



## Uso de rocha carbonática e microrganismos como suprimento alternativo de fósforo

Mayco Mascarello RICHARDI<sup>1\*</sup>, Oscarlina Lúcia dos Santos WEBER<sup>1</sup>,  
Heiriane Martins SOUSA<sup>1</sup>, Daniela Tiago da Silva CAMPOS<sup>1</sup>, Jhonathann FURQUIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil

\*E-mail: [mayco.richardi@gmail.com](mailto:mayco.richardi@gmail.com)

Submissão: 24/05/2022; Aceito em 28/02/2023; Publicado em 17/03/2023.

**RESUMO:** As reações de fixação de fósforo (P) em solos tropicais está entre as principais limitações para a agricultura, exigindo quantidades para adubações acima do requerido pelas culturas. Como as fontes de P são esgotáveis e esse é um elemento essencial, a busca de estratégias sustentáveis para seu suprimento torna-se imprescindível. Desse modo, avaliamos a aplicação de pó de rocha de carbonatito (PR) combinado com superfosfato simples (SS) associados à inoculação com microrganismos, no desenvolvimento inicial da cultura do milho. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, sob esquema fatorial 6 x 4, sendo: Seis formas de adubação fosfatada (0% de P; 100% de SS e PR; três combinações proporcionais de SS+PR), e quatro inoculações (*Ceratobasidium* sp.; *Tulasnella* sp.; Mix de *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis*; sem inoculante). As combinações 75% de SS + 25% de PR e 50% SS + 50 % PR proporcionaram incrementos de até 87% de biomassa aérea seca comparando-as ao controle, e 49% com a utilização de somente SS. A utilização de PR pode ser uma alternativa para redução de fontes solúveis de P na adubação inicial da cultura do milho. Todos os inoculantes quando aplicados sem adubação fosfatada, foram eficientes para manter o desenvolvimento inicial do milho em um solo de plantio direto.

**Palavras-chave:** remineralizador; bioestimulantes; solubilizador; *Zea mays*.

## Use of carbonate rock and microorganisms as alternative phosphorus supply

**ABSTRACT:** Phosphorus (P) fixation reactions in tropical soils are among the main limitations for agriculture, requiring amounts of fertilizers above those required by crops. As P sources are exhaustible and this is an essential element, the search for sustainable strategies for its supply becomes essential. Thus, we evaluated the application of carbonatite rock powder (PR) combined with single superphosphate (SS) associated with inoculation with microorganisms, in the initial development of the corn crop. The experiment was carried out in a greenhouse, under a 6 x 4 factorial scheme, as follows: Six forms of phosphate fertilization (0% P; 100% SS and PR; three proportional combinations of SS+PR), and four inoculations (*Ceratobasidium* sp.; *Tulasnella* sp.; Mix of *Bacillus megaterium* + *Bacillus subtilis*; no inoculant). The combinations of 75% SS + 25% PR and 50% SS + 50% PR provided increments of up to 87% of dry aerial biomass compared to the control, and 49% with the use of SS alone. The use of PR can be an alternative to reduce soluble sources of P in the initial fertilization of the corn crop. All inoculants, when applied without phosphate fertilization, were efficient to maintain the initial development of corn in a no-tillage soil.

**Keywords:** remineralizer; biostimulants; solubilizer; *Zea mays*.

### 1. INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um nutriente fundamental para o crescimento e altas produtividades das culturas agrícolas. Contudo, fatores como a acidez do solo e elevados teores de óxidos de ferro e alumínio contribuem para fixação do fósforo no solo (SOUZA; LOBATO, 2004; VINHA et al., 2021), de modo que altas doses de adubos fosfatados são exigidas, para suprir à necessidade da cultura.

Diante do cenário atual da crise dos fertilizantes, sendo a maioria dos fertilizantes fosfatados importados, tem levado os órgãos oficiais do governo nacional a buscar outras fontes alternativas, impactando diretamente a segurança alimentar e a sustentabilidade da agricultura brasileira.

O uso de remineralizadores de solo, oriundos de rochas nacionais/regionais, vem sendo estudado como alternativa para atenuar essa dependência na importação de insumos.

Também conhecidos como pó de rocha ou rochagem, são utilizados como fontes de macro e micronutrientes para as culturas e/ou condicionadores de solo.

A combinação de pó de rochas com fontes solúveis de fertilizantes, pode ser uma alternativa que aumenta a eficiência de ambos os insumos. Estudos relatam a maior eficiência no uso do P, quando são combinados os fertilizantes solúveis (superfosfato simples, superfosfato triplo) com fontes naturais não solúveis em água (OLIVEIRA JÚNIOR; PROCHNOW; KLEPKER, 2011; SOMA et al., 2018)

Há também estudos que buscam alternativas para aumentar a solubilidade e/ou biodisponibilidade de nutrientes contidos nas rochas moídas, por exemplo, associações micorrízicas e os mecanismos de solubilização de P mediados por microrganismos (ZHAO et al., 2014), que,

além de serem utilizados no biocontrole de pragas, podem atuar como biofertilizantes (SATYAPRAKASH et al., 2017), o que minimiza a utilização de fertilizantes químicos, e proporciona para o setor agrícola, melhoria de produtividade, minimização de gastos e ainda, menores impactos ao meio ambiente (DE SOUSA et al., 2020; SATYAPRAKASH et al., 2017).

Dessa forma, objetivou-se com este trabalho, avaliar a aplicação de pó de rocha de carbonatito combinado com superfosfato simples associados à inoculação com microrganismos no desenvolvimento inicial da cultura do milho.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Faculdade de Agronomia e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus de Cuiabá - MT. Coletou-se amostra de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico na camada de 0 – 0,20 m em uma área agrícola na Fazenda Nascente (16°03'56,5" S, 55°05'35,7" W), pertencente ao município de Jaciara, Mato Grosso - Brasil.

