

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL  
CAMPUS CERRO LARGO  
CURSO DE AGRONOMIA**

**GABRIEL DALCIN**

**USO DE *Bacillus megaterium* E *B. subtilis* E ADUBAÇÃO FOSFATADA NA  
PRODUTIVIDADE DO MILHO**

**CERRO LARGO  
2021**

**GABRIEL DALCIN**

**USO DE *Bacillus megaterium* E *B. subtilis* E ADUBAÇÃO FOSFATADA NA  
PRODUTIVIDADE DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de bacharelado em agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito parcial para aprovação na disciplina de trabalho de conclusão de curso II.

Orientador: Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira

**CERRO LARGO  
2021**

## **Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Dalcin, Gabriel

USO DE *Bacillus megaterium* E *B. subtilis* E ADUBAÇÃO FOSFATADA NA PRODUTIVIDADE DO MILHO / Gabriel Dalcin. -- 2022.

41 f.

Orientador: Doutorado em Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul Renan Costa Beber Vieira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Agronomia, Cerro Largo, RS, 2022.

1. *Zea mays*. 2. Inoculação. 3. Altura de plantas. I. Vieira, Renan Costa Beber, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

**GABRIEL DALCIN**

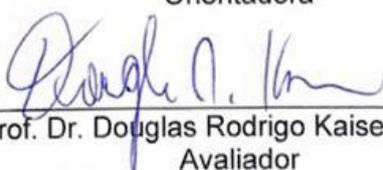
**USO DE *Bacillus megaterium* E *B. subtilis* E ADUBAÇÃO FOSFATADA NA  
PRODUTIVIDADE DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de bacharelado em agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito parcial para aprovação na disciplina de trabalho de conclusão de curso II.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 07/04/2022.

**BANCA EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Renan Costa Beber Vieira – UFFS  
Orientadora

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser – UFFS  
Avaliador

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Nérison Luís Poersch – UFFS  
Avaliador

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus pais, Angela e Francisco Dalcin por serem os responsáveis pela minha formação moral e ética. Assim como, sou grato por todo esforço, dedicação e sacrifício para proporcionarem todas as condições para que eu pudesse alcançar mais este objetivo da minha vida. Aos meus irmãos, Maria Clara e Arthur, por toda nossa amizade.

Aos meus avós, Gertrudes e Firmo Dalcin em memória e Dilma e Irineu Zemolin, por serem exemplos de vida, bem como, por terem construído a nossa família através de muita luta e trabalho.

Agradeço a minha namorada, Caroline Beck, por todo o companheirismo, compartilhando diversos momentos de alegria e estando ao meu lado nos momentos de dificuldade, me incentivando e motivando, o que fez toda a diferença para que eu pudesse vencer os desafios da graduação e da vida.

Agradeço ao meu professor orientador, Renan Costa Beber Vieira, por todo tempo, conhecimento, disponibilidade e paciência dedicada a orientação deste trabalho, de modo, a contribuir significativamente para o incremento da qualidade do mesmo. Agradeço também, aos demais professores da banca, Douglas e Nérison, pela disponibilidade e por todas as contribuições feitas.

Aos meus colegas e amigos, em especial ao Bruno S., Henrique A., Nélio C., Carolina Z., Isabela F., Eduardo S. Thiago D. e Marcos H., que dividiram o seu dia-a-dia durante toda a graduação, nos momentos de estudo como nos momentos de descontração, fazendo com que este período fosse muito mais produtivo e prazeroso.

Finalmente, agradeço a Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS – *Campus Cerro Largo*), representando todos os professores e funcionários, por viabilizar uma graduação de qualidade, gerando conhecimentos e experiências que levarei para o mercado de trabalho e para a vida.

## RESUMO

O milho é o grão mais produzido no mundo e o fósforo é o terceiro elemento mais exigido pelo cereal. Entretanto, o fosforo no solo sofre diversas interações com a fração mineral, formando compostos com Fe, Al e Ca que frequentemente limitam sua disponibilidade às plantas. As bactérias *Bacillus megaterium* e *B. subtilis* tem a capacidade de solubilizar este P, tornando-o disponível para às plantas. Diante disso, este trabalho tem o objetivo de avaliar o efeito das bactérias solubilizadoras de fósforo, *B. megaterium* e *B. subtilis* na cultura do milho. O trabalho foi realizado no município de Doutor Maurício Cardoso (RS) em um latossolo com teor de P muito alto, utilizando o delineamento inteiramente casualizado (DIC), composto por cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram 0PSI (0% da dose de P sem inoculação), 0PCI (0% da dose de P com inoculação), 50PCI (50% da dose de P com inoculação), 100PSI (100% da dose de P sem inoculação) e 100PCI (100% da dose de P com inoculação). Os tratamentos 50PCI, 100PSI e 100PCI apresentaram as maiores alturas de plantas aos 25 e 50 DAE, indicando efeito significativo das doses de P e não significativo da inoculação sobre esta variável. As doses de P e a inoculação não influenciaram os componentes do rendimento e a produtividade do milho. A adição de P apresentou viabilidade econômica, bem como a inoculação no tratamento sem P, enquanto que na 100% da dose de P a inoculação não foi viável economicamente.

Palavras-chave: *Zea mays*, inoculação, altura de plantas.

## ABSTRACT

Corn is the most produced grain in the world and phosphorus is the third most required element by the cereal. However, phosphorus in the soil undergoes several interactions with the mineral fraction, forming compounds with Fe, Al and Ca that often limit its availability to plants. *Bacillus megaterium* and *B. subtilis* have the ability to solubilize this P, making it available to plants. Therefore, this work aims to evaluate the effect of phosphorus solubilizing bacteria, *B. megaterium* and *B. subtilis* in corn. The work was carried out in the municipality of Doutor Maurício Cardoso (RS) in an oxisol with very high P content, using a completely randomized design (DIC), consisting of five treatments and four replications. The treatments were 0PSI (0% of the P dose without inoculation), 0PCI (0% of the P dose with inoculation), 50PCI (50% of the P dose with inoculation), 100PSI (100% of the P dose without inoculation) and 100PCI (100% of P dose with inoculation). The treatments 50PCI, 100PSI and 100PCI showed the highest plant heights at 25 and 50 DAE, indicating a significant effect of P doses and a non-significant effect of inoculation on this variable. P doses and inoculation did not influence corn yield and yield components. The addition of P presented economic viability, as well as the inoculation in the treatment without P, while in the 100% of the P dose the inoculation was not economically viable.

Keywords: *Zea mays*, inoculation, plant height.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Esquema dos mecanismos de solubilização de fósforo inorgânico e orgânico pelos microrganismos.....	19
Figura 2: Croqui de distribuição dos tratamentos no experimento. ....	24

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados da análise química do solo da área do experimento. ....	24
Tabela 2: Composição das diferentes formulações, doses aplicadas de cada fórmula e quantidade adicionada de N e P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> na linha de semeadura do milho para os diferentes tratamentos.....	25
Tabela 3: Análise de variância e teste de Tukey para a altura das plantas de milho aos 25 e 50 DAE para os diferentes tratamentos.....	27
Tabela 4: Análise de variância dos componentes do rendimento do milho para os diferentes tratamentos.....	29
Tabela 5: Médias de produtividade, rendimento relativo e análise de variância da produtividade do milho para os diferentes tratamentos.....	29
Tabela 6: Análise de custos da adição de P e da inoculação em relação a resposta na produtividade por hectare para os diferentes tratamentos. ....	31

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>12</b>
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
3.1	A CULTURA DO MILHO .....	13
3.2	FÓSFORO NO SOLO .....	14
3.3	FÓSFORO NA PLANTA .....	15
3.4	MICROORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO .....	17
3.5	MECANISMOS DE SOLUBILIZAÇÃO DE FÓSFORO .....	18
<b>3.5.1</b>	<b>Redução do pH</b> .....	<b>19</b>
<b>3.5.2</b>	<b>Quelação</b> .....	<b>20</b>
<b>3.5.3</b>	<b>Mineralização</b> .....	<b>21</b>
3.6	PRODUÇÃO DE FITORMÔNIOS .....	21
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>27</b>
5.1	ALTURA DE PLANTAS.....	27
5.3	COMPONENTES DO RENDIMENTO.....	28
5.4	PRODUTIVIDADE .....	29
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>32</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>33</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) é o grão mais produzido no mundo, na safra de 2020/2021 a produção do cereal alcançou 1,125 bilhões de toneladas (SHAHBANDEH, 2021). O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, ficando atrás da China e Estados Unidos (CONAB, 2020), com uma produção de 101 milhões de toneladas em uma área de 18,5 milhões de hectares (ha) na safra de 2019/2020 (CONAB, 2020).

