

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

PEDRO HENRIQUE GOMES DE CARVALHO

**USO DE BACTÉRIAS PARA REDUZIR ADUBAÇÃO FOSFATADA NA CULTURA
DO MILHO NO CERRADO**

**Ilha Solteira
2022**

PEDRO HENRIQUE GOMES DE CARVALHO

**USO DE BACTÉRIAS PARA REDUZIR ADUBAÇÃO FOSFATADA NA CULTURA
DO MILHO NO CERRADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp
como parte dos requisitos para obtenção do título
de Engenheiro Agrônomo.

Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Orientador

**Ilha Solteira
2022**

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C331u Carvalho, Pedro Henrique Gomes de.
Uso de bactérias para reduzir adubação fosfatada na cultura do milho no
cerrado / Pedro Henrique Gomes de Carvalho. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2022
32 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica)
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Inclui bibliografia

1. Adubação fosfatada. 2. *Zea mays* L. 3. *Azospirillum brasilense*. 4. *Bacillus subtilis*. 5. *Bacillus megaterium*.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO”**

FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA
ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Uso de bactérias para reduzir adubação fosfatada na cultura do milho no cerrado

ALUNO: *Pedro Henrique Gomes de Carvalho* RA: 171052323

ORIENTADOR: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Aprovado (x) - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: 10

Comissão Examinadora:



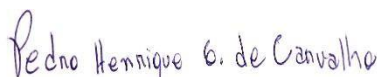
Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Presidente (Orientador)



Me. Carlos Eduardo da Silva Oliveira



Me. Amário Nuno Meireles Duarte



Pedro Henrique Gomes de Carvalho

Ilha Solteira, 26 de julho de 2022.

DEDICATÓRIA

Dedico à minha mãe, Iara Mirella Gasparello Gomes de Carvalho (in memoriam) que me deixou o maior exemplo de determinação e amor, e meu pai Marcio Roberto de Carvalho, por me apoiar com todo amor e carinho, me ensinando como ser um homem honesto e dedicado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente, por me guiar no caminho correto de minha trajetória.

À Faculdade de Engenharia – Unesp/Campus de Ilha Solteira por tornar possível o sonho de minha graduação e formação.

A meu amigo e orientador Prof. Drº Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho, pela orientação, companheirismo e toda a oportunidade de obter os muitos ensinamentos nestes 5 anos de orientação.

À toda minha família, Marcio Roberto de Carvalho, Milena Gomes de Carvalho, Camila Souza Carvalho, Aparecido Nazareno de Carvalho, Maria Malaquias de Carvalho, Maria Aparecida Gasparello, que sempre me apoiaram e me encorajaram a sempre fazer o melhor e a minha companheira Loiane Fernanda Romão de Souza por sempre me motivar e por todo apoio e carinho.

Aos meus grandes amigos, Vinicius Rodrigues Balbino e Vinicius Mantelato Bomfim por todo o companheirismo e amizade.

Aos colegas da equipe de Nutrição de Plantas e ao técnico de laboratório Marcelo Rinaldi da Silva, por serem tão importantes neste e em todos os trabalhos desenvolvidos.

À todos os professores que passaram por minha trajetória compartilhando todos seus ensinamentos que participaram de meu crescimento profissional e em especial ao professor Antonio Bolonhezi pela orientação, todos os ensinamentos e confiança no início de minha formação.

"No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz."

Ayrton Senna

RESUMO

O nutriente fósforo (P) é de extrema importância para o cultivo do milho (*Zea mays* L.) que por sua vez é considerado um dos cereais mais importantes no mundo e sendo amplamente produzido no Brasil. Este nutriente é aplicado em grandes quantidades, especialmente no Cerrado se tratando de solos mais intemperizados onde ocorrem baixos teores de P e grande predominância de acidez nos solos, assim o P é adsorvido no solo em grande quantidade e ficando indisponível às plantas, por isso é comum a baixa eficiência da adubação fosfatada. Em razão do grande custo dos fertilizantes fosfatados, o cultivo de milho se torna muito oneroso trazendo a tona a necessidade de se estudar maneiras de aperfeiçoar a eficiência do elemento no solo. Estamos atualmente no período de “Microrevolução verde” onde as bactérias promotoras de crescimento plantas (BPCPs) vem ganhando espaço na agricultura com sua capacidade de aumentar a produtividade das culturas por meio de estímulos vegetais e reduzir a utilização de fertilizantes por meios por exemplo da solubilização de fosfatos adsorvidos no solo. Assim objetivou-se avaliar o efeito da inoculação com BPCPs aliada a redução de 25% da adubação fosfatada, na nutrição, componentes de produção e produtividade de milho primeira safra cultivado na região de Cerrado. A pesquisa foi realizada em área experimental pertencente à Faculdade de Engenharia – UNESP, localizada em Selvíria – MS. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com seis repetições. Foram utilizados cinco tratamentos adubação fosfatada com 75% da dose recomendada, adubação fosfatada com 100% da dose recomendada, coinoculação de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, e inoculação com *Azospirillum brasilense*. A inoculação com *Azospirillum brasilense* promoveu maior teor P no solo e na folha diagnose do milho. A inoculação desta bactéria promotora de crescimento também proporcionou as maiores produtividade de massa seca de palhada e de grãos, mesmo com a redução de 25% do fornecimento de P_2O_5 . Portanto, recomenda-se nas condições edafoclimáticas desta pesquisa, a inoculação com *Azospirillum brasilense* associado a redução de 75% da dose de fósforo recomendada.

Palavras-chave: Adubação fosfatada, *Zea mays* L., Produtividade, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*.

USE OF BACTERIA TO REDUCE PHOSPHATE FERTILIZATION IN CORN CROP IN CERRADO

ABSTRACT

The nutrient phosphorus (P) is extremely important for the cultivation of corn (*Zea mays* L.) which in turn is considered one of the most important cereals in the world and is widely produced in Brazil. This nutrient is applied in large quantities, especially in the Brazilian Cerrado, in the case of more weathered soils where there are low levels of P and a high predominance of acidity in the soils, that why is common to low phosphate fertilization efficiency. Due to the high cost of phosphate fertilizers, corn cultivation becomes very expensive, bringing up the need to study ways to improve the P efficiency in the soil. We are currently in the period of “Green Microrevolution” where plant growth-promoting bacteria (PGPB) have been gaining ground in agriculture with their ability to increase crop productivity through plant stimuli and reduce the use of fertilizers by means of solubilization, for example, of phosphates adsorbed on the soil. Thus, the objective was to evaluate the effect of inoculation with PGPBs combined with a 25% reduction in phosphate fertilization, on nutrition, production components and productivity of corn crop grown in the Cerrado region. The research was carried out in an experimental area belonging to the Faculty of Engineering – UNESP, located in Selvíria – MS. The experimental design used was randomized blocks with six replications. Five treatments were used: phosphate fertilization with 75% of the recommended dose, phosphate fertilization with 100% of the recommended dose, co-inoculation of *Bacillus subtilis* and *Bacillus megaterium*, and inoculation with *Azospirillum brasilense*. Inoculation with *A. brasilense* promoted higher P content in the soil and in the corn diagnosis leaf. The inoculation of this growth-promoting bacterium also provided the highest straw dry mass and grain yields, even with a 25% reduction in P₂O₅ supply. Therefore, in the edaphoclimatic conditions of this research, inoculation with *Azospirillum brasilense* associated with a 75% reduction in the recommended phosphorus dose is recommended.