A área da amostra coletada tem o histórico de estar sendo cultivada há 10 anos sob sistema de plantio direto, sendo que nas safras 2018/2019 e 2019/2020, a produção foi com soja e/ou milho, seguida com plantio de um mix de cobertura (*Crotalaria spectabilis* + *Urochloa brizantha* + *Sorghum bicolor*). O solo da área é de textura média, com 72,3% areia, 5,6% silte e 22,1% argila, e suas características químicas estão na Tabela 1.

O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados com quatro repetições, sob esquema fatorial 6 x 4, sendo respectivamente, seis formas de adubação fosfatada e quatro tipos de inoculações com microrganismos. Cada parcela consistiu em um vaso com 3.620 cm<sup>3</sup> preenchidos com 3,5 kg de solo, totalizando 96 unidades experimentais.

Para o fator 1 (fontes de P), as quantidades foram determinadas de acordo com o teor total de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em cada fonte e calculados para atender à recomendação de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para a cultura do milho (SOUZA; LOBATO, 2004), sendo: Controle (ausência de P - CTRL), 100% de SS (450 kg ha<sup>-1</sup>) e PR (6.400 kg ha<sup>-1</sup>), além das combinações 75% SS + 25% PR, 50% SS + 50% PR e 25% SS + 75% PR. Essas combinações foram planejadas para identificar a possibilidade de substituição parcial ou total da adubação fosfatada convencional com SS por PR.

A fonte solúvel de P (SS) possui 18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> conforme descrição do fabricante. O remineralizador oriundo de pó de rocha classificado como carbonatito, foi coletado no Município de Nova Brasilândia-MT, permissionário: Moisés Sachetti, com Amostra Sondagem Requerimento pesquisa,

ANM nº: 866 330/2011, e caracterizado conforme os métodos descritos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2017), com as seguintes percentagens totais: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 1,2 %; Ca = 10,7 %; Mg = 7,7 %; S = 1,9 %; Zn = 0,006 %; Cu = 0,002 %; Fe = 3,20 %; Mn = 0,11 % e B = 0,02 %, além da granulometria variando de 38 µm a 0,5 mm.

No fator 2 (inoculantes) testou-se além do Controle (ausência de microrganismos - CTRL), dois fungos micorrízicos arbusculares (FMA), gêneros *Ceratobasidium* sp. (CER) e *Tulasnella* sp. (TUL) e um mix de *Bacillus* contendo *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* (MIXBAC) que fazem parte da composição de um produto comercial. Os FMA foram registrados sob número do SisGen (A028072) para fins desta pesquisa.

Os isolados de *Ceratobasidium* sp. e *Tulasnella* sp. foram multiplicados em erlenmeyers de 150 mL contendo meio de cultura de batata e dextrose com três repetições, mantidos sob incubação e agitação constante à temperatura de 28°C por sete dias. Posteriormente foram triturados em liquidificador para homogeneização e quebra da massa fúngica, seguidos da determinação da concentração do inóculo.

As concentrações dos inóculos dos FMA foram determinadas através de diluição seriada, seguida por plaqueamento em meio de cultura BDA (VERMELHO et al., 2006) e incubadas em estufa de crescimento a 28°C. Após três dias o TUL apresentou concentração de 5x10<sup>10</sup> mL<sup>-1</sup> UFCs, e aos sete dias o CER apresentou a concentração de 3x10<sup>5</sup> mL<sup>-1</sup> UFCs. O inóculo do MIXBAC continha 4x10<sup>9</sup> mL<sup>-1</sup> UFCs, conforme descrição do fabricante.

O PR foi aplicado em sulco na profundidade de cinco centímetros, posteriormente os vasos foram irrigados e incubados por sete dias em temperatura ambiente. Após incubação, o SS foi adicionado aos respectivos tratamentos, aplicados em sulco, na profundidade de 5 cm, no mesmo dia do plantio. A inoculação foi realizada uma hora antes do plantio, utilizando 100 mL ha<sup>-1</sup> da suspensão dos inóculos. Após, quatro sementes de milho híbrido L444Plus2 tecnologia VT PRO 2 foram semeadas por vaso, na profundidade de 3 cm e paralelamente à linha de sulco que foi aplicado a adubação fosfatada.

Aos 03, 06 e 09 dias após emergência (DAE) do milho foi realizado o desbaste, mantendo uma planta por vaso. Aos 15 DAE, realizou-se a co-inoculação dos tratamentos com aplicação de 75 mL ha<sup>-1</sup> da suspensão do inóculo.

As adubações nitrogenada e potássica ocorreram após o plantio, na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O aos 15 DAE e 200 kg ha<sup>-1</sup> de ureia aplicada parceladamente em 03 momentos (20, 40 e 40%, aos 03, 15 e 21 DAE, respectivamente).

Tabela 1. Características químicas de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico de textura média na profundidade de 0 a 0,20 m. Table 1. Chemical characteristics of a medium texture dystrophic Red Yellow Latosol at 0 to 0.20 m depth.

pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H	Zn	Cu	Fe	Mn	B	S	V
CaCl <sub>2</sub>	g/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>		----- cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----				----- mg/dm <sup>3</sup> -----						%
5,3	23,4	31,9	41,4	2,4	0,93	0,0	3,0	2,8	1,8	94	13,9	0,48	11,1	53,42

P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; Al: alumínio; H: hidrogênio; Zn: zinco; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; B: boro; S: enxofre. V%: saturação por bases e M.O.: matéria orgânica.

P: phosphorus; K: potassium; Ca: calcium; Mg: magnesium; Al: aluminum; H: hydrogen; Zn: zinc; Cu: copper; Fe: iron; Mn: manganese; B: boron; S: sulfur. V%: base saturation and M.O.: organic matter.