Conforme dados da Embrapa Milho e Sorgo, o fósforo (P) é o terceiro nutriente mais exigido pela cultura do milho para a produção de grãos, ficando atrás do nitrogênio e do potássio (COELHO, 2006). Além disso, nas plantas este nutriente tem papel fundamental em processos como a geração de energia, síntese de ácidos nucleicos, fotossíntese, glicólise, respiração, entre outros (VANCE; UHDE-STONE; ALLAN, 2003).

Entretanto, o fósforo no solo possui forte afinidade pelos cátions Fe, Al e Ca, assim como, pode ser adsorvido por óxidos e argilas, o que indisponibiliza parte deste P para as plantas (BISSANI *et al*, 2008). Ainda de acordo com o autor citado, este processo ocorre em muitos solos do sul do Brasil, nos quais 50% ou mais do P está imobilizado.

Para aumentar a disponibilidade de P no solo é recomendado a correção da acidez do solo, pelo uso de calcário. Isso ocorre, pois com o pH corrigido a adsorção do P na superfície dos óxidos é reduzida e a mineralização da matéria orgânica é favorecida, liberando uma maior quantidade do elemento para a solução do solo (BISSANI *et al*, 2008). A elevação do pH do solo favorece também a atividade biológica (GOEDERT, 1995), sobretudo beneficia o desenvolvimento das bactérias, pois a faixa ideal de pH das mesmas está entre 5 e 8 (CERETTA; AITA, 2008). Juntamente com a correção do pH do solo, recomenda-se a adição do elemento a partir de fertilizantes fosfatados para elevar a concentração do nutriente no solo (BISSANI *et al*, 2008).

Em adição a estas técnicas consolidadas de elevação dos níveis de P no solo, estão os microrganismos solubilizadores de fósforo, que disponibilizam para planta o nutriente imobilizado na fração sólida, na matéria orgânica do solo e o adicionado via fertilizante (SILVA FILHO; VIDOR, 2001), através de diferentes

mecanismos, como redução do pH, quelação e mineralização (KALAYU, 2019). Também, promovem o crescimento vegetal pela produção de hormônios vegetais (BASHAN; DE-BASHAN, 2005).

Entre os microrganismos solubilizadores de fósforo estão as bactérias do gênero *Bacillus*, como *B. megaterium* e *B. subtilis*, que foram selecionadas por diversas pesquisas e indicadas para inoculação de diferentes culturas, entre elas o milho (OLIVEIRA *et al*, 2020; OLIVEIRA *et al*, 2009; DE SOUSA *et al*, 2021; VIEIRA VELLOSO *et al*, 2020).

Em virtude disso, a Embrapa em uma parceria com o setor privado, lançou um inoculante de *B. megaterium* e *B. subtilis* no ano de 2019. Na safra 2020/2021, 1,49 milhões de hectares de milho e soja foram inoculados com o produto, e a previsão para a safra 2021/2022 é superar os três milhões de hectares (VIANA, 2021).

Estudos com a inoculação de *B. subtilis* e *B. megaterium* encontraram efeito significativo na produtividade do milho tanto em solo com teor baixo de P como em solo com teor alto de P (OLIVEIRA *et al*, 2020). Contudo, ainda são necessários pesquisas a campo que avaliem o efeito da inoculação de *B. subtilis* e *B. megaterium* em mistura levando em consideração as características químicas do solo, a fim de delimitar as condições onde a inoculação destas bactérias é viável.

Tendo em vista os argumentos apresentados, é de fundamental importância que sejam realizados trabalhos para determinar os efeitos da inoculação de *B. megaterium* e *B. subtilis* em diferentes condições de fertilidade do solo sobre a altura das plantas e a produtividade da cultura do milho.

## 2 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito das bactérias solubilizadoras de fósforo, *B. megaterium* e *B. subtilis* e de doses de P na cultura do milho.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a influência do uso de inoculantes a base de microrganismos solubilizadores de fosfato na cultura do milho em solo com teor alto de P.
- Verificar a influência de diferentes doses de P na cultura do milho em solo com teor alto de P.
- Analisar a viabilidade econômica da adição de P e da inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato no milho em solo com teor alto de P.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 A CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays*) pertence à família Poaceae, é uma espécie anual, monóica, do grupo das plantas C-4, sendo assim, tem um alta taxa de fotossíntese líquida e alta afinidade ao CO<sub>2</sub> (LOBO, 2018). Além disso, a cultura é adaptada a uma variedade de condições climáticas, sendo cultivada em mais de 160 países (MARAG; SUMAN, 2018), com uma área plantada de 196,4 milhões de hectares na safra de 2020/2021 (ABMILHO, 2021).

O seu amplo cultivo se deve à sua adaptabilidade a diferentes condições e pela demanda de seu grão para uma diversidade de aplicações. O cereal é utilizado como matéria prima para a produção de ração animal, bebidas alcoólicas, óleos e também é empregado na indústria farmacêutica, cosmética e na alimentação humana (MARAG; SUMAN, 2018). Dentre estas, a alimentação animal se destaca com cerca de 50% da produção brasileira (ABMILHO, 2021). Nas dietas animais e humanas o grão tem função energética, em razão da sua composição majoritariamente de carboidratos (amido) e lipídeos (óleo) (PAES, 2006).

O milho extrai do solo, para uma produtividade de 10 toneladas ha<sup>-1</sup>, aproximadamente 217 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, 157 kg ha<sup>-1</sup> de potássio e 42 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo. No entanto, a adição de P na adubação deve ser superior a extração devido à alta fixação de P por mecanismos de adsorção e precipitação, o que reduz a quantidade de P disponível para as plantas (COELHO, 2006). Por isto, as características do solo têm ligação direta com a disponibilidade do nutriente e consequentemente com a dose de P a ser aplicada.

Além disso, culturas com ciclo curto e desenvolvimento intenso, como o milho, exigem maiores níveis de P na solução do solo e rápida reposição do P absorvido (COELHO, 2006). Portanto, o milho necessita de níveis elevados de P disponível para a absorção desde os primeiros estágios para garantir o seu máximo desenvolvimento.

### 3.2 FÓSFORO NO SOLO

No solo o P encontra-se em formas orgânicas e inorgânicas na fase sólida e na forma inorgânica na fase líquida. A fração que está líquida, ou seja, a solução do solo, é a que fica disponível para a absorção das plantas. Entretanto, a relação entre o P imobilizado na fase sólida e o P disponível na solução depende de fatores como o pH e o teor de óxidos do solo (BISSANI *et al*, 2008).

Este fósforo inorgânico se divide em diferentes compartimentos no solo, podendo ser adsorvido para a forma de P lábil que quando passa pelo processo de fixação se torna P não lábil, o caminho inverso pode ser percorrido pelo P, sofrendo a liberação de P não lábil para P lábil e a dessorção do P lábil para solução do solo, por sua vez o P na solução também pode ser imobilizado para a fração orgânica (NOVAIS *et al*, 2007).

Então podemos constatar que o fósforo está presente no solo de diferentes formas, desde formas disponíveis para as plantas, P na solução, passando por formas intermediárias, P lábil, até formas mais fortemente ligadas com o solo, P não lábil. À medida que o grau de intemperismo aumenta, o solo se torna mais eletropositivo, diminuindo a capacidade de troca catiônica (CTC efetiva) consequentemente ocorre o aumento da adsorção aniônica, aumentando a retenção de ânions como o fosfato (NOVAIS *et al*, 2007). Por este motivo, os solos mais intemperizados retem uma maior quantidade do P nas frações mais indisponíveis para as plantas.

Nas formas indisponíveis de fósforo para as plantas, ele se encontra em compostos ligados ao Fe, Al e Ca ou ligados a superfície de óxidos e argilas, sendo que nos latossolos os óxidos mais presentes são os óxidos de ferro, goethita e hematita, e óxidos de alumínio, gibbsita (SOUSA; LOBATO, 2015?).

Quando ligado com o Ca, o P forma fosfatos denominados de apatitas e a solubilidade destas apatitas aumenta com a redução do pH (BISSANI *et al*, 2008). Já em solos mais ácidos o P se liga por ligações simples ou duplas ao Fe e ao Al, os quais estão presentes na superfície de óxidos ou de argilas, pelo processo de adsorção, quando a ligação é simples o aumento do pH faz com que as hidroxidrilas (OH-) substituam o P nestas ligações liberando o nutriente para a solução (BISSANI *et al*, 2008).