Keywords: Phosphate fertilization, *Zea mays* L., Productivity, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVO	11
3	REVISÃO DE LITERATURA	12
	3.1 CULTURA DE MILHO.....	12
	3.2 MORFOFISIOLOGIA DO MILHO	12
	3.3 FÓSFORO NA PLANTA	13
	3.4 BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO	14
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
	4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	15
	4.2 DESCRIÇÃO DOS INOCULANTES	17
	4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS.....	18
	4.5 AVALIAÇÕES E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	20
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6	CONCLUSÃO	27
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	28

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior exportador mundial de milho, o terceiro maior produtor mundial de milho com a expectativa de produção em 112,3 milhões de toneladas na safra 21/22 (CONAB et al., 2022). Sendo o milho um dos grãos mais importantes para alimentação mundial, pois mesmo que o consumo humano diretamente não seja consideravelmente grande, sua utilização na alimentação animal mundial chega a 70% da produção, decorrente de suas diversas formas de utilização e alto valor nutritivo (NOGUEIRA, 2021). A necessidade do aumento da produtividade agrícola é uma constante preocupação da humanidade diante o crescimento da população mundial que segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura) é de 70%, junto com a chegada de fronteiras agrícolas para novas áreas de produção, torna-se muito preocupante a demanda da produção de alimentos e outras matérias primas, assim evidenciando ainda mais a importância de aumentar a produtividade utilizando a mesma área demandada (RIA HULSMAN, 2018).

Para garantir o aumento da produtividade e atender o crescimento da população é necessário a adequação de novas tecnologias de produção agrícola. Contudo, em função da dinâmica complexa do nitrogênio (N) e fósforo (P) no solo e da alta exigência destas culturas por estes nutrientes, para a obtenção de elevadas produtividades de grãos se faz necessário aplicar doses elevadas de nitrogênio e potássio em cobertura, além de grandes quantidades de fosfatos por permanecerem insolúveis na solução do solo, o que onera o custo de produção dos agricultores e polui o meio ambiente. No cenário atual, o Brasil é altamente dependente de outros países para realizar a nutrição das plantas, no ano de 2018 foram importados aproximadamente 8,8 milhões de toneladas de fertilizantes nitrogenados, 4,8 milhões de toneladas de fertilizantes fosfatados e de 10,5 milhões de toneladas de fertilizantes potássicos (ABISOLO, 2019).

O P trata-se de um macronutriente primário de função estrutural nas plantas, envolvido em diversos processos metabólicos, como armazenamento e transferência de energia, respiração, síntese de ácidos nucleicos, síntese e estabilidade de membranas, ativação e desativação de enzimas, reações redox e metabolismo de carboidratos (BARKER; PILBEAM, 2015). O P é um dos nutrientes mais limitantes nos sistemas de cultivo agrícola, estima-se que ocorra deficiências de P em aproximadamente 67% das terras mundiais designadas para a produção agrícola, e a eficiência do uso do nutriente pelos cereais é baixa variando entre 15 e

30% (DHILLON *et al.*, 2017). Em solos de regiões tropicais, o P pode precipitar junto aos minerais de Fe e Al (PENN; CAMBERATO, 2019), ambos minerais reduzem a disponibilidade de P, as frações de argila como óxidos hidratados amorfos de Fe e Al, além de gibbsita, goethita e caulinita são responsáveis pela maior fixação de P para o crescimento das plantas (DHILLON *et al.*, 2017). A matéria prima dos fertilizantes fosfatados é provinda de reservas naturais que segundo Cordell 2009 podem ser esgotadas entre 50 a 100 anos.

Plantas de desenvolvimento intenso e de ciclo curto, como a planta de milho, exigem maiores quantidades de P na solução do solo (não adsorvido) para seu desenvolvimento do que as culturas perenes (LINO *et al.*, 2018). A fisiologia, crescimento e desenvolvimento das plantas estão intimamente associados às condições ambientais e suprimento de nutrientes (SIGNORE *et al.*, 2016). A otimização da aplicação de nutrientes às plantas é fundamental para melhorar a produção agrícola (HAYDON *et al.*, 2015). Com a intenção de reduzir ou uso de fertilizantes minerais para agricultura sustentável, são necessários estudos que identificam ferramentas que facilitam a redução de insumos químicos.

Rizobactérias são usadas para aumentar a resistência a doenças, e promover o crescimento através de mecanismos relacionados com a síntese de enzimas e hormônios que proporcionam um aumento do desenvolvimento do sistema radicular, assim como a absorção de água e nutrientes (BUENO *et al.*, 2017). *Azospirillum* sp. produz fitohormônios que estimulam o crescimento das raízes de diversas espécies de plantas. A aplicação de *Pseudomonas* sp. e *Bacillus subtilis* promovem melhor eficiência fotossintética e promove aumento do teor de nitrogênio, potássio, fósforo e ferro nas folhas (CORRÊA *et al.*, 2010).

A aplicação de bactérias solubilizantes de fosfato aumenta a fertilidade do solo devido à sua capacidade converter P insolúvel em P solúvel através da liberação de ácidos orgânicos, quelação e troca iônica. A ação dos ácidos orgânicos é conhecida como o principal mecanismo responsável pela liberação de fósforo das estruturas hidroxiapatita, e ainda segundo Saeid *et al.* (2014) os exsudatos solubilizantes produzidos por *Bacillus* spp. foram compostos pelos seguintes cinco ácidos orgânicos: glucônico, láctico, acético, succínico e propiônico, e tiveram fortes correlações positivas com as concentrações de fosforo solúvel do solo. Em cultivo de feijão caupi em região tropical utilizando inoculação de *B. subtilis*, verificou-se a grande eficiência da bactéria em solubilizar fosfato e aumentar disponibilidade do nutriente para as plantas elevando a produtividade e o estado nutricional da planta (SWAIN *et al.*, 2012). Em cultivo de milho verificou-se aumento na eficiência do uso de P com a inoculação de *Azospirillum brasilense* e *Bacillus subtilis* chegando a aumentar 39% da produtividade aliado a doses de P_2O_5 (PEREIRA *et al.*, 2020).