Os vasos foram irrigados semanalmente nos primeiros 15 dias após semeadura e, após esse período, a irrigação foi

realizada a cada dois dias, mantendo-os próximo a 80% da capacidade de campo. O conteúdo volumétrico de água foi

determinado diretamente em cada vaso utilizando um sensor GS3 (Decágon Devices, Inc., Pullman, WA, EUA), sendo calculado o volume de água necessário para repor 80% da capacidade de campo.

A altura do milho foi mensurada aos 35 DAE, com o auxílio de uma fita métrica, do colo até a inserção da última folha completamente desenvolvida. Em seguida realizou-se a separação da parte aérea e raiz. As raízes foram retiradas cuidadosamente do solo, lavadas em água corrente e secas em estufa de ventilação forçada por 72 h a 60 °C, para determinações da biomassa seca da parte aérea, biomassa seca radicular (MORAIS et al., 2015), e biomassa seca total.

Ao final do experimento, parte do solo foi coletado, peneirado (peneira < 2 mm) e seco, para obtenção de terra fina seca ao ar com posterior análise química (pH, P total e disponível). O pH do solo foi determinado em CaCl<sub>2</sub> (TEIXEIRA et al., 2017), o P disponível foi extraído pelo método da resina (RAIJ et al., 2001) e o P total determinado por Espectroscopia de Raio X por Dispersão em Energia – EDX (JENKINS, 1999). O solo fresco coletado foi avaliado quanto à atividade microbiológica, por meio da atividade enzimática fosfatase ácida (TABATABAI, 1994), e parte das raízes finas (< 1 cm) e frescas do milho foram seccionadas para avaliação da colonização radicular por fungos micorrízicos (BRUNDRETT, 1996).

Os dados inicialmente foram testados quanto à normalidade das variáveis pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk e homogeneidade das variâncias, quando necessário, foram transformados para posterior análise de variância. Quando F foi significativo, seguiu-se com teste de Tukey (p < 5%) e desdobramentos das interações entre os fatores fontes de P (fator 1) e microrganismos (fator 2), através do pacote EXpDes.pt (FERREIRA et al., 2014) no software R, versão 3.6.3 (R CORE TEAM, 2021).

### 3. RESULTADOS

Ao final do experimento, as plantas encontravam-se com altura que variou de 55 a 57 cm, não apresentando diferença estatística para as fontes de P e inoculações ou mesmo a interação desses fatores.

A massa radicular seca foi influenciada apenas pelas fontes de P. O tratamento com SS50PR50 proporcionou maior biomassa radicular seca (22,1 g), incremento de 24% quando comparada com o controle e, em 11% quando comparada com a adubação convencional (SS) (Figura 1). Os inoculantes variaram de 19,46 g com o MIXBAC à 20,10 g com o CER.

A massa seca da parte aérea e a massa total do milho na combinação de 75% de SS + 25% de PR, sem inoculante, teve maior acúmulo (49,14 e 68,52 g, respectivamente) quando comparando com o CTRL (26,22 g). O efeito positivo dos inoculantes nas massas ocorrem, especialmente na ausência de fontes de fósforo, o MIXBAC proporcionou valores médios de 33,52 g de massa seca da parte aérea, e 51,9 g de massa seca total, superiores aos demais tratamentos.

O teor de P disponível e o pH do solo foram influenciados significativamente apenas pelas fontes de P. O tratamento SS se tratando de uma fonte solúvel, apresentou maior disponibilidade P (60,19 mg/dm<sup>3</sup>) quando comparado ao controle (47,19 mg/dm<sup>3</sup>), significando um incremento de 28% de P disponível (Fig. 2A). O tratamento SS50PR50 promoveu maior elevação do pH quando comparado com o controle, 6,44 e 6,33, respectivamente (Fig. 2B). Para os inoculantes o teor de P disponível variou de 54,42 mg/dm<sup>3</sup> no tratamento CTRL para 55,92 mg/dm<sup>3</sup> no CER, e o pH de 3,37 no controle CTRL para 6,42 no MIXBAC.

Os fatores inoculantes e fontes de P interagiram e afetaram significativamente o teor de fósforo total. A percentagem de P total no solo variou de 0,33 a 0,40 nos tratamentos somente com TUL, e o MIXBAC + SS, respectivamente (Tabela 3).

Em quase todos os tratamentos ocorreu associação micorrízica em 100% das raízes, exceto no CTRL, sem inoculação, ocorrendo micorrização em 82,5%.

A atividade da enzima fosfatase ácida não foi significativa na interação entre os fatores estudados, nem apresentou efeito isolado, porém, em todos os tratamentos, houve alta atividade biológica no solo (3.229,39 a 4.936,22 µg de p-nitrofenol g solo<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) (Fig. 3).