O principal fator que determina quais os compostos que o P vai formar é o pH do solo, de modo que a ligação com o Fe é favorecida em pH inferior a 5,5, enquanto que com o Al na faixa entre 3,5 e 7 com o pico de fixação no pH 5,5 e com o Ca em pH superior a 6, com o seu pico no pH 8 (LOPES, 1989). Portanto a faixa de pH que proporciona a maior disponibilidade de fósforo para as plantas está ente 6 e 7, sendo necessário em solos ácidos a aplicação de calcário para elevar o pH para este.

Entretanto, a calagem e a adubação fosfatada são práticas que se complementam, devido a ambas proporcionarem aumento na produtividade das culturas mesmo quando conjugadas (ERNANI *et al*, 2000). Neste sentido é importante destacar, que as doses de calcário e de fertilizantes devem ser balizadas por uma análise de solo para o uso racional dos insumos (COLLARES, 2006).

O fósforo disponível na solução do solo é absorvido pelas raízes das plantas à medida que elas crescem e entram em contato com o P, assim a solução na superfície das raízes fica com uma concentração menor que a solução mais distante (1 a 2 mm de distância), criando um gradiente de concentração que faz com que o P se movimente por difusão na direção da raiz. E conseqüentemente após a redução da concentração de P na solução, a fase sólida libera uma quantidade do nutriente para a solução (BISSANI *et al*, 2008). Ou seja, o P no solo tem baixa mobilidade, assim a exploração do solo pelas raízes é fundamental para absorção deste elemento e que o solo contenha quantidades adequadas de P e disponíveis para absorção.

### 3.3 FÓSFORO NA PLANTA

O fósforo é um dos 17 elementos indispensáveis para o crescimento e reprodução das plantas, e considerado um dos três principais nutrientes, recebendo a denominação de macronutriente primário em virtude da quantidade relativamente grande exigida pelas plantas e pela limitação no crescimento causada pela sua deficiência (NUTRI-FATOS, 2017?).

As plantas absorvem o P da solução do solo na forma dos íons  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$ , em pH abaixo de 7,1 a forma  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  predomina, o que acontece na grande maioria dos solos brasileiros (PRADO, 2006). Em razão da concentração do fósforo

ser superior nas células radiculares (100 a 1000 vezes) em comparação com a solução do solo, a sua absorção se dá por um processo ativo, ou seja, há gasto de energia para a sua realização (CARDOSO; ESTRADA-BONILLA, 2019).

Já dentro da planta o fósforo, segundo Bissani *et al* (2008, p. 111) “pode estar como íon livre em solução, ligado a cátions metálicos formando compostos solúveis ou complexos insolúveis e, na forma mais importante, ligado a radicais orgânicos (fósforo orgânico)”. Também é possível inferir que os compostos mais importantes formados por fosfatos são os ácidos nucleicos (ADN e ARN), fosfato de Inositol, fosfolipídios, di e trifosfato de adenosina (ADP e ATP) e fosfato de nicotinamida adenina dinucleotídeo (NADP), (BISSANI *et al*, 2008).

Assim o fósforo tem função vital em processos como fotossíntese, divisão celular, herança genética, síntese proteica, transferência e armazenamento de energia, sendo difícil imaginar em qual processo metabólico o P e seus compostos não participem direta ou indiretamente (PRADO, 2006).

Vale destacar que, o P pelos seus compostos orgânicos (ADP e ATP) é responsável pela acumulação e transporte de energia, funcionando como uma moeda energética (VASCONCELLOS *et al*, 2000).

Desta maneira, o P armazena e transporta energia através dos tecidos da planta, sendo um elemento móvel dentro do vegetal. Além disso, devido a sua mobilidade e sua participação intensa no metabolismo das plantas, o fósforo é encontrado em maiores concentrações nos tecidos mais jovens (BISSANI *et al*, 2008). Em contrapartida, entre 77 e 86% do fósforo extraído pelo milho é exportado pelos grãos (COELHO, 2006).

De maneira prática, o fósforo proporciona o crescimento adequado das raízes e das brotações, além de ser fundamental para a formação de sementes e frutos, entre outras funções (NUTRI-FATOS, 2017?).

As plantas de milho entram em uma etapa de extrema exigência nutricional a partir de aproximadamente 40 dias após a germinação, na qual o pico da exigência de P ocorre aos 77 dias após a germinação, com uma taxa de acumulação entre 5,7 e 6,5 mg de P/planta/dia, o que exige a capacidade do solo repor o P para a solução nesta velocidade para suprir a exigência nutricional da cultura (VASCONCELLOS, 2000). Neste sentido, podemos evidenciar a importância da disponibilidade de P, na quantidade e no momento adequado, para o máximo desempenho das diferentes culturas, entre eles o milho.

### 3.4 MICRORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO

Os microrganismos tem papel fundamental no ciclo do P no solo, tanto na liberação como na imobilização do nutriente (CARDOSO; ESTRADA-BONILLA, 2019). Entre eles estão os microrganismos solubilizadores de fósforo, que são organismos benéficos que hidrolisam tanto o fósforo orgânico como o fósforo inorgânico insolúvel do solo, estes podem ser bactérias dos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Rhizobium*, fungos dos gêneros *Penicillium* e *Aspergillus* e actinomicetos (KALAYU, 2019).

Estes microrganismos ocorrem naturalmente nos solos, mas geralmente as estirpes não são as mais eficientes e a sua concentração é baixa, por isso a quantidade de P liberada por eles não é expressiva o suficiente para potencializar a produtividade das culturas (RODRÍGUES; FRAGA, 1999). Em vista disso, pesquisas estão avaliando o potencial destes microrganismos para serem inoculados junto as sementes em larga escala, em diferentes culturas, com o objetivo de aumentar a sua concentração no solo, e assim, incrementar significativamente a disponibilidade do fósforo retido no solo e do fósforo adicionado pela adubação. Nestas pesquisas o gênero dos *Bacillus* vem se destacando, com as cepas de *B. megaterium* e *B. subtilis*, mostrando resultados positivos para a inoculação de milho tanto em pesquisas in vitro como em pesquisas a campo (DE SOUSA *et al* 2021; OLIVEIRA *et al*, 2020; RIBEIRO *et al*, 2018; VIEIRA VELLOSO *et al*, 2020).

Efeitos positivos de diferentes cepas de bactérias em milho tem sido verificado em condições hidropônicas e a campo, com aumento da matéria seca da parte aérea, da área superficial de raízes e a concentração de P no grão (DE SOUSA *et al*, 2021). Além de outras pesquisas in vitro que indicam a possibilidade da inoculação destas bactérias (RIBEIRO *et al*, 2018; VIEIRA VELLOSO *et al*, 2020).

Os resultados encontrados por Oliveira *et al* (2020) também indicam a viabilidade da inoculação com *Bacillus*, neste experimento a campo tanto *B. megaterium* como *B. subtilis* incrementaram significativamente a produtividade de milho em diferentes anos de cultivo em duas condições de solo, sendo um incremento de 13,7% na produtividade em solo com baixo teor de P e de 6,5% em solo com alto teor de P. No mesmo estudo, foram avaliados a inoculação de *B. megaterium* como *B. subtilis* em mistura com diferentes doses de P em Santa Maria-

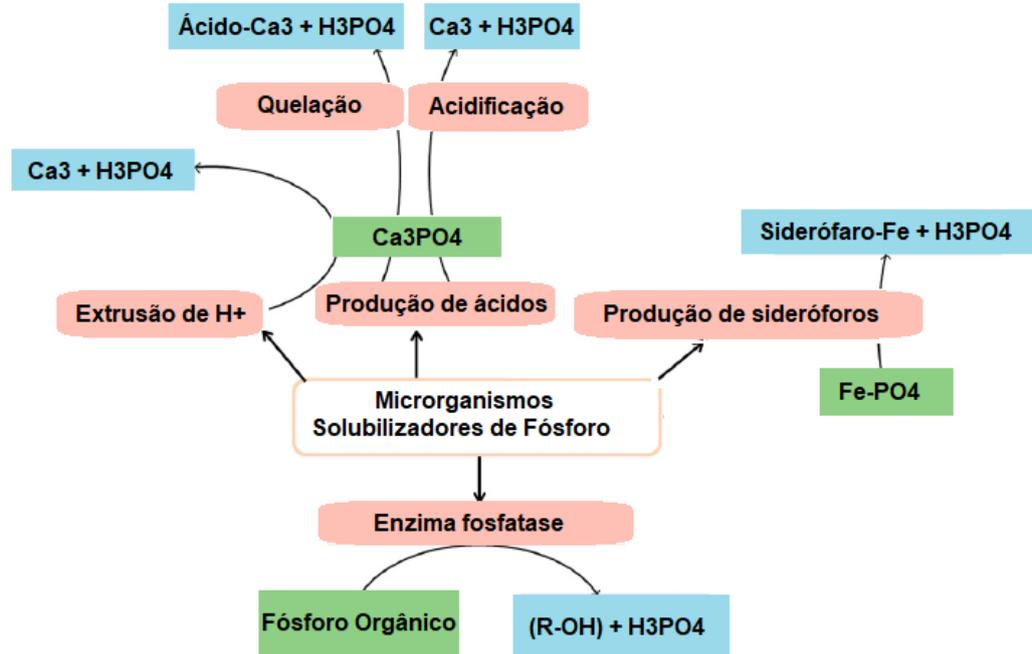
RS e em Palotina-PR, e o tratamento com 50% da dose recomendada de P mais a inoculação das bactérias aumentou 27,7% a produtividade do milho em Santa Maria e 28,7% em Palotina, em comparação com a mesma dose de P, superando até mesmo o tratamento com a dose de P total recomendada. No entanto, as condições químicas dos solos de ambas localidades onde os experimentos foram conduzidos não foram informados.

