

O manejo LC aumentou teores dos metais pesados Ba e Zn nas sementes (Tabela 8), estando esses metais dentro dos limites permitidos pela Comissão Européia (EC, 2006) para gêneros alimentícios. Em estudos realizados por Signh; Agrawal (2010) obtiveram maiores teores de Zn nas sementes *Vigna radiata* L.cv. Malviya janpriya (HUM 6) adubadas com doses de 12 kg m⁻² de lodo de esgoto. Ainda de acordo com esses autores com a aplicação de doses do lodo de esgoto acima de 9 kg m⁻² houve maiores concentrações de Ni e Pb e para o Cd em taxas de 12 kg m⁻², promovendo concentrações nos grãos superiores aos limites permitidos na Índia. A elevação dos teores de Zn nas sementes, é relacionado ao fato de ter ocorrido uma redução do pH rizosférico em função do processo de decomposição da matéria orgânica, facilitando assim uma maior absorção desse elemento e, conseqüentemente, acúmulo nas sementes.

Em estudos realizados por Eid *et al.*, (2018), verificaram que houve aumento nos teores dos metais pesados nos tecidos da fava em função da aplicação do lodo de esgoto, entretanto, esses níveis se encontravam dentro da faixa considerada normal nas partes comestíveis (vagens) havendo um efeito favorável no rendimento e crescimento das plantas, com a adição de 120 t ha⁻¹ de lodo de esgoto no solo. Esses autores observaram ainda redução dos teores de acordo com os componentes da planta avaliados (raízes > caule > folhas > vagens).

Os teores de Cu nas sementes foram em média 10,02 mg kg⁻¹ (Fig. 4), estando a baixo do limite tóxico em grãos aceitável pela Comissão Européia (EC-2006). Sendo observada redução dos teores de Cu nas sementes em função da aplicação do mix de *Bacillus* spp. como referido anteriormente, os microrganismos podem ter imobilizado esse elemento, fazendo com que houvesse menor disponibilidade as plantas e isso veio a refletir na quantidade de Cu nas sementes.

Com este estudo observou-se que a utilização do lodo de esgoto compostado contribuiu com o aumento dos teores de P do solo, e com a sua aplicação no solo os valores de metais pesados não ultrapassaram os teores médios previstos pela resolução N° 498 do CONAMA. Da mesma forma, os valores de metais pesados encontrados na planta e nos grãos do *Cicer arietinum* L. apresentaram-se dentro dos níveis aceitáveis para a utilização humana. Sendo viável a utilização do lodo de esgoto compostado como fonte fostada alternativa.

5. CONCLUSÕES

Os metais pesados encontrados no solo após a adubação com lodo de esgoto encontram-se abaixo dos limites máximos permitidos pela resolução N° 498 do CONAMA;

Menores acúmulos dos teores de chumbo (Pb) nas folhas do grão-de-bico são quantificados quando aplicado o manejo SSLC inoculado com o mix de *Bacillus* spp.

A aplicação de lodo inoculado aumenta os teores de Zn nas sementes.