Deste modo, a utilização de novas tecnologias sustentáveis, visando aumento na produtividade e qualidade de alimentos torna-se imprescindível na busca de uma agricultura competitiva e de baixa emissão de carbono. Com o uso de *A. brasilense* no cultivo, foi relatado o aumento da atividade da enzima nitrato redutase nas folhas das plantas, reduzindo teores de nitrato (REIS JUNIOR *et al.*, 2008). Em contrapartida aumentando os níveis de amônio, que por sua vez evita gastos energéticos da planta na conversão de nitrato em amônio e promovendo maior crescimento e acúmulo de massas nas folhas (LUZ *et al.*, 2008). Tien *et al.* (1979) verificaram que os componentes responsáveis pelo estímulo do crescimento de raízes liberados por *A. brasilense* eram o ácido indol-acético (AIA), giberelinas e citocininas. Foi verificado relatos de incrementos na absorção da água e nutrientes minerais, maior tolerância aos estresses hídrico e salino, resultando em uma planta mais vigorosa e produtiva (BASHAN *et al.*, 2004). A utilização de *B. subtilis* proporciona aumento da eficiência de absorção de fosfatos contribuindo para maior produtividade, sendo capazes de promover o crescimento das plantas por meio da produção de hormônios de crescimento e da mobilização de fósforo, zinco e nitrogênio para as plantas (CORRÊA; BETTIOL, 2009). As bactérias do gênero *Pseudomonas* sp. são capazes de produzir metabólitos secundários como antibióticos, compostos voláteis, fitohormônios e sideróforos, a capacidade destas bactérias de promover crescimento das plantas, está ligado ao fato desses organismos produzirem o AIA e outros compostos importantes (SIVASAKTHI *et al.*, 2014).

Portanto, devido à carência de informações acerca da inoculação de diversas bactérias promotoras de crescimento diferentes na cultura do milho em condições de campo com a intenção de reduzir 25% da adubação fosfatada, ainda mais na região de Cerrado brasileiro. O estudo teve como hipótese que a inoculação com BPCPs nas sementes aliada a redução de 25% da adubação fosfatada, pode favorecer o desenvolvimento inicial, aumentando a nutrição da planta e o acúmulo de N e P em parte aérea e, conseqüentemente, melhorar o desenvolvimento e enchimento de grãos com reflexo positivo na produtividade da cultura do milho.

2 OBJETIVO

Foi de averiguar o efeito da inoculação com BPCPs aliada a redução de 25% da adubação fosfatada na semeadura, sobre a nutrição, componentes de produção e produtividade de milho primeira safra cultivado na região de Cerrado.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CULTURA DE MILHO

Os maiores produtores de milho são os Estados Unidos, a China e Brasil respectivamente, sendo o Brasil o maior exportador das commodities (CONAB *et al.*, 2022), o milho é a planta comercial mais importante com origem nas américas, sua importância econômica é caracterizada pelas muitas formas de utilização desde a alimentação animal a indústria de alta tecnologia. Em conjunto ao consumo humano, associado com o crescimento da utilização em aplicações industriais, pode se observar o crescimento de sua produção no mundo sendo considerado o cereal mais produzido no mundo atualmente (EMBRAPA *et al.*, 2005). Com a evolução da produção de soja no Brasil o cultivo de milho na safra de inverno ou “safrinha”, reduziu por dar espaço para o cultivo de soja na safra de verão que aumentou cerca de 33% de 1989 a 2014, e a produção total anual obteve um crescimento de 75% nesta mesma época (EMBRAPA *et al.*, 2015), na safra 2021/2022 a expansão da área de cultivo foi de 3% (CONAB, 2021). O estado que obteve maior produção de milho no Brasil em 2022 foi o Mato Grosso, sendo o detentor de 36% da produção nacional, seguido pelo Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais.

O crescimento tem influência da alta valorização comercial dos preços da commodity em vista do mercado de exportação com a demanda aquecida sendo favorecidas pela alta do dólar, onde contribuíram para baterem recordes de preços da saca como R\$99,76 por saca de 60 kg no fim de abril de 2021 (CEPEA, 2021).

3.2 MORFOFISIOLOGIA DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.) é uma gramínea pertencente à família Poaceae, com origem na América Central ou mais especificamente no México, encontrado entre 8 e 10 mil anos atrás (PATERNIANI *et al.* 2000).

Seu caráter monoico e a sua morfologia característica resultam da combinação de várias partes da anatomia básica das gramíneas. O resultado da seleção natural e da domesticação da cultura foi uma planta anual, de porte robusto e ereto, que pode ter um a quatro metros de altura especificamente “construída” para a produção de grãos (EMBRAPA, 2015). O milho é uma das

mais eficientes plantas armazenadoras de energia existentes na natureza, devido à sua grande capacidade de acumulação de fotoassimilados (BALDO, 2007).

Com relação ao período de cultivo o Brasil, país tropical, leva grande vantagem se comparado às condições de clima temperado, no qual esse período é bem definido e relativamente curto. Contudo, existem desvantagens dos ambientes tropicais como a imprevisibilidade das condições climáticas e as variações bastante acentuadas tanto em regiões como entre anos (PATERNIANI *et al.*, 2000). Com o avanço das mudanças climáticas provavelmente será verificado maiores modificações no ambiente tornando necessário o estudo dos comportamentos fisiológicos do milho em respostas a essas modificações (PINTO; ASSAD, 2008).

Nos últimos anos, a cultura do milho, no Brasil, vem passando por importantes mudanças tecnológicas, resultando em aumentos significativos da produtividade e produção. Entre essas tecnologias, destaca-se a necessidade da melhoria na qualidade dos solos como novos tipos de manejo, agricultura de precisão por exemplo, visando uma produção sustentada. Essa melhoria na qualidade dos solos está geralmente relacionada ao adequado manejo, o qual inclui, entre outras práticas, a rotação de culturas, o plantio direto e o manejo da fertilidade, por meio da calagem e gessagem, da nutrição e adubação do milho e da adubação orgânica (EMBRAPA, 2015).

3.3 FÓSFORO NA PLANTA

O fósforo é um elemento químico essencial para o desenvolvimento das plantas atuando em componentes de estrutura como biomembranas, ácidos nucleicos e nos fosfolipídios, e também na estrutura de metabolitos responsáveis pelo armazenamento de energia como o ATP (adenosina trifosfato). O fornecimento do fósforo às plantas deve ser próximo do sistema radicular no solo (GATIBONI, 2003) .

O fósforo é o segundo elemento utilizado na agricultura que mais limita a produtividade das plantas nos solos tropicais, apesar de ser o décimo segundo elemento mais abundante na crosta terrestre segundo (SCHULZE, 1989). Essa característica é decorrente da difícil dinâmica do P no solo, onde ocorre a adsorção do fosfato através da troca de ligantes (quimiossorção) estabelecendo ligações covalentes de difícil quebra, além de possuir estrutura e superfície específica que potencializam o efeito da adsorção (TIRLONE *et al.* 2009). Quando adicionados uma fonte solúvel de fósforo ao solo, mais de 90% do total aplicado é adsorvido de alguma forma na primeira hora de contato com o solo segundo Loganathan e Fernando (1980).