Somado a isto, na safra 2020/2021 1,49 milhões de hectares de milho e soja foram inoculados com *B. megaterium* e *B. subtilis* e a projeção para a próxima safra é que mais de 3 milhões de hectares sejam inoculadas (VIANA, 2021). Fato este, que mostra a importância de entendermos quais os efeitos do inoculante sob as diferentes condições de solo, para a correta recomendação do produto. Sendo assim, os microrganismos solubilizadores de fósforo, *B. megaterium* e *B. subtilis*, se mostram como uma alternativa potencial para aumentar a disponibilidade de P no solo para a cultura do milho. Ainda assim, é necessário a realização de mais estudos sob diferentes condições para melhorar o entendimento a cerca destes microrganismos.

### 3.5 MECANISMOS DE SOLUBILIZAÇÃO DE FÓSFORO

Para a solubilização de P estes microrganismos utilizam diferentes estratégias, como a redução do pH do solo, a quelação de fosfatos insolúveis pela produção de ácidos orgânicos e inorgânicos, produção de sideróforos e a mineralização do fosfato orgânico (KALAYU, 2019; PRABHU; BORKAR; GARG, 2019). Estes mecanismos estão esquematizados na Figura 1, e serão abordados nos tópicos a seguir.

Figura 1: Esquema dos mecanismos de solubilização de fósforo inorgânico e orgânico pelos microrganismos.



Fonte: Adaptado de PRABHU; BORKAR; GARG (2019).

### 3.5.1 Redução do pH

O principal mecanismo de solubilização de P das bactérias solubilizadoras em condições de solos mais alcalinos onde os compostos formados por Ca e P predominam, não sendo a realidade dos solos brasileiros. Nestas condições, estes microrganismos fazem a extrusão de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, como ácidos fórmico, acético, propiônico, lático, glicólico, fumárico e succínico e fosfatases ácidas como a fitase (LEE *et al*, 2012). Assim, a produção de ácidos orgânicos resulta na acidificação do meio em volta do microrganismo (RODRÍGUES; FRAGA, 1999).

Deste modo, a acidificação do meio solubiliza o P pois entre os compostos de P que podem ser formados no solo, estão as apatitas, que tem fórmula geral  $\text{Ca}_5\text{X}(\text{PO}_4)_3$ , na qual o X pode substituído por  $\text{F}^-$  (fluorapatita),  $\text{OH}^-$  (hidroxiapatita) ou  $\text{Cl}^-$  (cloroapatita), e a solubilidade destas apatitas aumenta com a redução do pH, como ilustra a equação:  $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3 + 7\text{H}^+ = \text{H}_2\text{O} + 5\text{Ca}^{2+} + 3\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (BISSANI *et*

*al*, 2008). Assim, como ilustrado na Figura 1, a liberação de ácidos orgânicos, faz com que o P presente nas apatitas seja liberado para a solução do solo, disponibilizando o nutriente para a absorção das plantas.

Da mesma forma, compostos formados por P e alumínio são solubilizados através da acidificação do meio. Entretanto, geralmente a solubilização de compostos de Ca se sobressai, possivelmente pelo fato de que os isolados são obtidos em meios contendo compostos de Ca, causando a seletividade destes microrganismos para estes compostos e desfavorecendo a solubilização de compostos de Al (SILVA FILHO; VIDOR, 2000).

Outro mecanismo alternativo para solubilização de P, é a extrusão de H<sup>+</sup> que conseqüentemente reduz o pH do meio, como ilustrado na Figura 1, estes prótons são oriundos da assimilação de amônio (NH<sub>4</sub>) e da respiração celular (PRABHU; BORKAR; GARG, 2019). Portanto a fonte de nitrogênio afeta a capacidade e o potencial de solubilização por este mecanismo, para o qual, fontes amoniacais têm efeito positivo e fontes nítricas tem efeito negativo (SILVA FILHO; VIDOR, 2001).

### 3.5.2 Quelação

Os quelatos são moléculas orgânicas capazes de inibir reações químicas entre cátions altamente reativos, impedindo-os de formar compostos insolúveis e indisponíveis para a absorção das plantas (MOCELLIN, 2004).

Desta forma, os microrganismos solubilizadores de P liberam ácidos orgânicos, como 2-ceto-glucônico, ácido húmico e ácido fúlvico (PRABHU; BORKAR; GARG, 2019), que possuem grupos hidroxila e carboxila, e estes podem quelar os cátions ligados ao P (LEE *et al*, 2012), como o cálcio, ferro e alumínio, liberando formas solúveis de P, assim como exemplificado na Figura 1.

Além disso, estes microrganismos secretam sideróforos, que são moléculas de baixo peso molecular e de forte afinidade com o ferro (DE OLIVEIRA; URQUIAGA; BALDANI, 2003; GAONKAR; BHOSLE, 2013). Segundo Batista *et al* (2018) “82% dos isolados que solubilizaram o P-Fe produziram sideróforos”. Sendo assim, os sideróforos influenciam a solubilidade de P no solo, mesmo que a relação entre a produção de sideróforos e a solubilização ainda não está bem definida (PRABHU;

BORKAR; GARG, 2019), ainda assim, a possível ação dos sideróforos está esquematizada na Figura 1.

### 3.5.3 Mineralização

O P orgânico no solo, oriundo dos resíduos vegetais e animais, não é disponível para a absorção das plantas, por tanto é considerado imobilizado, e os microrganismos são capazes de liberar o P para a solução do solo este processo recebe o nome de mineralização (NOVAIS *et al*, 2007). A mineralização é a conversão de um material orgânico em substâncias como ácidos orgânicos ou nitratos, fosfatos, sulfatos, entre outros (SALTON; HERNANI; FONTES, 1998).

Entre os compostos orgânicos presentes nos solos que possuem P, estão ácidos nucleicos, fosfolipídios, fosfonatos, ácido fítico, polifosfonatos e fosfato de açúcar (PRABHU; BORKAR; GARG, 2019). E, o P presente nestes compostos é solubilizado pela ação de enzimas, como fosfatase alcalina, fosfatase acida e fosfohidrolase (JORQUERA *et al*, 2008), como podemos observar na Figura 1.

## 3.6 PRODUÇÃO DE FITORMÔNIOS

Os microrganismos solubilizadores de fósforo promovem o crescimento das plantas de diferentes formas, uma delas é através do fornecimento de substâncias escassas, como o fósforo, outra maneira se dá pela produção de fitormônios como auxinas, giberelinas, citocininas e etileno (BASHAN; DE-BASHAN, 2005). Estes hormônios vegetais, são mensageiros químicos modulam o metabolismo da planta influenciando o seu desenvolvimento, eles atuam em concentrações extremamente baixas devido a rotas de transdução de sinal (TAIZ, 2017).

Os microrganismos solubilizadores de P, incluindo cepas de *B. subtilis* e *B. megaterium*, produzem hormônios vegetais, como a auxina ou análogos deste fitormônio (CHATBOT; ANTOUN; CESCAS, 1996; DE SOUSA *et al*, 2021).