6. REFERÊNCIAS

- ABREU-JUNIOR, C.H.; OLIVEIRA M.G.; CARDOSO, P.H.S.; MANDU, T.S.; FLORENTINO, A.L.; OLIVEIRA, F.C.; REIS, J.V.; ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; NOGUEIRA, T.A.R.; CAPRA, G.F.; HE, Z.; 2020. Sewage sludge application in *Eucalyptus urograndis* plantation: availability of phosphorus in soil and wood production. **Frontiers in Environmental Science**, v. 8:116
- ABUJABHAH, I.S.; BOUND, S.A.; DOYLE, R.; BOWMAN, J.P.; 2016. Effects of biochar and compost amendments on soil physico-chemical properties and the total Community within a temperate agricultural soil. **Applied Soil Ecology**, v. 98, p.243-253,
- ACHKIR, A.; AOURAGH, A.; EL MAHI, M.; LOTFI, EL M.; LABJAR, N.; EL BOUCH, M.; OUAHIDI, M.L.; BADZA, T.; FARHAME, H.; EL MOUSSAOUI, T.; 2023. Implication of sewage sludge increased application rates on soil fertility and heavy metals contamination risk. **Emerging Contaminants**, v.9. article 100200
- AKSOY, E.; MAQBOOL, A.; TINDAS, I.; CALISKAN, S.; 2017. Soybean: a new frontier in understanding the iron deficiency tolerance mechanisms in plants. **Plant Soil**, 418, 37-44.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GOLÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G.; 2013. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol Zeitschrift** 22(6):711-728.
- AQUINO NETO, V., CAMARGO, O. A.; 2000. Crescimento e acúmulo de cromo em alface cultivada em dois latossolos em CrCl₃ e resíduo de curtume. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 24, n.1, p. 225-235
- BAUER, M.; BLODAU, C.; 2006. Mobilization of arsenic by dissolved organic matter from iron oxides, soils and sediments. **Science of the Total Environment** 354:179-190
- BETTIOL, W; DE CAMARGO, O.A.; 2006. **A disposição de lodo de esgoto em solo agrícola**. Disponível em:< <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/129796/1/2006PL-028.pdf>>
- BONINI, C.S.B.; ALVES, M.C.; MONTANARI, R.; 2015. Sewage sludge and mineral fertilization on recovery of chemical properties of a degraded soil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 19(4):388-393.
- BRASIL.; 2020. Resolução nº 498, de 19 de agosto de 2020. **Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e da outras providências**. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). R DOU: 21/08/2020, Seção 1. P.265. Available via DIALOG.
- CARDOSO, P.H.S.; GONÇALVES, P.W.B.; ALVES, G.O.; PEGORARO, R.F.; SAMPAIO, R.A.; 2021. Production of organic fertilizer based on sewage sludge cultivated with grass under an aeration system. **Revista Ceres** 68(5):471-483.

CARVALHO, M.C.S.; 2023. **Micronutrientes**. Embrapa arroz e feijão, Brasília, DF. Disponível em:<
<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/adubacao1>

COSTA, V.L.; MARIA, I.C.; CAMARGO, O.A.; GREGO, C.R.; MELO, L.C.A.; 2014. Spatial distribution of phosphorus in an Oxisol amended with sewage sludge and mineral fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 18(3):287-293

COMISSÃO EUROPÉIA, E. (2006). Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in Foodstuffs. **Off. J. Eur. Union**, v.364, p.5-24.

COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES.; 2021. **Waste management (use of sewage sludge in agriculture) (amendment) regulations**. SIS 267. Disponível em:
https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/73f6e5e7-2b69-4638-9194-64fbca2a5e76/language-en?_publicationDetails_PublicationDetailsPortlet_source=search

CUNHA, A.H.N.; FERNANDES, E.P.; ARAÚJO, F.G.; MALAFAIA, G.; CORREIO, J.A.V., 2015. Vermicompostagem de lodo de curtume associado a diferentes substratos. **Multi-Science Journal**, v. 1, n.3, p.31-39

DORES-SILVA, P.R.; LANDGRAF, M.D.; REZENDE, M.O.O.; 2011. Acompanhamento químico da vermicompostagem de lodo de esgoto doméstico. **Química Nova**, v.34, n. 6, p. 956-961

EID, E.M.; ALRUMMAN, S.A.; EL-BEBANY, A.F.; FAWY, K.F.; TAHER, M.A.; EL-LATIF HESHAM, A.; EL-SHABOURY, G.A.; AHMED, M.T., 2018. The evaluation of sewage sludge application as a fertilizer for broad bean (*Fava sativa* Bernh.) crops. **Food Energy Secur.** V. 7:e00142

EID, E.M.; HUSSAIN, A.A.; TAHER, M.A.; GALAL, T.M.; SHALTOUT, K.H.; SEWELAM, N., 2020. Sewage sludge application enhances the growth of *Corchorus olitorius* plants provides a sustainable practice for nutrient recirculation in Agricultural soils. **J Soil Sci Plant Nut** 20:149-159.