Para o melhor aproveitamento do fornecimento de P é necessário realizar a aplicação do mesmo de maneira adequada ao solo, sendo a sua localização em relação as raízes primordial para garantir a sua absorção e concomitantemente o melhor desenvolvimento e produtividade das plantas (ANGHINONI; BARBER, 1980), assim como a diminuição da exposição do P à fixação aos colóides do solo pelos óxidos de Fe e Al (SOUSA *et al.*, 2011) muito presentes em solos tropicais que passam por altos teores de intemperização como os Latossolos.

O pH da solução do solo é outro fator que é considerado de maior importância para a realização da adsorção de P ao solo, pois com a solução do solo acidificada leva a alta concentração de Al que além de ser tóxico as plantas, interfere na solubilidade do fosfato no solo que reage se ligando e formando fosfatos de alumínio de baixa solubilização em solos ácidos. Assim em solos ácidos, altamente intemperizados há uma grande reação de formação de fosfatos de alumínio se tornando a forma mais lábil do P nos solos e de impossível absorção pelas plantas (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Segundo Eberhardt *et al.* (2008) estratégias de manejo que propiciam a atividade biológica, como o uso de plantas de cobertura, utilização de adubos orgânicos e adição de elementos que estimulam o desenvolvimento microbiano do solo, podem melhorar a disponibilidade de P para as plantas, resultados da ciclagem biológica do elemento em solos de altos teores de intemperismo.

3.4 BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO

As projeções são de aumento no uso de fertilizantes minerais nos próximos anos para atender a necessidade da agricultura brasileira e à recuperação de áreas degradadas, sendo de grande importância a procura por aumentar a eficiência dos fertilizantes e suas alternativas (GALINDO *et al.*, 2015). Assim temos alguns microrganismos como as bactérias fixadoras de N, bactérias solubilizados de fosfatos e as bactérias promotoras de crescimento de plantas que podem ser alternativa de grande relevância para garantir a redução de custos de cultivo e preservar ou aumentar a produtividade de maneiras sustentáveis (HUNGRIA, 2011).

As bactérias promotoras de crescimento são organismos de vida livre que possuem a capacidade de estimular o crescimento das plantas podendo colonizar a rizosfera, nos tecidos vegetais e nas superfícies das raízes (HELENE, 2021). Estas usualmente estimulam o crescimento vegetal pelo sustento de água e nutrientes da planta, podendo também atuar no acréscimo da resistência à pragas e doença pelas plantas sendo ações diretas ou indiretas no mecanismo vegetal (GLICK, 2012).

Estas bactérias atuam através da produção de estímulos de substâncias hormonais promotoras de crescimento as auxinas, giberelinas e citocininas (GALINDO *et al.*, 2015) proporcionando melhor crescimento radicular (OKON; VANDERLEYDEN, 1997), tendo conseqüentemente maior absorção de água e nutrientes (CORREA *et al.*, 2008) e o resultado e a obtenção de uma planta mais produtiva e resistente (BASHAN *et al.*, 2004; HUNGRIA, 2011).

Por conta da alta adsorção de fósforo pelo solo, especialmente pelos solos muito intemperizados encontrados no cerrado brasileiro, necessita-se do fornecimento de doses muito maiores que necessário às plantas para suprir a adsorção pelo solo e ainda esteja disponível para a absorção pelas plantas. Recentemente vem surgidos estudos da utilização de bactérias capazes de solubilizar fosfatos inorgânicos adsorvidos pelo solo e mineralizar fosforo orgânico e assim aumentar sua disponibilidade para as plantas. Algumas pesquisas demonstraram a eficiência dessas bactérias com a diminuição do fornecimento de fertilizante fosfatado ou até sua ausência (HUNGRIA *et al.*, 2013; MALUSA *et al.*, 2016).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi desenvolvido com a cultura do milho na safra 2019/2020, após o cultivo de trigo irrigado, em área experimental pertencente à Faculdade de Engenharia – UNESP, localizada em Selvíria – MS, com altitude de 335 m. As coordenadas geográficas aproximadas são de 51° 22’ Oeste de Greenwich e 20° 22’ Sul e 335 metros de altitude.

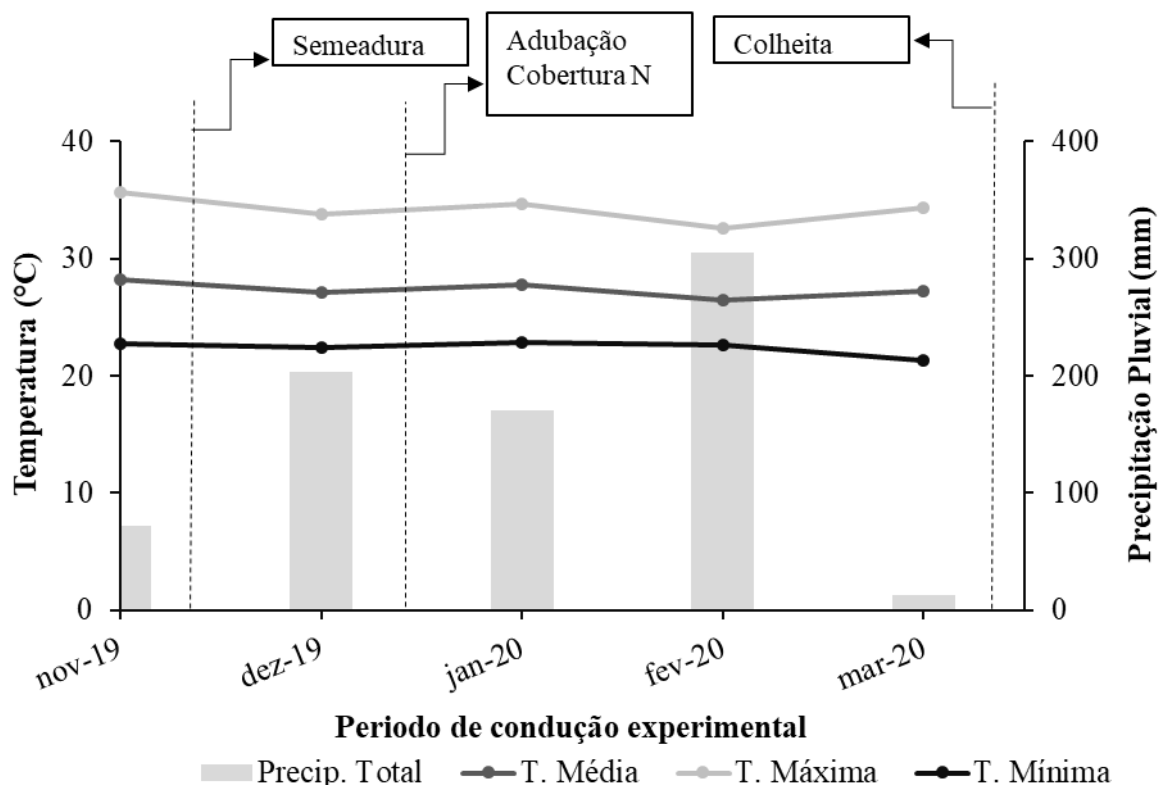
Figura 1. Semeadura da área em detalhe. Selvíria – MS, 2019.