A produção desse fitormônio favorece o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea, desde os primeiros estágios da cultura, assim, representa uma vantagem inicial que proporciona rendimentos superiores (DE SOUSA, 2021).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Óxidos revisão;

Citar a % de óxidos no solos;

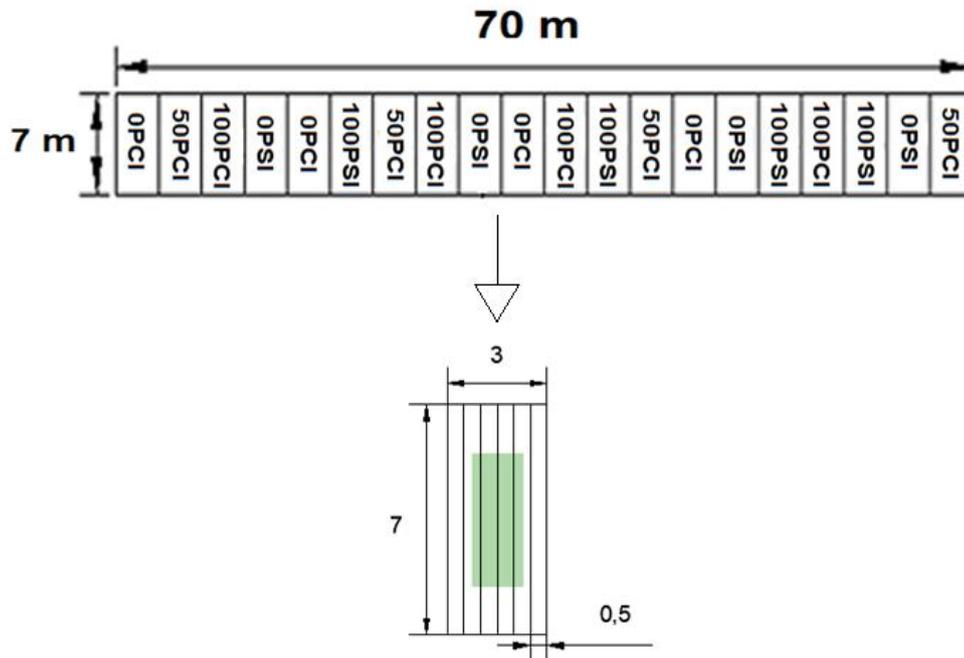
O experimento foi realizado na safra agrícola de 2021/2022 no município de Dr. Maurício Cardoso – RS, localizado sobre as coordenadas 27°31'26,53" sul e 54°20'31,38" oeste. O clima da região é Cfa segundo a classificação de Köppen e Geiger, portanto, clima temperado, sem estação seca e com verão quente e a pluviosidade média anual do município é de 1915 mm (CLIMA-DATA.ORG, 2020?). No entanto, o município encontra-se na região do médio Uruguai, onde ocorrem microclimas que se assemelham a climas subtropicais e até mesmo temperados (TONIN, 2018).

O solo da área do experimento pertence a ordem dos Latossolos, segundo o sistema brasileiro de classificação de solos. Além disso, a área do experimento vem sendo conduzida sobre o sistema plantio direto a cerca de quinze anos, com rotação e diversificação de culturas, e tem histórico de uso de dejetos líquidos de suínos.

Para realização do experimento, o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com 5 tratamentos e 4 repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Cada unidade experimental será constituída por 3,5 m de largura (7 linhas de semeadura com espaçamento de 50 cm) e 7 metros de comprimento, resultando em uma área de 24,5 m<sup>2</sup>, onde para a área útil foram consideradas as três linhas centrais por 4 m de comprimento. Os tratamentos testados foram os seguintes: (0PSI) sem P e sem inoculação; (0PCI) sem P e com inoculação; (50PCI) 50% da dose de P e com inoculação; (100PSI) 100% da dose de P recomendada e sem inoculação; (100PCI) 100% da dose de P recomendada e com inoculação.

E a distribuição dos tratamentos foi feita lado a lado, conforme ilustrado na figura 1, de modo a possibilitar a implantação do experimento sem que os pneus do trator transpassassem nas parcelas já semeadas, devido à necessidade de esvaziar e encher o sistema dosador de fertilizantes entre um tratamento e outro. Além de, permitir que os tratamentos sem inoculação fossem implantados antes dos demais, evitando contaminações do inoculante nos tratamentos que não receberam o produto.

Figura 2: Croqui de distribuição dos tratamentos no experimento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para a definição das características químicas do solo e recomendação das doses de fertilizantes necessários foi coletado solo com o uso de uma pá de corte, nas camadas de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm, transversal a linha de semeadura da cultura antecessora (Aveia). Foi coletado solo de 10 subamostras da área do experimento e posteriormente retirado 500 g de solo representativos, de cada profundidade, que posteriormente foram enviados ao laboratório de análise de solo.

Os resultados desta análise se encontram abaixo na tabela 1, a partir dos quais foram calculadas as doses de fertilizantes necessárias de acordo com o manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, para expectativa de rendimento de 11000 kg ha<sup>-1</sup> de milho, indicando a necessidade de adicionar 30 kg ha<sup>-1</sup> de N na linha, 185 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, 75 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

Tabela 1: Resultados da análise química do solo da área do experimento.

Amostra	Argila	pH H <sub>2</sub> O	Índice	CTC efetiva	CTCpH <sub>7</sub>	MO	P	K	Ca	Al
---------	--------	---------------------	--------	-------------	--------------------	----	---	---	----	----

(cm)	(%)	(1:1)	SMP	(mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	(mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	(%)	(mg L <sup>-1</sup> )	(mg L <sup>-1</sup> )	(mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	(mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )
0 – 10	57	6,1	6,4	149,0	177,0	4,8	24,1	372	102,0	0,0
10 – 20	77	5,8	6,2	112,0	147,0	2,9	3,3	228	78,0	0,0

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Baseando-se nestas informações, foi distribuído 150 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio (47% de K<sub>2</sub>O) a lanço antes da semeadura, de maneira homogênea na área do experimento. A adubação na linha de semeadura diferiu para as diferentes doses de P, os tratamentos com 0% de P receberam 69 kg ha<sup>-1</sup> de ureia (46% de N), o tratamento com 50% de P recebeu 288 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante obtido pela mistura de 81,5% de superfosfato simples (03-17-00) e 18,5% de ureia. Já os tratamentos que receberam 100% da dose de P foram adubados com 501 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula alcançada pela mistura de 92,5% de superfosfato simples (SFS) e 7,5% de ureia, como é possível visualizar na tabela 2. Além disso, foram realizadas duas aplicações de 200 kg ha<sup>-1</sup> de ureia em cobertura, quando a cultura se encontrava em V4 e em V8, respectivamente.

Tabela 2: Composição das diferentes formulações, doses aplicadas de cada fórmula e quantidade adicionada de N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na linha de semeadura do milho para os diferentes tratamentos.

Tratamentos	Formulações	Ureia	SFS	Dose de cada formulação	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
		kg		kg ha <sup>-1</sup>		
0% de P	46-00-00	69	0	69	31,7	0
50% de P	10,9-13,8-00	50	220	288	31,4	39,7
100% de P	06,3-15,7-00	36	441	501	31,5	78,7

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

A inoculação das sementes foi realizada no momento da semeadura, a dose utilizada foi de 100 mL do produto para 60 mil sementes, na concentração do produto de 4x10<sup>9</sup> células viáveis por mL. O híbrido de milho utilizado foi o AS 1666, com uma densidade de semeadura de 8 sementes m<sup>-2</sup>. Sendo assim, o processo de semeadura foi realizado no dia 19/08/2021, com uma semeadora adubadora contendo o sistema dosador de sementes mecânico e sistema dosador de fertilizantes fertisystem.

Além disso, para mensurar os efeitos da inoculação de *B. megaterium* e *B. subtilis* e das diferentes doses de P sobre a cultura do milho foi avaliado a altura das

plantas, os componentes do rendimento, a produtividade e a viabilidade econômica dos insumos.

A altura das plantas foi obtida com o uso de uma fita métrica, medindo-se da base da planta até a curvatura da última folha estendida. Serão avaliadas seis plantas por parcelas, aos 25 e aos 50 dias após a emergência (DAE), as plantas avaliadas nos dois períodos foram as mesmas e para identificá-las utilizou-se um barbante em volta da mesma.

Para mensuração do estande final de plantas, foram contadas as mesmas que se encontravam na área útil de cada parcela, posteriormente extrapolada para ha. O número de espigas por planta foi obtido pela contagem das mesmas, na área útil da parcela no momento da colheita, divididas pelo número de plantas e extrapolado para ha. O número de fileiras de grãos por espiga foi contado em cinco espigas por parcela, bem como, o número de grãos por fileira que foi determinado pela contagem manual dos grãos de uma fileira, em cinco espigas.

Também foi obtido a massa de mil sementes, pela pesagem de oito repetições de 100 sementes, a média das pesagens foi multiplicada por 10 e corrigida para a umidade de 13%, e a produtividade final foi determinada através da pesagem da massa de grãos colhida na área útil da parcela corrigida para a umidade relativa de 13% e extrapolado os valores para  $\text{kg ha}^{-1}$ .