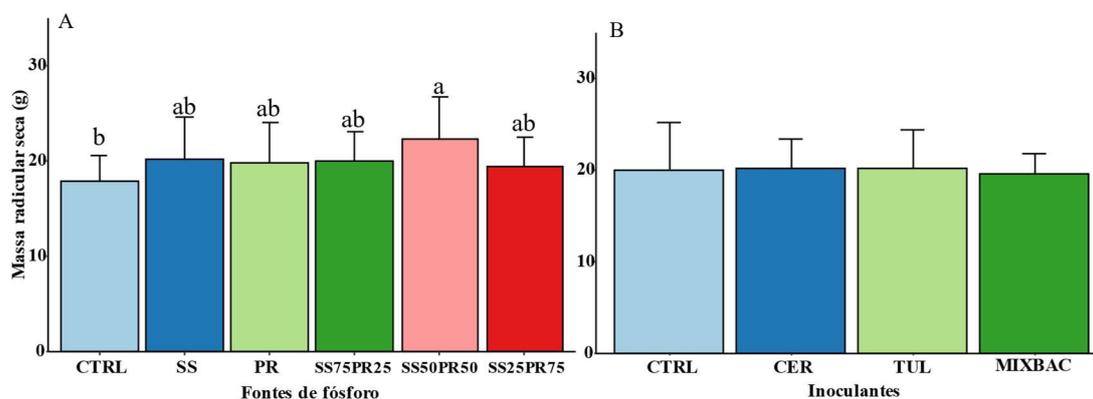


Figura 1. Massa radicular seca do milho sob diferentes fontes de P (A) e Inoculantes (B). CTRL (controle – 0% de P); SS (superfosfato simples 100%); PR (pó de rocha de carbonatito 100%); SS75PR25 (superfosfato simples 75% + pó de rocha 25%); SS50PR50 (superfosfato simples 50% + pó de rocha de carbonatito 50%); SS25PR75 (superfosfato simples 25% + pó de rocha de carbonatito 75%).

Figure 1. Dry root mass of corn under different sources of P (A) and Inoculants (B). CTRL (control – 0% P); SS (100% single superphosphate); PR (100% carbonatite rock powder); SS75PR25 (single superphosphate 75% + rock dust 25%); SS50PR50 (50% single superphosphate + 50% carbonatite rock powder); SS25PR75 (25% single superphosphate + 75% carbonatite rock powder).

Tabela 2. Massas secas da parte aérea e total do milho sob diferentes fontes de P e microrganismos.  
Table 2. Corn shoot and total dry mass under different sources of P and microorganisms.

Fontes de P	Inoculantes			
	CTRL	CER	TUL	MIXBAC
Massa seca da parte aérea (g)				
CTRL	26,22 c B	31,24 a AB	29,57 a AB	33,52 a A
SS	33,03 b A	31,96 a A	30,52 a A	30,96 a A
PR	28,22 bc A	30,30 a A	28,54 a A	28,12 a A
SS75PR25	49,14 a A	32,87 a B	30,20 a B	29,59 a B
SS50PR50	31,34 bc A	27,30 a A	30,10 a A	29,71 a A
SS25PR75	26,46 bc A	31,06 a A	27,15 a A	30,65 a A
CV (%)	14,79			
Massa seca total (g)				
CTRL	42,67 c A	49,99 a A	47,75 a A	51,91 a A
SS	52,76 abc A	51,99 a A	52,94 a A	49,13 a A
PR	49,43 bc A	48,88 a A	47,04 a A	48,75 a A
SS75PR25	68,52 a A	51,63 a B	51,95 a B	49,77 a B
SS50PR50	56,53 abc A	51,17 a A	50,12 a A	49,44 a A
SS25PR75	44,41 bc A	51,70 a A	46,54 a A	50,33 a A
CV (%)	12,65			

Médias seguidas de mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). CV: coeficiente de variação; CTRL (controle - 0% de P); SS (superfosfato simples 100%); PR (pó de rocha de carbonatito 100%); SS75PR25 (superfosfato simples 75% + pó de rocha 25%); SS50PR50 (superfosfato simples 50% + pó de rocha de carbonatito 50%); SS25PR75 (superfosfato simples 25% + pó de rocha de carbonatito 75%); CER (*Ceratobasidium* sp.); TUL (*Tulasnella* sp.); MIXBAC (*Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium*).

Means followed by the same lowercase letter within the column and uppercase letter within the row did not differ from each other by Tukey's test ( $p < 0,05$ ). CV: coefficient of variation; CTRL (control - 0% P); SS (100% single superphosphate); PR (100% carbonatite rock powder); SS75PR25 (75% single superphosphate + 25% rock powder); SS50PR50 (50% single superphosphate + 50% carbonatite rock powder); SS25PR75 (25% single superphosphate + 75% carbonatite rock powder); CER (*Ceratobasidium* sp.); TUL (*Tulasnella* sp.); MIXBAC (*Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium*).