Fonte: Próprio Autor.

A temperatura média anual é de 23,5° C, a precipitação pluvial média anual é de 1370 mm e a umidade relativa do ar média anual entre 70 e 80%. O tipo climático na região é Aw, segundo Köppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. As condições climáticas no decorrer do experimento (Figura 2).

Figura 2. Precipitação pluvial e temperaturas máxima, média e mínima registradas durante a condução do experimento no período de novembro de 2019 a março de 2020, em Selvíria - MS.



O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa, de acordo com a classificação de Embrapa (2018), o qual foi cultivado por culturas anuais há mais de 30 anos, sendo os últimos 14 anos em sistema plantio direto.

Os atributos químicos do solo na camada de 0-0,20 m determinados antes da instalação do experimento, segundo metodologia proposta por Raij et al. (2001) apresentaram os seguintes resultados: 20 mg dm⁻³ de P (resina); 3 mg dm⁻³ de S-SO₄; 24 g dm⁻³ de M.O.; 5,3 de pH (CaCl₂); K, Ca, Mg, H+Al = 5,3; 33,0; 20,0 e 28,0 mmol_c dm⁻³, respectivamente; Cu, Fe, Mn, Zn (DTPA) = 3,9; 21,0; 63,5 e 1,6 mg dm⁻³, respectivamente; 0,19 mg dm⁻³ de B (água quente) e 68% de saturação por bases. A granulometria do solo da área experimental é de 420, 50 e 530 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente.

4.2 DESCRIÇÃO DOS INOCULANTES

O inoculante AzoTotal®, trata-se de um inoculante líquido comercializado pela Total Biotecnologia Ind. e Com. S.A., com garantia de concentração mínima de 2 x 10⁸ UFC (unidades formadoras de colônias) por ml. O inoculante contém as estirpes Ab-V5 (CNPSO 2083) e Ab-V6 (CNPSO 2084) de *Azospirillum brasilense*.

O inoculante Biomaphos®, trata-se de um inoculante líquido comercializado pela Bioma® em parceria com a Embrapa, e possui garantia de 4×10^9 células viáveis por ml formulado das cepas de *Bacillus subtilis* estirpes CNPMS B2084 (BRM034840) e *Bacillus megaterium* CNPMS B119 (BRM033112).

4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com seis repetições e dose tratamentos, sendo:

- 1) Testemunha absoluta: sem inoculação e sem aplicação de P;
- 2) Sem inoculação e com adubação fosfatada (75% da dose recomendada: $73,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de P), aplicada na semeadura;
- 3) Controle Fosfatado: sem inoculação e com 100% do recomendado da adubação fosfatada (Dose recomendada: 98 kg ha^{-1} de P), aplicada na semeadura;
- 4) Inoculação de sementes com *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* (na dose 100 mL para 50 kg de sementes com o inoculante comercial Biomaphos), utilizando 75% da adubação fosfatada recomendada para cultura;
- 5) Aplicação de *Azospirillum brasilense* no sulco de semeadura (na dose 300 mL ha^{-1} em calda de 100 L ha^{-1} , utilizando o inoculante comercial Azototal) utilizando 75% da adubação fosfatada recomendada para cultura;

As parcelas foram constituídas por oito linhas de milho com espaçamento de 0,50 m entre linhas e com 6 m de comprimento, considerando-se como área útil as seis linhas centrais com 5 m de comprimento, desconsiderando-se 1 m em cada extremidade, compreendendo 12 m^2 úteis.

Figura 3. Plantas de milho no início da fase reprodutiva. Selvíria – MS, 2019.



Fonte: Próprio Autor.

Com base na análise de solo e na recomendação de adubação da cultura do milho (AMBROSANO *et al.*, 1997), foi realizada a adubação de semeadura em sulco com 350 kg ha⁻¹ da fórmula 08-28-16, para o controle de fósforo (utilizando dose recomendada para cultura), fornecendo o equivalente a 28; 98 e 56 kg ha⁻¹ de N; P₂O₅ e K₂O respectivamente, nos demais tratamentos foi efetuada a redução a 75% da dose de fósforo com exceção do controle absoluto que não recebeu adubação fosfatada. Com adubação de 150 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia, 21 dias após a emergência, quando as plantas estavam no estágio V4.

As sementes de milho foram todas tratadas com o produto comercial Standak® Top (Piraclostrobina – 25 g L⁻¹, Tiofanato metílico – 225 g L⁻¹ e Fipronil – 250 g L⁻¹) e na dose de 2 mL kg⁻¹ de sementes, respectivamente. Após a aplicação dos inseticidas/fungicidas nas sementes e secagem, procedeu-se à sombra à aplicação das bactérias referentes aos tratamentos que receberam a inoculação via semente Biomaphos, conforme descrito anteriormente (Figura 4). A aplicação foi realizada em jato dirigido com pulverizador pressurizado com CO₂, acoplado a uma barra de 2,5 m contendo cinco pontas de pulverização AD-IA 02.D, aplicando-se volume de calda equivalente a 100 L ha⁻¹ na pressão 4 kg cm⁻². Esta aplicação foi realizada no período da manhã, com umidade relativa do ar de 80% e temperatura do ar de 24,8 °C.

A semeadura do cultivar de milho FS 500 PWU foi realizada mecanicamente com disco simples, semeando-se 3,6 sementes por metro, no dia 18/11/2019. A área experimental foi irrigada por aspersão, por meio de pivô central, com uma lâmina de água de aproximadamente 14 mm, quando necessário. A emergência das plântulas ocorreu 5 dias após a semeadura. Quando as plantas estavam no estágio vegetativo V2, foi realizada a adubação foliar em área

foliar com cobalto e molibdênio, na dose 150 mL ha⁻¹ do CoMo (15% de Mo e 1,5% de Co) e com volume de calda para aplicação de 300 L ha⁻¹.

Figura 4. Sementes de milho após o tratamento e inoculações.



Fonte: Próprio Autor

O controle de plantas daninhas foi efetuado com a aplicação do herbicida Glyphosate (1,56 kg ha⁻¹), em pós-emergência, no estágio V3 do milho. Também foram efetuadas duas aplicações para o controle de pragas e preventiva a doenças. Após 121 dias da emergência das plântulas (14/03/2019), quando as plantas estavam em R8 e secas foi realizada a colheita manual das espigas de milho em cada parcela.