Assim como, foi calculada a viabilidade econômica da inoculação e da adição de P considerando as seguintes cotações, R\$ 84,00 o saco (50 kg) de SFT, R\$ 885,00 o litro do inoculante e R\$ 92,00 o saco (60 kg) de milho, onde o tratamento OPSI foi considerado como a produtividade base (100%) e a diferença desta para os demais tratamentos foi considerada como a resposta a adição destes insumos.

Os dados obtidos foram avaliados por meio da análise da variância através do software Sisvar®, comparando-se as médias das variáveis qualitativas através do teste de Tukey a 5% de probabilidade do erro.

## 5 RESULTADOS E DISCUSÃO

### 5.1 ALTURA DE PLANTAS

Os resultados de altura de plantas obtidos demonstraram que houve diferença significativa entre os tratamentos, em ambas as avaliações, realizadas aos 25 e 50 DAE (tabela 3).

Tabela 3: Análise de variância e teste de Tukey para a altura das plantas de milho aos 25 e 50 DAE para os diferentes tratamentos.

Tratamentos	Altura 25 DAE (cm)	Altura 50 DAE (cm)
100PCI	21,9 a	140,5 a
100PSI	21,8 a	139,8 a
50PCI	21,6 ab	138,4 a
0PCI	21,2 bc	128,9 b
0PSI	18,9 c	127,5 b
Média	21,0	135,7
Fc	10,95 *	14,66 *
CV %	3,51	2,68

\*Médias dos tratamentos não seguidas por mesma letra diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. GL: graus de liberdade; Fc: F calculado; CV: coeficiente de variação; \*: significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ).

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Na avaliação de altura de plantas realizada aos 25 DAE os tratamentos com 100% da dose de P com e sem inoculação foram os que apresentaram as maiores alturas de planta, não diferenciando estatisticamente do tratamento com 50% da dose de P com inoculação. Já o tratamento que apresentou menor altura de planta foi o com 0% da dose de P sem inoculação, que não diferiu estatisticamente do tratamento com 0% da dose de P e com inoculação. Os tratamentos com 0 e 50% de P com inoculação não diferiram estatisticamente entre si (tabela 3), este fato indica a possibilidade da inoculação ter influenciado a altura das plantas aos 25 DAE, o que não se repetiu na avaliação realizada aos 50 DAE. Está provável promoção de crescimento causada pela inoculação vai ao encontro dos resultados

encontrados por Martins (2020), a inoculação de *B. megaterium* proporcionou aumento na altura das plantas de milho, assim como Lobo (2018), que encontrou o mesmo resultado com a inoculação de *B. subtilis*.

Em relação a avaliação realizada aos 50 DAE, os tratamentos com 100% da dose de P com e sem inoculação e 50% da dose de P com inoculação proporcionaram as maiores alturas de plantas e não diferenciaram estatisticamente entre si. Em contrapartida, os tratamentos com 0% de P com e sem inoculação apresentaram as menores alturas de plantas e não diferenciaram estatisticamente entre si (tabela 3).

Sendo assim, podemos observar que a adição de P pela adubação de base, promoveu um maior crescimento das plantas, visto que, os tratamentos que se destacaram em ambas as avaliações, aos 25 e 50 DAE, foram 100PCI, 100PSI e 50PCI. Corroborando com os resultados obtidos por De Oliveira (2015), que observou a altura máxima do milho (108 cm) com a dose de 137,5 Kg ha<sup>-1</sup> de P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> com um latossolo amarelo.

Portanto o acréscimo de P promoveu um maior crescimento das plantas de milho, mesmo em solos com altos teores de P. Todavia, é importante salientar que a altura das plantas não possui correlação direta com a produtividade e pode afetar negativamente o acamamento das plantas (LIMA *et al*, 2011).

### 5.3 COMPONENTES DO RENDIMENTO

Os componentes do rendimento do milho, número de plantas finais, número de espigas por planta, número de fileiras de grãos por espiga, número de grãos por fileira e da massa de mil sementes, não responderam à inoculação e às doses de P (tabela 4).

O número de espigas por planta foi uniforme em todos os tratamentos e repetições, com uma espiga em todas as plantas. Os demais componentes do rendimento do milho variaram aleatoriamente, onde os diferentes tratamentos não diferindo estatisticamente entre si (tabela 4).

Tabela 4: Análise de variância dos componentes do rendimento do milho para os diferentes tratamentos.

Tratamentos	PF (plantas)	EP (espiga)	FG (fileiras)	GF (grãos)	MMS (g)
100PCI	70000	1	15,4	27,8	368,9
100PSI	68333	1	15,3	28,3	370,7
50PCI	67500	1	15,5	27,3	347,6
0PCI	67084	1	14,0	28,0	358,0
0PSI	66667	1	15,0	27,0	343,5
Médias	68083	1	15,1	27,7	359,0
Fc	0,93 ns	0 ns	2,51 ns	1,42 ns	0,66 ns
CV (%)	4,18	0,0	5,13	2,99	8,16

GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação; Fc: F calculado; NS: não significativo ( $p \geq 0,05$ ); PF: número de plantas finais; EP: número de espigas por planta; FG: número de fileiras de grãos por espiga; GF: número de grãos por fileira; MMS: massa de mil sementes.

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

#### 5.4 PRODUTIVIDADE

A produtividade teve uma variação de cerca de 10% entre os tratamentos com 0% da dose de P sem inoculação e com 100% da dose de P com inoculação, embora os tratamentos testados não influenciaram significativamente a produtividade do milho a 5% de probabilidade de erro (tabela 5).

Tabela 5: Médias de produtividade, rendimento relativo e análise de variância da produtividade do milho para os diferentes tratamentos.

Tratamentos	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendimento relativo (%)
100PCI	11446	111
100PSI	11399	111
50PCI	10828	105
0PCI	10677	104
0PSI	10280	100
Média	10984	
Fc	1,34 ns	
CV (%)	7,57	

GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação; Fc: F calculado; NS: não significativo ( $p \geq 0,05$ ).

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Entretanto, os resultados obtidos neste trabalho diferem dos encontrados por Oliveira *et al* (2020), que encontraram efeito significativo na produtividade do milho para inoculação de *B. megaterium* e *B. subtilis* separadamente, tanto em solo com fertilidade construída, como em solo de baixa fertilidade. Dessa forma, os resultados da presente pesquisa, indicam a possibilidade da inoculação destas bactérias solubilizadoras de P não terem reproposta na produtividade do milho em solos argilosos, com altos teores de MO e com teor de P muito alto. Conseqüentemente, indica a probabilidade destes microrganismos promoverem diferentes respostas para diferentes características do solo, principalmente para os níveis de fertilidade do solo.

Esta hipótese é fundamentada nas faixas de teores de disponibilidade de nutrientes, onde o nível caracterizado como muito alto representa condições em que a adição do elemento não tem resposta na produtividade da cultura e a adubação tem o objetivo de repor os nutrientes exportados pelos produtos oriundos da cultura em questão, somado a uma estimativa de eventuais perdas do sistema (SBCS, 2016), como o nível de P do solo identificado nesta pesquisa.

Além disso, Oliveira *et al* (2020), também observou que a inoculação de *B. megaterium* e *B. subtilis* em mistura associado com 50% da dose de P, proporcionou produtividade do milho superior ao tratamento com 100% da dose de P sem a inoculação, o que não se repetiu na presente pesquisa.

Estes resultados sugerem a necessidade da realização de novos trabalhos em diferentes condições, principalmente em diferentes níveis de fertilidade do solo, para mensurar os efeitos desta inoculação nestas condições e indicar as situações em que o uso desta tecnologia é eficiente.

Quanto a viabilidade econômica, de modo geral, todos os tratamentos tiveram retorno econômico positivo para a utilização das diferentes doses de P e da inoculação (tabela 6).

A adição de 100% da dose de P apresentou um resultado positivo de R\$ 938,06 e, quando acrescentada a inoculação, a viabilidade foi levemente afetada negativamente. Por outro lado, a inoculação de *B. megaterium* e *B. subtilis* isolada proporcionou uma rentabilidade de R\$ 490,73 superior quando comparada com o tratamento com 0% de P e sem inoculação, sendo maior até mesmo do que o tratamento com 50% da dose de P com inoculação.

Portanto, a inoculação teve uma menor viabilidade econômica à medida que a dose de P era maior, o que indica que em solos com menor disponibilidade do nutriente a sua utilização seja mais viável. No entanto, é fundamental ressaltar que estes dados não são conclusivos, pois não foram submetidos a uma análise estatística, e os mesmos devem ser confirmados com a devida metodologia científica.