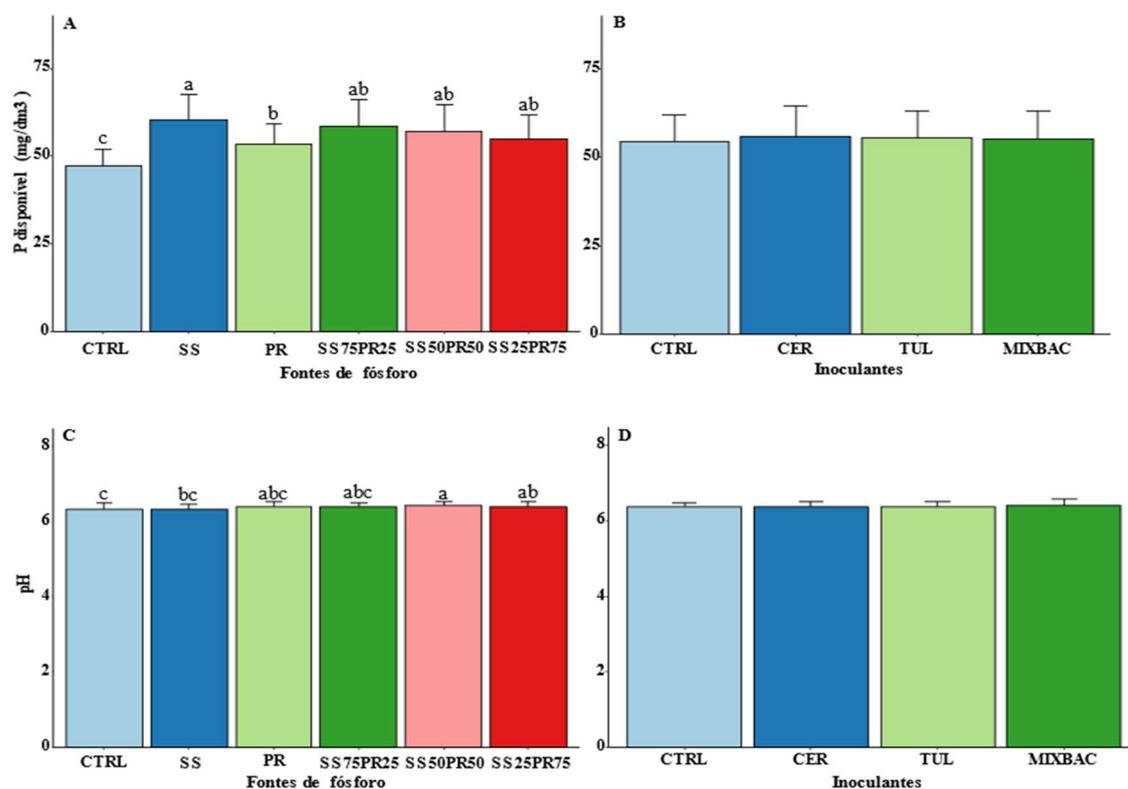


Figura 2. Fósforo disponível sob diferentes fontes de P (A) e Inoculantes (B) e pH sob diferentes fontes de P (C) e Inoculantes (D) de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico de textura média sob diferentes fontes de fósforo. CTRL (controle - 0% de P); SS (superfosfato simples 100%); PR (pó de rocha de carbonatito 100%); SS75PR25 (superfosfato simples 75% + pó de rocha 25%); SS50PR50 (superfosfato simples 50% + pó de rocha de carbonatito 50%); SS25PR75 (superfosfato simples 25% + pó de rocha de carbonatito 75%).

Figure 2. Phosphorus available under different sources of P (A) and Inoculants (B) and pH under different sources of P (C) and Inoculants (D) of a medium texture dystrophic Red Yellow Latosol under different phosphorus sources. CTRL (control - 0% of P); SS (100% single superphosphate); PR (100% carbonatite rock powder); SS75PR25 (single superphosphate 75% + rock dust 25%); SS50PR50 (50% single superphosphate + 50% carbonatite rock powder); SS25PR75 (25% single superphosphate + 75% carbonatite rock powder).

Tabela 3. Fósforo total (%) de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico de textura média sob diferentes fontes de fósforo e microrganismos.

Table 3. Total phosphorus (%) of a medium texture dystrophic Red Yellow Latosol under different sources of phosphorus and microorganisms.

Fontes de P	Inoculantes			
	CTRL	CER	TUL	MIXBAC
	P total (%)			
CTRL	0,35 bA	0,35 aA	0,33 aA	0,35 bA
SS	0,39 aA	0,36 aAB	0,35 aB	0,40 aA
PR	0,37 abA	0,35 aA	0,36 aA	0,35 bA
SS75PR25	0,36 abA	0,35 aA	0,35 aA	0,37 abA
SS50PR50	0,37 abA	0,38 aA	0,35 aA	0,36 abA
SS25PR75	0,34 bA	0,34 aA	0,37 aA	0,35 bA
CV (%)	5,81			

Médias seguidas de mesma letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). CV: coeficiente de variação; CTRL (controle - 0% de P); SS (superfosfato simples 100%); PR (pó de rocha de carbonatito 100%); SS75PR25 (superfosfato simples 75% + pó de rocha 25%); SS50PR50 (superfosfato simples 50% + pó de rocha de carbonatito 50%); SS25PR75 (superfosfato simples 25% + pó de rocha de carbonatito 75%); CER (*Ceratobasidium* sp.); TUL (*Tulasnella* sp.); MIXBAC (*Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium*).

Means followed by the same lowercase letter within the column and uppercase letter within the row did not differ from each other by Tukey's test ( $p < 0,05$ ). CV: coefficient of variation; CTRL (control - 0% P); SS (100% single superphosphate); PR (100% carbonatite rock powder); SS75PR25 (75% single superphosphate + 25% rock powder); SS50PR50 (50% single superphosphate + 50% carbonatite rock powder); SS25PR75 (25% single superphosphate + 75% carbonatite rock powder); CER (*Ceratobasidium* sp.); TUL (*Tulasnella* sp.); MIXBAC (*Bacillus subtilis* + *Bacillus megaterium*).

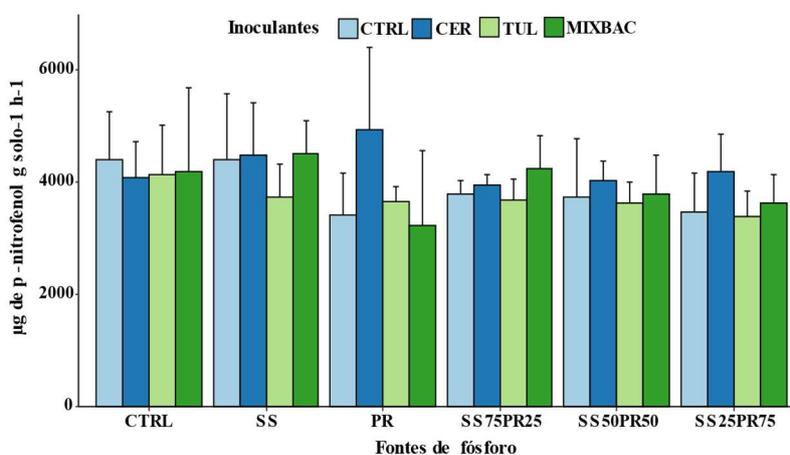


Figura 3. Fosfatase ácida de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico de textura média sob diferentes fontes de fósforo e microrganismos. CTRL (controle - 0% de P); SS (superfosfato simples 100%); PR (pó de rocha de carbonatito 100%); SS75PR25 (superfosfato simples 75% + pó de rocha 25%); SS50PR50 (superfosfato simples 50% + pó de rocha de carbonatito 50%); SS25PR75 (superfosfato simples 25% + pó de rocha de carbonatito 75%).