4.5 AVALIAÇÕES E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foram realizadas as seguintes avaliações:

a) Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), expressos em g kg⁻¹ de M.S. e concentração de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) expressos em mg kg⁻¹, a coleta da folha abaixo da espiga principal, realizado no aparecimento da inflorescência feminina, segundo a metodologia descrita por Cantarella et al. (1997). Após a secagem das amostras, estas foram enviadas ao laboratório de Nutrição de Plantas da UNESP – Campus de Ilha Solteira, para determinação das

concentrações foliares dos nutrientes supracitados, conforme metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

b) Altura de planta e da inserção da primeira espiga na fase de maturação fisiológica da planta foram avaliadas em 10 plantas por parcela;

c) Matéria seca de palhada, na ocasião da colheita do milho, foram amostradas cinco plantas representativas por parcela. Após a secagem das amostras, estas foram pesadas e os resultados extrapolados em kg ha^{-1} ;

d) Massa de 100 grãos (g), na ocasião da colheita do milho, quando os grãos já estavam em maturidade fisiológica e no ponto de colheita foi determinada em balança de precisão 0,01g, a 13% (base úmida).

e) Diâmetro de colmo medidos na porção inicial da planta em 10 plantas por parcela;

f) Contagem manual de grãos por espiga em 10 espigas por parcela;

g) Produtividade de grãos, determinada pela coleta das plantas contidas nas 6 linhas úteis de cada parcela. Após a trilha mecânica, os grãos foram quantificados e os dados transformados em kg ha^{-1} a 13% (base úmida);

h) Concentração de N e P nos grãos (expresso em g kg^{-1} de M.S.), acúmulo de N e P nos grãos (kg ha^{-1}): na ocasião da colheita do milho, quando os grãos já estavam em maturidade fisiológica e no ponto de colheita, também foram coletadas amostras da palhada após a colheita para determinação da concentração de N e P foram coletadas amostras dos grãos e amostras da palhada, que foram acondicionadas em sacos de papel. Após secagem, as amostras foram enviadas ao laboratório de Nutrição de Plantas da UNESP – Campus de Ilha Solteira, para determinação do N e P nos grãos, conforme metodologia proposta por Malavolta et al. (1997). Com base nesta matéria seca de grãos extrapolada por hectare e a concentração de N e P nos grãos, calculou-se o acúmulo de N e P nos grãos (em kg ha^{-1}).

j) Índice de clorofila foliar (ICF), foi determinado indiretamente por meio de leituras na folha abaixo da espiga principal (no terço médio), com o auxílio de um clorofilômetro digital, por ocasião do florescimento.

k) Teor de P no solo após a ocasião da colheita de acordo com a metodologia proposta por Raij et al. (2001). Para isso, foram amostrados na linha de semeadura, quatro amostras por parcela na profundidade de 0-0,20 m, com uso de trado de rosca.

Os resultados foram submetidos ao teste F ($p < 0,05$) da análise de variância e a comparação entre as médias dos tratamentos foi realizada pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando-se o programa estatístico Sisvar.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito das inoculação e adubação fosfatada sobre o índice de clorofila foliar assim como o teor de N e de P na palhada (Tabela 1). O teor de P no solo apresentou alterações sendo que no tratamento com inoculação de *Azospirillum brasilense* propiciou maior teor seguido pela coinoculação de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* e que propiciou mesmos resultados estatísticos em relação a adubação com 100% da dose recomendada de fósforo. Evidenciando assim, a capacidade de acúmulo de P na palhada causado pelas bactérias mesmo com a redução do fornecimento de fósforo por meio da adubação e que por meio da solubilização de fósforo aumentou a fertilidade do solo, convertendo P insolúvel em P solúvel através da liberação de ácidos orgânicos, quelação e troca iônica como estudado por Saeid et al. (2014), sendo que esses teores poderão ser disponíveis ao solo para a próxima cultura a ser instalada no local.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para a concentração de N e P nos grãos (Tabela 1).

Tabela 1. Concentrações de N e P foliar e nos grãos de milho, ICF (índice de Clorofila foliar) e concentrações de N e P na palhada em função dos tratamentos com inoculação de BPCPs associados a aplicação de 75% da dose de fósforo recomendada, em comparação aos tratamentos controle. Selvíria - MS, safra 2019/2020.

A altura da primeira espiga, diâmetro do colmo, massa de 100 grãos e número de grãos por espiga não foram influenciados pelos tratamentos com BPCPs e os tratamentos inoculados

Tratamento	ICF	Teor de N palhada (g kg ⁻¹ de M.S.)	Teor de P palhada (g kg ⁻¹ de M.S.)	Teor de P solo (mg dm ³)	Concentração de N grãos (g kg ⁻¹ de M.S.)	Concentração de P grãos (g kg ⁻¹ de M.S.)
Testemunha	68,28a	9,33a	0,56a	19,00c	15,38a	4,38a
75% de P	68,47a	10,4a	0,85a	24,33c	15,98a	4,62a
100% de P	68,79a	8,16a	0,75a	35,33b	15,49a	4,88a
Biomaphos	70,27a	8,44a	0,66a	32,00b	15,24a	5,15a
Azototal	73,56a	8,00a	0,29a	47,00a	15,84a	4,93a
Erro Padrão	2,46	1,39	0,15	4,81	0,14	0,13
Média Geral	68,87	8,871	0,622	31,53	15,59	4,79
CV (%)	6,11	27,19	42,79	34,11	2,01	6,21

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

e com adubação fosfatada a 75% da dose de P (Tabela 2) demonstraram-se superiores em comparação aos tratamentos com 100% e apenas 75% de P, nas avaliações de altura de inserção da primeira espiga, assim como diâmetro do colmo, não apresentaram diferenças significativas. O diâmetro dos colmos apresentaram poucos centímetros, sendo que nenhum dos tratamentos passaram de 2,20 centímetros, e propiciaram a quebra dos colmos e queda de algumas plantas ao chão pela área experimental e em todos os tratamentos no estágio de senescência, podendo ser justificado pelas características fenológicas do híbrido simples utilizado no trabalho.

Todos os tratamentos adubados e sob inoculação com BPCPs proporcionaram aumento da altura de plantas em relação a testemunha não aduvada e inoculada (Tabela 2). Os tratamentos inoculados com Azototal e Biomaphos demonstraram-se iguais estatisticamente, evidenciando a capacidade das bactérias em proporcionar o crescimento vegetal mesmo com a redução de 25% da adubação fosfatada.

A maior produção de matéria seca de palhada foi obtida sob a inoculação com *A. brasilense* com redução de 25% da adubação fosfatada e no tratamento com 100% da adubação fosfatada, demonstrando a possibilidade da redução de 25% da dose de fósforo fornecida ao milho. Este resultado pode ser notado também na avaliação de produtividade de grãos, que foi possível perceber aumento de pelo menos 700 kg ha⁻¹ de grãos em relação ao controle (Tabela 2).. Corroborando com o estudado por Galindo et al. (2015), em que ao propiciar o aumento da área e volume radicular ocorre o aumento na absorção de água e nutrientes, estando atrelado ao aumento na produtividade e vinculando benefícios, reduzindo custo de produção do cereal com a adubação fosfatada e aumento na produtividade.

Tabela 2. Altura de inserção da primeira espiga, diâmetro de colmos, altura de plantas, massa de 100 grãos, número de grãos por espiga e matéria seca de palhada de milho em função dos tratamentos com inoculação de BPCPs associados a aplicação de 75% da dose de fósforo recomendada, em comparação aos tratamentos controle. Selvíria - MS, safra 2019/2020.