Tabela 6: Análise de custos da adição de P e da inoculação em relação a resposta na produtividade por hectare para os diferentes tratamentos.

Tratamentos	Custo com P (R\$)	Custo da inoculação (R\$)	Custo total (R\$)	Receita (R\$)	Saldo (R\$)
100PCI	777,74	118,00	895,74	1787,87	892,13
100PSI	777,74	0,00	777,74	1715,80	938,06
50PCI	392,33	118,00	510,33	840,27	329,94
0PCI	0,00	118,00	118,00	608,73	490,73
0PSI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

## 6 CONCLUSÃO

Nas condições em que o trabalho foi realizado, os tratamentos contendo 100% da dose de P com e sem inoculação e 50% da dose de P com inoculação proporcionaram maiores alturas de plantas aos 25 e 50 DAE quando comparados com os demais, e não diferiram estatisticamente entre si. Demonstrando efeito da adição de P sobre a altura das plantas de milho, já a inoculação não teve efeito sobre esta variável.

A inoculação com *B. megaterium* e *B. subtilis* e as diferentes doses de P não influenciaram os componentes do rendimento e produtividade do milho.

A adição de P apresentou viabilidade econômica na cultura do milho em solos com teor alto deste nutriente. Quanto a inoculação, a mesma apresentou viabilidade econômica no tratamento com 0% da dose de P, entretanto não foi viável no tratamento com 100% da dose de P.

## REFERÊNCIAS

- ABIMILHO. **Estatísticas de milho.** Disponível em: <http://www.abimilho.com.br/estatisticas>. Acesso em: 19 jul. 2021.
- BASHAN, Y.; DE-BASHAN, L. E. Plant growth-promoting. **Encyclopedia of soils in the environment**, v. 1, p. 103-115, 2005. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Yoav-Bashan-2/publication/253953454\\_Bacteria\\_Plant\\_growth\\_promotion/links/0deec5345c04910e38000000/Bacteria-Plant-growth-promotion.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Yoav-Bashan-2/publication/253953454_Bacteria_Plant_growth_promotion/links/0deec5345c04910e38000000/Bacteria-Plant-growth-promotion.pdf). Acesso em: 19 jul. 2021.
- BISSANI, Carlos Alberto *et al.* **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas.** 2 ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008.
- BRASIL. Conab. **Análise mensal.** Brasília, DF: Conab, jul. 2020. Disponível em: [https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-milho/item/download/28400\\_a7ac31374a6551d606bc8939e829427c](https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-milho/item/download/28400_a7ac31374a6551d606bc8939e829427c).
- BRASIL. Conab. **Início da colheita de milho confirma recorde de 250,5 milhões de t na produção total de grãos.** Conab, jun. 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3446-inicio-da-colheita-de-milho-confirma-recorde-de-250-5-milhoes-de-t-na-producao-total-de-graos#:~:text=O%209%C2%BA%20Levantamento%20da%20Safr,o%20colhido%20em%202018%2F19>.
- CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira; ESTRADA-BONILLA, German Andrés. Inoculantes agrícolas. **Biotecnologia Industrial-Vol. 3: Processos fermentados e enzimáticos**, v. 3, p. 305, 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/German-Estrada-Bonilla/publication/344179014\\_INOCULANTES\\_AGRICOLAS/links/5f595e2ba6fdcc11640478c8/INOCULANTES-AGRICOLAS.pdf](https://www.researchgate.net/profile/German-Estrada-Bonilla/publication/344179014_INOCULANTES_AGRICOLAS/links/5f595e2ba6fdcc11640478c8/INOCULANTES-AGRICOLAS.pdf). Acesso: 19 jul. 2021.
- CERETTA, Carlos Alberto; AITA, Celso. **Biologia do solo.** 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/16159?locale-attribute=en>. Acesso em: 08 set. 2021.
- CHABOT, Rock; ANTOUN, Hani; CESCAS, Michel P. Growth promotion of maize and lettuce by phosphate-solubilizing *Rhizobium leguminosarum* biovar. phaseoli.

Promoção de crescimento de milho e alface por *Rhizobium leguminosarum* biovar. phaseoli solubilizante de fosfato. Promoción del crecimiento de maíz y lechuga mediante *Rhizobium leguminosarum* biovar. phaseoli solubilizante de fosfato. **Plant and soil**, v. 184, n. 2, p. 311-321, 1996. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00010460>. Acesso em: 27 ago. 2021.

CLIMA-DATA.ORG. **Clima Doutor Maurício Cardoso**. Disponível em: <https://en.climate-data.org/south-america/brazil/rio-grande-do-sul/doutor-mauricio-cardoso-313064/>. Acesso em: 06 set. 2021.

COELHO, A. M. Nutrição e adubação do milho (Circular Técnica 78). **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Minas Gerais**, 2006. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/490410>. Acesso em: 20 jul. 2021.

COLLARES, Daniela Garcia. **Prosa Rural – Importância da análise de solo**. EMBRAPA, mai. 2006. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2533063/prosa-rural---importancia-da-analise-do-solo>. Acesso em: 08 set. 2021.

DE OLIVEIRA, A. L. M.; URQUIAGA, S.; BALDANI, J. I. Processos e mecanismos envolvidos na influência de microrganismos sobre o crescimento vegetal. **Embrapa Agrobiologia-Documentos (INFOTECA-E)**, 2003. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/624875/1/doc161.pdf>. Acesso em: 08 set. 2021.

DE OLIVEIRA, Francisco Assis et al. Crescimento do milho adubado com nitrogênio e fósforo em um Latossolo Amarelo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 4, n. 3, p. 238-244, 2015. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=273>. Acesso em: 05 mar. 2022.

DE SOUSA, Sylvia Morais et al. Tropical *Bacillus* strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield. A inoculação de cepas de *Bacillus* tropicais aumenta a área de superfície da raiz do milho, o peso seco, a absorção de nutrientes e o rendimento de grãos. La inoculación de cepas de *Bacillus* tropicales mejora la superficie de la raíz del maíz, el peso seco, la absorción de nutrientes y el rendimiento de grano. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p.

867-877, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00344-020-10146-9>. Acesso em: 21 jul. 2021.

ERNANI, P. R. et al. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 537-544, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/zPzSHGyXsnpMxSqmHwRrm3p/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 08 set. 2021.

GAONKAR, Teja; BHOSLE, Saroj. Effect of metals on a siderophore producing bacterial isolate and its implications on microbial assisted bioremediation of metal contaminated soils. Efeito dos metais em um isolado bacteriano produtor de sideróforo e suas implicações na biorremediação microbiana assistida de solos contaminados por metais. Efecto de los metales en un aislado bacteriano productor de sideróforos y sus implicaciones en la biorremediación asistida por microbios de suelos contaminados con metales. **Chemosphere**, v. 93, n. 9, p. 1835-1843, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653513008783>. Acesso em: 20 set. 2021.

GOEDERT, Wenceslau J. **Calagem e adubação**. Brasília, DF: EMBRAPA-CPAC; EMBRAPA SPI, 1995., 1995. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/100666>. Acesso em: 09 set. 2021.

JORQUERA, Milko A. et al. Isolation of culturable phosphobacteria with both phytate-mineralization and phosphate-solubilization activity from the rhizosphere of plants grown in a volcanic soil. Isolamento de fosfobactérias cultiváveis com atividade de mineralização de fitato e solubilização de fosfato da rizosfera de plantas cultivadas em solo vulcânico. Aislamiento de fosfobacterias cultivables con actividad tanto de mineralización de fitato como de solubilización de fosfato de la rizosfera de plantas cultivadas en un suelo volcánico. **Biology and Fertility of Soils**, v. 44, n. 8, p. 1025-1034, 2008. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-008-0288-0>. Acesso em: 20 set. 2021.

KALAYU, Girmay. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. Microrganismos solubilizadores de fosfato: abordagem promissora como biofertilizante. Microorganismos solubilizadores de fosfato: enfoque prometedor como biofertilizantes. **International Journal of Agronomy**, v. 2019,

2019. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/ija/2019/4917256/>. Acesso em: 21 jul. 2021.

LEE, Kang-Kook et al. Mechanisms of phosphate solubilization by PSB (Phosphate-solubilizing Bacteria) in soil. Mecanismos de solubilização de fosfato por PSB (Phosphate-solubilizing Bacteria) em solo. Mecanismos de solubilización de fosfato por PSB (Phosphate-solubilizing Bacteria) en suelo. **Korean Journal of Soil Science and Fertilizer**, v. 45, n. 2, p. 169-176, 2012. Disponível em: <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201223052002434.page>. Acesso em: 30 ago. 2021.