Figure 3. Acid phosphatase from a medium texture dystrophic Red Yellow Latosol under different sources of phosphorus and microorganisms. CTRL (control - 0% of P); SS (100% single superphosphate); PR (100% carbonatite rock powder); SS75PR25 (single superphosphate 75% + rock dust 25%); SS50PR50 (50% single superphosphate + 50% carbonatite rock powder); SS25PR75 (25% single superphosphate + 75% carbonatite rock powder).

#### 4. DISCUSSÃO

O maior crescimento inicial do sistema radicular das plantas nos tratamentos combinados, em especial o SS50PR50, pode ser explicado pela alteração da dinâmica do P quando aplicado em diferentes fontes, pois segundo Oliveira Júnior et al. (2011) a dinâmica de P solúvel e P insolúvel é alterada na solução do solo com a aplicação de diferentes fontes, a presença de P solúvel em água pode aumentar o aproveitamento de P da fração não solúvel. Primeiramente, a dissolução de fosfato monocálcico, que compõe a fração solúvel da mistura, promove a dissolução da fração não-solúvel por meio da formação de  $H_3PO_4$ ; e segundo, há um estímulo ao crescimento inicial do sistema radicular das plantas na presença do P solúvel em água, possibilitando maior contato para absorção.

Também pode-se atribuir o maior crescimento inicial do sistema radicular das plantas nos tratamentos combinados à maior exploração da raiz no solo, com maior área de contato para absorção de água e nutrientes, seja por interceptação

radicular, fluxo de massa e/ou difusão (RICHARDSON, 2001), e que conseqüentemente refletiu no aumento das massas da parte aérea e total.

Ao reduzir 25% de superfosfato simples na combinação (SS75PR25), observou-se maiores incrementos de massa seca da parte aérea (87, 74 e 48%) e da massa seca total (61, 38 e 30%) quando comparadas ao controle, adubação alternativa (PR) e adubação convencional (SS), respectivamente, não diferindo estatisticamente apenas entre a combinação SS75PR25 e SS na variável Massa Seca Total. Isso indica que a redução da adubação com superfosfato simples em 25%, possibilita substituí-lo com pó de rocha de carbonatito, sem que haja redução no acúmulo de massa seca da parte aérea do milho, e demonstra que a interação entre SS e PR aumenta a eficiência de ambos, comparados com suas aplicações isoladas.

O incremento de produção de biomassa de milho mesmo com a redução de fonte de fósforo solúvel, demonstra o potencial positivo do pó de rocha de carbonatito. Assim, a

aplicação combinada de uma fonte solúvel e insolúvel constituiu-se em importante estratégia de gestão de P, de modo que o SS atuaria como fonte de rápida disponibilização de P para a cultura, e o PR contribuiria para um suprimento escalonado e fracionado de fósforo.

Devido à menor eficiência do PR quando aplicado isoladamente, ele não foi capaz de substituir o fertilizante solúvel. Pavinato et al. (2020), sugerem a necessidade de adotar práticas culturais, com a utilização de microrganismos solubilizadores, visando melhorar a disponibilidade do fósforo para as plantas.

Com os resultados positivos referentes à produção de biomassa na aplicação dos inoculantes associados às adubações fosfatadas, há de se destacar quando utilizados sem fontes de P, demonstrando sua importância frente a escassez de fertilizantes.

Os microrganismos promoveram maior produção de massa seca da parte aérea quando comparada ao CTRL (Tabela 2), e valores semelhantes à adubação com SS. O MIXBAC sem nenhuma adubação fosfatada, proporcionou incrementos de 22% comparado ao CTRL e reduzido em apenas 1,6% comparado ao SS. Esses resultados podem ser explicados por meio da ação solubilizante e/ou bioestimulante do gênero *Bacillus*, além da maior produção de sistema radicular, permitindo maior exploração do P já presente no solo (DE SOUSA et al., 2020; LANNA-FILHO et al., 2010).

No Brasil, os solos cultiváveis possuem um acúmulo de fósforo em torno de 33,4 Tg, oriundo do processo de fertilização de 1976 a 2016, e os microrganismos solubilizadores de fósforo são uma alternativa para acessar essa reserva presente no solo (PAVINATO et al., 2020), pois, o principal mecanismo utilizado pelas bactérias solubilizadoras de fosfato está baseado na secreção de ácidos orgânicos, podendo promover tanto a solubilização quanto à mineralização de fosfatos no solo (AHEMAD; KIBRET, 2014), esses efeitos foram observados no presente estudo para os tratamentos controles, associados à inoculação das sementes com os microrganismos utilizados.

Além do efeito solubilizador e/ou bioestimulante e do aumento no crescimento da planta ocasionando maior rapidez na germinação da semente devido às propriedades biológicas do gênero *Bacillus*, soma-se a produção de fitohormônios, fixação de N e dissolução de outros nutrientes (LANNA-FILHO et al., 2010), contribuindo para o melhor crescimento e acúmulo de biomassa da planta, observados no tratamento MIXBAC.

É notório que o uso de inoculantes à base de microrganismos solubilizadores e/ou bioestimulantes, representa uma estratégia sólida para melhoria da produtividade dos solos que estão atualmente sob produção agrícola (SATYAPRAKASH et al., 2017), como a utilizada neste estudo. Além disso, Amanullah e Khan (2015) observaram que associar a adubação fosfatada com bactérias solubilizadoras de fósforo possibilita aumentar a disponibilidade de P no solo.