GARRIDO, S.; CAMPO, G.M.D.; ESTELLER, M.V.; LUGO, J.; 2005. Heavy metals in soil treated with sewage sludge composting, their Effect on yield and uptake of broad bean seeds (*Vicia faba* L.). **Water Air Soil Pollut** 166-303-319.

HARTLEY, W.; LEPP, N.W.; 2008. Remediation of arsenic contaminated soils by iron-oxide application, evaluated in **terms of plant productivity, arsenic and phytotoxic metal uptake**. *Science of the Total Environment* 390:35-44

HE, J.; LI F.; LI Y.; CUI X L.; 2015. Modified sewage sludge as temporary landfill cover material. **Water Science and Engineering**, v. 8, n. 3, p. 257-262.

HOUBEN, D.; MICHEL, E.; NOBILE, C.; LAMBERS, H.; KANDELER, E.; FAUCON, M-P.;2019. Response of phosphorus dynamics to sewage sludge application in an agroecosystem in northern France. **Applied Soil Ecology**, 137, p.178-186

HUGEN, C.; MIQUALLUTI, D.J.; CAMPOS, M.L.; ALMEIDA, J.A.; FERREIRA, E.R.N.; POZZAN, M.; 2013. Teores de Cu e Zn em perfis de solos de diferentes litologias em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 17, 622.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H.; 2001. **Trace elements in soils and plants**. CRC Press, Boca Raton, USA, 3ª ed.

KELESSIDIS, A.; STASINAKIS, A. S.; 2012. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. **Waste Management**, v.32, n. 6, p. 1186-1195

KIRCHMANN, H.; BORJESSON, G.; KATTERER, T.; COHEN, Y.; 2017. From agricultural use of sewage sludge to nutrient extraction: a soil Science outlook. **Ambio**, v. 46, n.2, p. 143-154

KUMAR, A.; KUMAR, A.; PATEL, H. 2018. Role of microbes in phosphorus availability and acquisition by plants. **Int J Curr Microbiol Appl Sci** 7(5):1344-1347.

MELETA, T.; ABERA, G.; 2019. Effects of rhizobium inoculation and phosphorus fertilizer rates on growth, yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) at Goro, Bale zone, Oromia regional state. **Int J Appl Agric Sci** 5(3):62-70.

MINAS GERAIS, 2022. **Deliberação normativa conjunta copam/Cerh**, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.jornalminasgerais.mg.gov.br/> >. Acesso em: 30 de Jan. de 2024.

MURRAY, R.; TIEN, Y.C.; SCOTT, A.; TOPP, E.; 2019. The impact of municipal sewage sludge stabilization processes on the abundance, persistence, and transmission of antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes to vegetables at harvest. **Science of the Total Environment**, v.651, p.1680-1687

NASCIMENTO, A.L.; SAMPAIO, R.S.; ZUBA JUNIO, G.R.; CARNEIRO, J.P.; FERNANDES, L.A.; RODRIGUES, M.N.; 2014. Teores de metais pesados no solo e em girassol adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n. 3, p.294-300

NASCIMENTO, A.L.; SOUZA, A.J.; OLIVEIRA, F.C.; COSCIONE, A.R.; VIANA, D.R.; REGINATO, J.B.; 2020. Chemical attributes of sewage sludge: relationships to sources and treatments and implications for sludge usage in agriculture. **Journal of Cleaner Production**, v. 58, p.120-146

PANDEY, A.; ZORIĆ, L.; SUN, T.; KARANOVIC, D.; FANG, P.; BORISEV, M.; WU, X.; LUKOVIC, J.; XU, P. 2022. The anatomical basis of heavy metal responses in legumes and their impact on plant-rhizosphere interactions. **Plants**, 11, 2554.