LIMA, Francisco F. et al. Bacillus subtilis e adubação nitrogenada na produtividade do milho. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 4, p. 657-661, 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/1190/119021237016.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2022.

LOBO, Laiana Lana Bentes. **Potencial de bactérias endofíticas na promoção do crescimento em plantas de milho**. 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/155924>. Acesso em: 03 mar. 2022.

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1989. 177p. Disponível em: <https://www.ufjf.br/baccan/files/2019/04/Manual-Internacional-de-Fertilidade-do-Solo.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2021.

MARAG, Premising Shivsing; SUMAN, Archana. Growth stage and tissue specific colonization of endophytic bacteria having plant growth promoting traits in hybrid and composite maize (*Zea mays* L.). Estágio de crescimento e colonização específica de tecido de bactérias endofíticas com características de promoção de crescimento de plantas em milho híbrido e composto (*Zea mays* L.). Etapa de crecimiento y colonización específica de tejido de bacterias endofíticas que tienen rasgos promotores del crecimiento de las plantas en maíz híbrido y compuesto (*Zea mays* L.). **Microbiological research**, v. 214, p. 101-113, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0944501318301307>. Acesso em: 30 ago. 2021.

MARTINS, Diego Nunes. **COMPARAÇÃO ENTRE O Bacillus megaterium E Pseudomonas fluorescens NO DESENVOLVIMENTO E REPRODUÇÃO DA CULTURA DO MILHO**. 2020. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1453>. Acesso em: 05 mar. 2022.

- MOCELLIN, R. S. P. Princípios da adubação foliar: **coletânea de dados e revisão bibliográfica**. Omega, Canoas. 83p, 2004. Disponível em: <http://atividaderural.com.br/artigos/4ee8d034c1796.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2021.
- NOVAIS, Roberto Ferreira. *et al.* Fertilidade do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 1 ed. 2007. Acesso em: 24 jul. 2021.
- NUTRI-FATOS. **Informação agronômica sobre nutrientes para as plantas**. n.1, Piracicaba – SP, 2017?. Disponível em: [https://www.npct.com.br/publication/nutrifacts-brasil.nsf/book/NUTRIFACTS-BRASIL-2/\\$FILE/NutriFacts-BRASIL-2.pdf](https://www.npct.com.br/publication/nutrifacts-brasil.nsf/book/NUTRIFACTS-BRASIL-2/$FILE/NutriFacts-BRASIL-2.pdf). Acesso em: 27 jul. 2021.
- OLIVEIRA, C. A. et al. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. *Microrganismos solubilizadores de fosfato isolados da rizosfera de milho cultivado em um latossolo do bioma Cerrado Brasileiro. Microorganismos solubilizadores de fosfato aislados de la rizosfera de maíz cultivado en un oxisol del Bioma del Cerrado Brasileño. Soil Biology and Biochemistry*, v. 41, n. 9, p. 1782-1787, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.01.012>. Acesso em: 24 jul. 2021.
- OLIVEIRA, C. A. et al. Recomendação agronômica de cepas de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) na cultura do milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2020. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1120362>. Acesso em: 24 jul. 2021.
- OLIVEIRA, C. A. et al. Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja. **Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2020. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1126348>. Acesso em: 25 jul. 2021.
- PAES, Maria Cristina Dias. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/489376/1/Circ75.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2021.
- PRABHU, Neha; BORKAR, Sunita; GARG, Sandeep. Phosphate solubilization by microorganisms: overview, mechanisms, applications and advances. Solubilização

de fosfato por microrganismos: visão geral, mecanismos, aplicações e avanços. Solubilización de fosfatos por microorganismos: panorama, mecanismos, aplicaciones y avances. **Advances in Biological Science Research**, p. 161-176, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817497-5.00011-2>. Acesso em: 05 set. 2021.

PRADO, Renato de Mello. **Nutrição de plantas**. UNESP – Jaboticabal. 2006.

RIBEIRO, Vitória Palhares et al. Endophytic Bacillus strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P. As cepas de Bacillus endofítico aumentam o crescimento do milheto e a absorção de nutrientes sob baixo P. Las cepas endófitas de Bacillus mejoran el crecimiento del mijo perla y la absorción de nutrientes en condiciones bajas de P. **brazilian journal of microbiology**, v. 49, p. 40-46, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2018.06.005>. Acesso em: 22 jul. 2021.

RODRÍGUEZ, Hilda; FRAGA, Reynaldo. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Bactérias solubilizadoras de fosfato e seu papel na promoção do crescimento vegetal. Bacterias solubilizadoras de fosfato y su papel en la promoción del crecimiento de las plantas. **Biotechnology advances**, v. 17, n. 4-5, p. 319-339, 1999. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975099000142>. Acesso em: 28 jul. 2021.

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. **Sistema plantio direto – o produtor pergunta, a embrapa responde**. 1998 Disponível em: [https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/98258/1/500perguntassistema\\_plantiodireto.pdf](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/98258/1/500perguntassistema_plantiodireto.pdf). Acesso em 28 jul. 2021.

SBCS. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2016.

SHAHBANDEH, M. **Grain production worldwide 2020/21, by type**. Produção de grãos no mundo 2020/21, por tipo. Producción de cereales a nivel mundial 2020/21, por tipo. Statista, jul. 2021. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/263977/world-grain-production-by-type/>.

SILVA FILHO, Germano Nunes; VIDOR, Caio. Atividade de microrganismos solubilizadores de fosfatos na presença de nitrogênio, ferro, cálcio e potássio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1495-1508, 2001. Disponível em:

- <https://www.scielo.br/j/pab/a/VQ4pVFMWrFJWZwG8x6sbRYP/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 25 ago. 2021.
- SILVA FILHO, Germano Nunes; VIDOR, Caio. Atividade de microrganismos solubilizadores de fosfatos na presença de nitrogênio, ferro, cálcio e potássio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1495-1508, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/VQ4pVFMWrFJWZwG8x6sbRYP/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 23 set. 2021.
- SILVA FILHO, Germano Nunes; VIDOR, Caio. Solubilização de fosfatos por microrganismos na presença de fontes de carbono. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 2, p. 311-319, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000200008>. Acesso em: 24 set. 2021.
- SOUSA, Djalma M. G. de; LOBATO, Edson. **Perfil representativo de um latossolo Vermelho-escuro (LE)**. EMBRAPA, 2015?. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01\\_96\\_10112005101956.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html). Acesso em: 03 set. 2021.
- TAIZ, Lincoln *et al.* **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. São Paulo: Artmed, 2017.
- TONIN, Jeferson *et al.* Dinâmica Agrária e Fruticultura no Território Médio Alto Uruguaí. **Anais do Simpósio Latino-Americano de Estudos de Desenvolvimento Regional**, v. 1, n. 1, 2018. Disponível em: <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/slaedr/article/view/10573>. Acesso em: 08 out. 2021.
- VANCE, Carroll P.; UHDE-STONE, Claudia; ALLAN, Deborah L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. Aquisição e uso de fósforo: adaptações críticas pelas plantas para garantir um recurso não renovável. Adquisición y uso de fósforo: adaptaciones críticas de las plantas para asegurar un recurso no renovable. **New phytologist**, v. 157, n. 3, p. 423-447, 2003. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1046/j.1469-8137.2003.00695.x>. Acesso em: 29 jul. 2021.
- VASCONCELLOS, Carlos *et al.* Fósforo para o Milho?. **Revista Cultivar**, p. 8/9, jan 2000. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/41579/1/Fosforo-milho.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2021.

VIANA, Guilherme. **BiomaPhos rendeu R\$ 105 milhões ao País em 2020 com aumento de produtividade de soja e milho.** EMBRAPA, mai. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/61084904/biomaphos-rendeu-r-105-milhoes-ao-pais-em-2020-com-aumento-de-produtividade-de-soja-e-milho>.

Acesso em: 21 jul. 2021.

VIEIRA VELLOSO, Camila Cristina *et al.* Genome-guided insights of tropical *Bacillus* strains efficient in maize growth promotion. Visão do genoma de cepas de *Bacillus* tropicais eficientes na promoção do crescimento do milho. Conocimientos guiados por el genoma de cepas de *Bacillus* tropicales eficientes en la promoción del crecimiento del maíz. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 96, n. 9, p. f1aa157, 2020.

Disponível em:

<https://academic.oup.com/femsec/article/96/9/f1aa157/5891423?login=true>. Acesso

em: 28 jul. 2021.