Tratamento	Altura de inserção de espiga (m)	Diâmetro do colmo (cm)	Altura de planta (m)	Massa de 100 grãos (g)	Número de grãos por espiga	Matéria seca de palhada (kg ha ⁻¹)	Produtividade de grão (kg ha ⁻¹)
Testemunha	1,38a	2,18a	2,48b	27,21a	669a	15.193b	8089b
75% de P	1,40a	2,21a	2,62a	26,74a	674a	15.062b	8164b
100% de P	1,44a	2,27a	2,61a	27,39a	690a	18.166a	9261a
Biomaphos	1,42a	2,28a	2,67a	27,05a	680a	15.874b	7401b
Azototal	1,40a	2,25a	2,65a	27,61a	675a	17.916a	8737a
Erro padrão	0,03	0,05	0,03	0,15	3,56	0,67	259,93
Média geral	1,41	2,24	2,61	27,20	677,60	16,44	8330
CV (%)	4,28	5,46	2,85	1,22	1,17	9,09	7,64

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

A inoculação com bactérias dos gêneros de *Azospirillum sp.* e *Bacillus sp.* favorece a absorção de nutrientes pelo maior desenvolvimento da área radicular como estudado por Montañez et al. (2012); Calvo et al. (2014); Hungria et al. (2016); e Marchiori (2018).

A concentração foliar de nitrogênio, cálcio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco não apresentaram diferenças estatísticas em relação a inoculação de bactérias e até mesmo a redução de fósforo (Tabela 3). Contudo, a concentração de fósforo foi superior na folha diagnose no tratamento com a inoculação de *Azospirillum brasilense*. Para as concentrações foliares de K e Mg evidencia-se que estas foram inferiores aos demais tratamentos, com aplicação de 100% da dose de fósforo recomendada e com a inoculação de *Azospirillum brasilense*.

Tabela 3. Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) na folha diagnose do milho em função dos tratamentos com BPCPs associados a aplicação de 75% da dose de fósforo recomendada, em comparação dos tratamentos controle. Selvíria – MS, safra 2019/2020.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Tratamento	----- g kg ⁻¹ M.S. -----					----- mg kg ⁻¹ M.S. -----					
Testemunha	27,00a	2,50b	18,47a	2,37a	1,60a	1,17a	6,67a	19,67a	88,67a	60,00a	12,67a
75% de P	26,90a	2,53b	19,43a	2,30a	1,60a	1,47a	6,67a	11,00a	86,67a	57,00a	12,33a
100% de P	25,83a	2,60b	15,23b	2,03a	1,23b	1,40a	3,00a	10,00a	80,33a	47,67a	11,33a
Azototal	25,73a	3,03 a	14,10b	1,97a	1,13b	1,40a	4,67a	12,67a	90,00a	53,00a	13,67a
Biomaphos	25,93a	2,33b	17,60a	2,03a	1,76a	1,43a	9,67a	28,00a	86,00a	52,33a	11,00a
Erro padrão	0,68	0,12	1,02	0,16	0,15	0,10	1,11	9,67	3,49	3,08	0,83
Média geral	26,28	2,60	16,97	2,14	1,47	1,37	6,13	16,27	86,33	54,00	12,20
CV (%)	4,48	8,25	10,41	13,27	17,78	12,61	31,22	102,97	7,01	9,89	11,78

6 CONCLUSÃO

A inoculação com *Azospirillum brasilense* promoveu maior teor de P no solo e na folha diagnose do milho. A inoculação desta bactéria promotora de crescimento também proporcionou as maiores produtividade de massa seca de palhada e de grãos de milho, mesmo com a redução de 25% do fornecimento de P_2O_5 . Portanto, recomenda-se nas condições edafoclimáticas desta pesquisa, a inoculação com *Azospirillum brasilense* associado a redução de 25% da dose de fósforo recomendada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABISOLO, Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal. **Anuário Brasileiro de Tecnologia em Nutrição Vegetal**. p.167, 2019. Disponível em: <<https://abisolo.com.br/anuario/>>. Acesso em: 28 de maio de 2020.

AMBROSANO, E.J.; TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; RAIJ, B. VAN; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1997. p.189-203. (Boletim Técnico, 100).

ANGHINONI, I. a; BARBER, S. A. Phosphorus influx and growth characteristics of corn roots as influenced by phosphorus supply. **Agronomy Journal**, v. 72, n. 4, p. 685-688, 1980.

ASSAD, E. D. et al. **Zoneamento agrícola de riscos climáticos do Brasil: base teórica, pesquisa e desenvolvimento**. 2008.

BALDO, M. N. **Comportamento anatômico, fisiológico e agrônomo do milho (*Zea mays* L.) submetido a estresses de ambiente em diferentes estádios fenológicos**. 2007. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Escola Superior de Agricultura "Luís de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. Handbook of plant nutrition, 2ª ed. CRC Press; 2015. BASHAN, Y.; HOLGUIN, G; DE-BASHAN, L. E. *Azospirillum*-plant relations physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, v. 50, n. 8, p. 521-577, 2004.

BUENO, A. C. S. O.; CASTRO, G. L. S.; SILVA JUNIOR, D. D.; PINHEIRO, H. A.; FILIPPI, M. C. C.; SILVA, G. B. Response of photosynthesis and chlorophyll a fluorescence in leaf scald-infected rice under influence of rhizobacteria and silicon fertilizer. **Plant Pathology**, v.66, n.9, p.1487-1495, 2017

CALVO, P.; NELSON, L.; KLOEPPER, J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. **Plant and Soil**, v. 383, n. 1/2, p. 3-41, 2014

CEPEA - CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **Agromensal: Milho**. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/revista/pdf/0535342001622839275.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2021.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2020/2021**. 9º. Levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 11 jun. 2021a.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Análises do mercado**. Conjuntura semanal 17 a 21.05.21. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info->

agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-deconjunturas-de-milho. Acesso em: 01 jun. 2021c.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim de Monitoramento Agrícola**, Brasília, DF, v. 11, n. 02, Fev. 2022.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Preços médios mensais**. Disponível em: <http://sisdep.conab.gov.br/precosiagroweb/>. Acesso em: 01 jun. 2021d.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-dassafras?start=20>. Acesso em: 11 jun. 2021b.

CORRÊA, E. B.; BETTIOL, W.; SUTTON, J. C. Controle biológico da podridão radicular (*Pythium aphanidermatum*) e promoção de crescimento por *Pseudomonas chlororaphis* 63-28 e *Bacillus subtilis* GB03 em alface hidropônica. **Summa Phytopathologica**, v.36, p.275-281, 2010.

CORRÊA, E.B.; BETTIOL, W. **Controle biológico da podridão de raízes causada por *Pythium* spp. em cultivos hidropônicos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. 26 p.