RAGONEZI, C.; NUNES, N.; OLIVEIRA, M.C.O.; DE FREITAS, J. G.G.; GANANÇA, J.F.T.; DE CARVALHO, M.Â.A.P.; 2022. Sewage Sludge Fertilization – A Case Study of Sweet Potato Yield and Heavy Metal Accumulation. **Agronomy**, 12,1902.

RODRIGUES, M.M.; VIANA, D.G.; MARTINS, G.L.; SOUZA, A.J.; OSTI, J.F.; OLIVEIRA, F.C.; ALVES, M.C.; COSCIONE, A.R.; REGITANO, J.B.; 2023. Use of a Concerning Sewage Sludge in the Manufacture of Organomineral Fertilizer: Agronomical Implications and Sustainable Disposal. J. **Soil. Sci. Plant Nutri**

SAMREEN, S.; KAUSAR, S.; 2019. **Phosphorus Fertilizer: The original and commercial sources**. In: T Zhang (ed), Phosphorus-recovery and Recycling, IntechOpen, London, UK. pp 1-14.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.; CUNHA, T.J.F.; 2018. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa, Brasília, Brasil

SHARMA, B.; SARKAR, A.; SINGH, P.; SINGH, R.P.; 2017. Agricultural utilization of biossolids: A review on potential effects on soil and plant grown. **Waste Management**, v. 64, p. 117-132

SINGH, R.P.; AGRAWAL, M.; 2008. Potential benefits and ricks of land application of sewage sludge. **Waste Manage**, 28. P. 347-358

SMIRI, A.; ELARBAOUI, S.; MISSAOUI, T.; BEM DEKHIL, A.; 2015. Micropollutants in sewage sludge: Elemental composition and heavy metals uptake by *Phaseolus vulgaris* and *Vicia faba* seedlings. **Arab J Sci Eng** 40: 1837-1847

TAIZ, L.E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A.; 2017. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre, Artmed Editora,858p.

VARENNE, A. 2003. **Produtividade dos solos e ambiente**. Escolar Editora, Lisboa

U.S. EPA. 2007. **Method 3051A (SW-846)**: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludge, and oils, Revision 1. Washington, Dc.

YADA, M.M.; DE MELO, W. J.; DE MELO, V.P. 2020. Elementos-traço no solo, na planta e no grão de plantas de milho cultivadas em latossolo tratados com lodo de esgoto por 16 anos. **Eng.Sanit Ambiental**, v.25, n.2, p.1371-1379

ZUBA JUNIO, G.R.; SAMPAIO, R.A.; SANTOS, G.; NASCIMENTO, A.L.; PRATES, F.B.S.; FERNANDES, L.A.; 2011. Metais pesados em milho fertilizado com fosfato natural e composto de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.1082-1088.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do Lodo de esgoto, seguindo as normas ambientais, favorece a uma agricultura mais segura, e permite que a utilização desses resíduos contribua nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Dessa forma, a sua aplicação reduz a utilização de insumos químicos, favorecendo a sustentabilidade ambiental e econômica.

Os resultados dos experimentos demonstraram que a utilização do lodo de esgoto compostado proporcionou aumento da fertilidade do solo, e a inoculação com o mix de *Bacillus* spp. também contribuiu para o aumento da disponibilização dos nutrientes promovendo maior absorção de nutrientes pelas plantas do grão-de-bico. E essa disponibilização de nutrientes refletiu no aumento da produtividade do grão-de-bico, chegando a se igualar estatisticamente a adubação mineral. Podendo dessa forma ser utilizado como fonte fosfatada na produção do grão-de-bico. E os metais pesados contidos no lodo compostado não interferiram na produtividade do grão-de-bico.