Embora o PR seja uma fonte de menor solubilidade, os valores de P disponível nos tratamentos de SS75P25 e SS50PR50 tiveram diferenças de apenas 3 e 5%, respectivamente quando comparado ao SS. O que pode explicar o efeito positivo na produção da massa seca total da planta mesmo quando houve redução de uma fonte de fósforo mais solúvel.

Na ausência de adubação fosfatada todos os inoculantes (CER, TUL e MIXBAC) tiveram maior teor de P total (Tabela 3). Apesar do maior teor de fósforo no tratamento com SS, as combinações SS75PR25, SS50PR50 não diferiram da adubação convencional. No tratamento com MIXBAC foram observados teores maiores de P total apenas quando associados ao SS e as combinações com maior participação da fonte solúvel (SS75PR25, SS50PR50), já os tratamentos com CER e TUL não diferiram quando associados às fontes de fósforo e seu CRTL, possivelmente pelo seu efeito na absorção e transferência do P (CARDOSO et al., 2017; JANSÁ et al., 2019) que estava disponível inicialmente no solo.

As raízes micorrizadas podem exercer influência sobre as diferentes populações de microrganismos da rizosfera, que por sua vez, também afetam indiretamente a disponibilidade de P para plantas (ARAÚJO et al., 2020; KAISER et al., 2015), fato observado neste estudo, tanto no P disponível, quanto nas massas secas das plantas inoculadas com os FMA e atividade enzimática do solo.

Apesar de não diferirem, no tratamento com PR + CER, a atividade de fosfatase ácida apresentou maior concentração (4.936,22  $\mu\text{g}$  de p-nitrofenol  $\text{g solo}^{-1}$ ). Nesse mesmo sentido, Ratke et al. (2021) constataram alta concentração de fosfatase (10329  $\mu\text{g}$  de p-nitrofenol  $\text{h}^{-1} \text{g}^{-1}$ ), aos 30 DAE do cultivo de milho, mediante tratamento com inoculação de microrganismo associado ao pó de rocha. Os mesmos autores afirmam que a utilização de fertilizantes, como o pó de rocha, e presença de inoculantes, são capazes de aumentar a taxa de mineralização de P no solo, o que pode ser observado neste estudo.

Além disso, o solo utilizado neste estudo tem histórico do uso de plantas de cobertura associada ao sistema de plantio direto, de modo que o teor de matéria orgânica é de 23,4  $\text{g}/\text{dm}^3$  (Tabela 1) considerado alto conforme Souza, e Lobato, (2004), aumentando o carbono orgânico do solo e consequentemente, o aumento da capacidade de bioestimular a microbiota, podendo contribuir para maior produção de fosfatase natural no solo (EO et al., 2015; NAVROSKI et al., 2018), observada no solo controle após os ensaios.

Assim, a utilização de pó de rocha carbonática e microrganismos, podem representar ótima estratégia para o setor agrícola, devido as demandas emergentes para a minimizar a dependência de fertilizantes químicos e incentivar o desenvolvimento da agricultura sustentável, promovendo maximização do rendimento e proteção das culturas no campo.

## 5. CONCLUSÕES

A aplicação apenas do carbonatito, não foi eficiente para substituir por completo o fertilizante superfosfato simples no desenvolvimento inicial do milho.

As combinações 75% de superfosfato simples + 25% de pó de rocha e/ou 50% de ambos, foram mais eficientes que a adubação convencional no desenvolvimento inicial do milho.

Os inoculantes quando aplicados sem adubação foram eficientes para o desenvolvimento inicial do milho, tanto quanto a adubação convencional.