CORREA, O.S.; ROMERO, A.M.; SORIA, M.A.; DE ESTRADA, M. *Azospirillum* brasilense-plant genotype interactions modify tomato response to bacterial diseases, and root and foliar microbial communities. In: CASSÁN, F.D.; GARCIA DE SALAMONE, I. (Ed.) *Azospirillum* ssp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Argentina: Asociación Argentina de Microbiología, p. 87-95, 2008.

DE SOUZA NUNES, R., DE SOUSA, D. M. G., GOEDERT, W. J., VIVALDI, L. J. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 877-888, 2011.

DHILLON, J.; TORRES, G.; DRIVER, E.; FIGUEIREDO, B.; AND RAUN, W. R. World phosphorus use efficiency in cereal crops. **Agronomy Journal**, v.109, p.1670–1677, 2017.

EBERHARDT, D. N., VENDRAME, P. R. S., BECQUER, T., GUIMARÃES, M. D. F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em latossolos sob pastagens no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1009-1016, 2008.

EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Árvore do Conhecimento Milho: importância socioeconômica**. Brasília DF, 2005. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_8_168200511157.html. Acesso em: 20 maio 2022.

GALINDO, F. S. et al. Épocas de inoculação com *Azospirillum* brasilense via foliar afetando a produtividade da cultura do trigo irrigado. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 9, n. 2, p. 43-48, 2015.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 2003. 247 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GLICK, B. R. Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. **Scientifica**, v. 2012, p. 963401, 2012.

HAYDON, M. J.; MIELCZAREK O.; ROBERTSON F.C.; HUBBARD K.E.; WEBB A.A. Nutrient homeostasis within the plant circadian network. **Frontiers in Plant Science**, v.6, n.299, p.1-6, 2015.

HELENE, C. P. I. **Bactérias promotoras de crescimento de plantas em solos esterelizados com ôзонio na cultura do milho**. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2021. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/216058>>

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: EMBRAPA SOJA, 2011. 37p. (EMBRAPA SOJA. Documentos, 325).

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: an environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 221, p. 125-131, 2016.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAÚJO, R. S. Tecnologia de coinoculação da soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*: incrementos no rendimento com sustentabilidade e baixo custo. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 33., 2013, Londrina. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2013. p.151-153.

LINO, A. C. M.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GALINDO, F. S.; MAESTRELO, P. R.; RODRIGUES, M. A. C. Effect of phosphorus applied as monoammonium phosphate-coated polymers in corn culture under no-tillage system. **Semina Ciências Agrárias**, v.39, p.99–112, 2018.

LOGANATHAN, P.; FERNANDO, W. T. Phosphorus sorption by some coconutgrowingacid soils of Sri Lanka and its relationship to selected soil properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 31, n. 7, p. 709-717, 1980.

LUZ, G. L.; MEDEIROS, S. L. P.; MANFRON, P. A.; AMARAL, A. D.; MÜLLER, L.; TORRES, M. G.; MENTGES, L. A questão do nitrato em alface hidropônica e a saúde humana. **Ciência Rural**, v.38, p.2388- 2394, 2008.

MONTAÑEZ, A.; BLANCO, A. R.; BARLOCCO, C.; BERACOCHEA, M.; SICARDI, M. Characterization of cultivable putative endophytic plant growth promoting bacteria associated with maize cultivars (*Zea mays* L.) and their inoculation effects in vitro. **Applied Soil Ecology**, v. 58, p. 21-28, 2012

NOGUEIRA, V. S. **Desempenho produtivo de híbridos de milho submetidos à aplicação foliar de magnésio**. 2021. 23 f. tcc (doutorado) - Curso de Agronomia, Instituto Federal Goiano, Ceres Go, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/2290>. Acesso em: 07 maio 2022.

NOVAIS, R. D., RODRIGUES, L. A., NEVES, H. E. P., NOVAIS, J. C. L., MENDONÇA, S. M., MUNIZ, A. N., NOVELINO, J. O. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG (Brasil). Departamento de Solos, p.300. 1999.

MALUSÀ, E.; PINZARI, F.; CANFORA, L. Efficacy of biofertilizers: challenges to improve crop production. In: SINGH, D. P.; SINGH, H. B.; PRABHA, R. **Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity**. New York: Springer, 2016. v.2, p.17-40.

PEREIRA, N. C. M. **Doses de fósforo associadas à inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas na produtividade do milho**. 2018. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônoma, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2018

OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. Root-associated *Azospirillum* species can stimulate plants. **Applied and Environment Microbiology**, v. 6, n. 7, p. 366-370, 1997.

PATERNIANI, E. et al. O valor dos recursos genéticos de milho para o Brasil: uma abordagem histórica da utilização do germoplasma. In: UDRY, C.W.; DUARTE, W. (Org.). **Uma história brasileira do milho: o valor dos recursos genéticos**. Brasília: Paralelo 15, 2000. p.11-41.

PENN, C. J.; CAMBERATO, J. A critical review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants. **Agriculture**. v.9, art.120, 2019.

PEREIRA, N. C. M.; GALINDO, F. S.; GAZOLA, R. P. D.; DUPAS, E.; ROSA, P. A. L.; MORTINHO, E. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Corn yield and phosphorus use efficiency response to phosphorus rates associated with plant growth promoting bacteria. **Frontiers in Environmental Science**, v. 8, p. 1-12, 2020.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285 p.

REIS JUNIOR, F. B.; MACHADO, C. T. T.; MACHADO, A. T.; SODEK, L. Inoculação de *Azospirillum amazonense* em dois genótipos de milho sob diferentes regimes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1139-1146, 2008.

TIEN, T. M.; GASKINS, M. H.; HUBBELL, D. H. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.37, n.5, p.1016-1024, 1979.

TIRLONE C, VITORINO A.C.T., NOVELINO J.O., TIRLONE D, COIMBRA D.S. Disponibilidade de Fósforo em Função das Adições de Calagem e de Um Bioativador no Solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.1, p.977-984, 2009.

SAEID, A.; LABUDA, M.; CHOJNACKA, K.; GÓRECKI, H. Valorization of bones to liquid phosphorus fertilizer by microbial solubilization. **Waste Biomass Valoriz.**, v.5, p.265–272, 2014.

SCHULZE, D. G. An introduction to soil mineralogy. In: Dixon, J. B.; WEED, S. B.; (Eds) **Minerals in soil environment**. SSSA, Madison, 1989, p. 1-34.

SIGNORE, A.; SERIO, F.; SANTAMARIA, P. A. A Targeted management of the nutrient solution in a soilless tomato crop according to plant needs. **Frontiers Plant Science**, v.7, n.391, p.1-15, 2016.

SIVASAKTHI, S.; USHARANI, G.; SARANRAJ, P. Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR) - *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review. **African Journal of Agricultural Research**, v.16, n.9, p.1265-1277, 2014.

SWAIN, M.R.; LAXMINARAYANA, K.; RAY, R. C. Phosphorus solubilization by thermotolerant *Bacillus subtilis* isolated from cow dung microflora. **Agricultural Research**. v.1, n.3, p.273–279, 2012.