## 6. REFERENCES

- AHEMAD, M.; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. **Journal of King Saud University Science**, 26, p. 1-20, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.05.001>
- AMANULLAH; KHAN, A. Phosphorus and compost management influence maize (*Zea mays*) productivity under semiarid condition with and without phosphate solubilizing bacteria. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, e1083, 2015. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01083>
- ARAÚJO, F. H. V.; CRUZ, R. S.; PORTO, D. W. B.; MACHADO, C. M. M.; FRANÇA, A. C. Effects of mycorrhizal association and phosphate fertilization on the initial growth of coffee plants. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, e58646, 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-40632020v5058646>
- BRUNDRETT, M.; BOUGHER, N.; DELL, B.; GROVE, T.; MALAJCZUK, N. Working with mycorrhizas in forest and agriculture. **Gamberra**, v. 135, n. 4, p. 783-784, 1997. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1997.00703-7.x>
- CARDOSO, E. J. B. N.; NOGUEIRA, M. A.; ZANGARO, W. Importance of mycorrhizae in tropical soils. In: Azevedo, J., Quecine, M. (Eds.) **Diversity and benefits of microorganisms from the tropics**. Switzerland: Springer - Cham, 2017. p. 245-267. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-55804-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-55804-2_11)
- DE SOUSA, S. M.; OLIVEIRA, C. A.; ANDRADE, D. L.; CARVALHO, C. G.; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. de P.; GOMES, E. A. Tropical *Bacillus* Strains Inoculation Enhances Maize Root Surface Area, Dry Weight, Nutrient Uptake and Grain Yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, n. 2, p. 867-877, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>
- EO, J.; PARK, K. C.; KIM, M. H. Plant-specific effects of sunn hemp (*Crotalaria juncea*) and sudex (*Sorghum bicolor* × *Sorghum bicolor* var. *sudanense*) on the abundance and composition of soil microbial community. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 213, p. 86-93, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.07.025>
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes: An R Package for ANOVA and Experimental Designs. **Applied Mathematics**, v. 5, n. 19, p. 2952-2958, 2014. <https://doi.org/10.4236/am.2014.519280>
- JANSA, J.; FORCZEK, S. T.; ROZMOS, M.; PUSCHEL, D.; BUKOVSKÁ, P.; HRSELOVÁ, H. Arbuscular mycorrhiza and soil organic nitrogen: network of players and interactions. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 6, e10, 2019. <https://doi.org/10.1186/s40538-019-0147-2>
- JENKINS, R. **X-Ray Fluorescence Spectrometry**. 2 ed. John Wiley and Sons, 1999. 232p.
- KAISER, C.; KILBURN, M. R.; CLODE, P. L.; FUCHSLUEGER, L.; KORANDA, M.; CLIFF, J. B.; SOLAIMAN, Z. M.; MURPHY, D. V. Exploring the transfer of recent plant photosynthates to soil microbes: Mycorrhizal pathway vs direct root exudation. **New Phytologist**, v. 205, n. 4, P. 1531-1551, 2015. <https://doi.org/10.1111/nph.13138>
- LANNA-FILHO, R.; FERRO, H. M.; PINHO, R. S. C. de. Controle biológico mediado por *Bacillus subtilis*. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 4, n. 2, p. 12-20, 2010. <https://doi.org/10.0000/rtcab.v4i2.145>
- MORAIS, T. P. de; BRITO, C. H. de; FERREIRA, A. de s.; LUZ, J. M. Q. Aspectos morfofisiológicos de plantas de milho e bioquímico do solo em resposta à adubação nitrogenada e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Ceres**, v. 62, n. 6, p. 589-596, 2015. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562060012>
- NAVROSKI, D.; MOREIRA, A.; GUIMARÃES, M. de F.; COLOZZI FILHO, A. Changes in microbiological attributes of a red latosol under different cropping systems. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 39, n. 3, p. 971-982, 2018. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n3p971>
- OLIVEIRA JÚNIOR, A. de; PROCHNOW, L. I.; KLEPKER, D. Soybean yield in response to application of phosphate rock associated with triple superphosphate. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 3, p. 376-385, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000300016>
- PAVINATO, P. S.; CHERUBIN, M. R.; SOLTANGHEISI, A.; ROCAH, G. C.; CHADWICK, D. R.; JONES, D. L. Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, e15615, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72302-1>
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, 2021.
- RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: **Instituto Agrônomo**, 2001. 285p.
- RICHARDSON, A. E. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 28, n. 9, p. 897-906, 2001. <https://doi.org/10.1071/PP01093>
- SATYAPRAKASH, M.; B. SADHANA, T. NIKITHA, E. U. B. R.; VANI, S. S. Phosphorous and Phosphate Solubilising Bacteria and their Role in Plant Nutrition. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 4, p. 2133-2144, 2017. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.604.251>
- SOMA, D. M.; KIBA, D. I.; GNANKAMBARY, Z.; EWUSI-MENSAH, N.; SANOU, M.; NACRO, H. B.; LOMPO, F.; SEDOGO, M. P.; ABAIDOO, R. C. Effectiveness of combined application of Kodjari phosphate rock, water soluble phosphorus fertilizer and manure in a Ferric Lixisol in the centre west of Burkina Faso. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 64, n. 3, p. 384-397, 2018. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1353216>
- SOUZA, D. M. G. DE; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 147-167.
- TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: BOTTOMLEY, P. J.; ANGLE, J. S.; WEAVER, R. W. (Eds). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. **Soil**

- Science Society of America**, v. 2, p. 778-835, 1994.  
<https://doi.org/10.2136/sssabookser5.2.c37>
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.;  
 TEIXEIRA, W. G. (Eds). **Manual de métodos de  
 análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF:  
**Embrapa**, 2017. 547p.
- VERMELHO, A. B.; PEREIRA, A.; COELHO, R.;  
 SOUTO-PADRÓN, T. **Práticas de Microbiologia**. Rio  
 de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. 208p.
- VINHA, A. P. C.; CARRARA, B. H.; SOUZA, E. F. S.;  
 SANTOS, J. A. F. dos; ARANTES, S. A. C. M. Adsorção  
 de fósforo em solos de regiões tropicais. **Nativa**, v. 9, n.  
 1, p. 30-35, 2021.  
<https://doi.org/10.31413/nativa.v9i1.10973>
- ZHAO, K.; PENTTINEN, P.; ZHANG, X.; AO, X.; LIU,  
 M.; YU, X.; CHEN, Q. Maize rhizosphere in Sichuan,  
 China, hosts plant growth promoting Burkholderia  
 cepacia with phosphate solubilizing and antifungal  
 abilities. **Microbiological Research**, v. 169, n. 1, p. 76-  
 82, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.07.003>

#### **Agradecimentos**

Agradecemos ao Programa de Pós-graduação em Agricultura Tropical e os laboratórios de Fertilidade e Microbiologia do Solo da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) Campus Cuiabá. A Faculdade de Geociências e ao Instituto de Física da UFMT pelo auxílio na realização das medidas de EDX, e ao Sr. Moisés Sachetti pela doação do pó de carbonatito usado no experimento.

#### **Contribuições dos Autores:**

Os autores deste trabalho contribuíram de forma igualitária em todas as funções no artigo, desde sua concepção até a redação. Todos leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

#### **Financiamentos:**

Pesquisa sem financiamentos externos.

#### **Revisão Institucional:**

Não se aplica.

#### **Comitê de Ética da área:**

Não se aplica.

#### **Disponibilização dos dados do estudo:**

Os dados desse estudo podem ser obtidos mediante solicitação ao autor correspondente ou ao primeiro(a) autor(a), via e-mail.

#### **Conflito de interesses:**

Os autores declaram que não existem conflitos de interesses. As entidades/instituições de apoio não tiveram nenhum papel na concepção do estudo, na coleta, análise ou interpretação de dados, na redação do manuscrito, ou na decisão de publicar os resultados.