



Utilização de adubo fosfatado e inoculante à base de fungo micorrízico no cultivo do feijão

Maria Olívia Cunha Santos Vieira ¹, Adalberto Aparecido dos Reis ¹, Lavinia Rodrigues de Faria ¹ e Katia Daniela Ribeiro ²

¹ Engenheiro Agrônomo graduado pelo UNIFOR-MG, Formiga, MG, Brasil.

² Professora Titular II, Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG, Formiga, MG, Brasil.

* Autor Correspondente: katiaribeiro@unifor.br

Recebido: 30/11/2020; Aceito: 09/07/2021

Resumo: O feijão é um dos alimentos mais importantes na dieta da população brasileira e uma das espécies mais cultivadas no país. Sua importância está em nível mundial e o cultivo se dá durante o ano todo, variando a época conforme a região do Brasil. Considerando-se a deficiência de fósforo nos solos brasileiros associada à importância desse macro nutriente para a maioria das culturas, objetivou-se nesse trabalho avaliar a resposta do feijoeiro à utilização de adubo fosfatado e inoculante à base de fungo micorrízico arbuscular para a disponibilização de fósforo do solo. O experimento, conduzido em casa de vegetação no município de Arcos-MG, sob delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco repetições, contou com quatro tratamentos sendo, T1 = testemunha (sem adubação nem inoculante); T2 = cultivo sob adubação fosfatada (MAP 11 52 00); T3 = cultivo sob o uso de inoculante à base de fungo arbuscular (Rootela BR®) e T4 = cultivo com combinação de Rootela BR® e MAP 11 52 00. Foram avaliados os parâmetros de fertilidade do solo antes e após o cultivo do feijão, bem como os parâmetros relativos às plantas: número de vagens e de grãos por vagem, comprimento de vagens, massa de grãos, número total de folhas, ramos e plantas por vaso, altura de plantas e comprimento do sistema radicular, massa fresca e massa seca das vagens e análise foliar. Os resultados foram submetidos a análise de variância e teste de Skott-Knott para comparação das médias, a 5% de significância, permitindo concluir que a aplicação de MAP promoveu aumento de P no solo enquanto não houve efeito da inoculação sobre este nutriente. O adubo fosfatado e o inoculante à base de FMA não interferiram no desenvolvimento das plantas, no entanto, a adubação e/ou inoculação afetaram positivamente o número de grãos por vagem do feijoeiro comum.

Palavras-chave: Análise foliar; fertilidade do solo; fósforo.

Use of phosphate fertilizer and inoculant based on mycorrhizal fungus in bean cultivation

Abstract: Beans are one of the most important foods in Brazilian's diet and one of the most cultivated species in the country. Its importance is worldwide, and its cultivation is generally carried out in winter at southeast and central-west regions of Brazil. Considering the phosphorus deficiency in Brazilian soils associated with the importance of this macronutrient for most crops, this study aimed at evaluating the beans response to the use of phosphate fertilizer and inoculant based on arbuscular mycorrhizal fungus for phosphorus availability from soil. Experiment was conducted in a greenhouse in the municipality of Arcos, Minas Gerais, Brazil, under a completely randomized design, with five replications and four treatments: T1 = control (without fertilization or inoculant); T2 = cultivation under phosphate fertilization (MAP 11 52 00); T3 = cultivation using an inoculant based on arbuscular mycorrhizal fungus (Rootela BR®) and T4 = cultivation with a combination of Rootela BR® and MAP 11 52 00. Soil fertility parameters were evaluated before and after bean cultivation, as well as the parameters related to plants: quantity of pods and grains per pod, size of pods, weight of grains, quantity of total leaves, branches and plants per pot, size of plant and root system, fresh weight and dry weight of pods and leaf analysis. Results were subjected to variance analysis and Skott-Knott test for means comparison, at 5% significance, allowing to conclude that MAP's application promoted an increase of P in the soil while there was no effect of inoculation on this nutrient. The phosphate fertilizer and the inoculum based on arbuscular mycorrhizal fungus did not interfere in the development of the plants, however, the fertilization and / or inoculation positively affected the number of grains per pod of the common bean.

Key-words: Leaf analysis; soil fertility; phosphor.

1. INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*), originário da América do Sul e introduzido no Brasil no século XVI, é um dos alimentos mais consumidos pelos brasileiros, destacando-se por sua importância proteica na dieta humana e por fornecer nutrientes essenciais ao ser humano como vitaminas, ferro, cálcio, magnésio, zinco, fibras, proteínas e carboidratos (BITOCCHI et al., 2017).

O feijoeiro é cultivado em diversos estados, em diversas condições edafoclimáticas, épocas e sistemas de cultivo, sendo que o Brasil foi classificado pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO, no ano de 2019, como o terceiro maior produtor mundial de feijão (COELHO, 2019), o que torna essa cultura importante para o setor agrícola brasileiro, não só pela sua expressão mas também pelo fato de estar na agricultura familiar a maior porcentagem dessa produção (POSSE, 2010).

O fósforo (P) é um elemento essencial no metabolismo das plantas. Para o feijão, o P influencia positivamente no aumento da produtividade de vagens e grãos, bem como no desenvolvimento radicular (NASCENTE et al., 2014). Em contrapartida, a falta de P é o que mais limita a produtividade nos solos brasileiros, de modo que uma baixa disponibilidade de P nos solos afeta o desenvolvimento dos vegetais, reduzindo o tamanho, o número e a massa dos grãos (ZUCARELI et al., 2011).

Uma vez que os solos brasileiros, de um modo geral, caracterizam-se pela deficiência e/ou menor teor de P (MELLO, 2005), é essencial que se faça a adubação fosfatada visando o suprimento e incorporação deste nutriente no solo para garantir boa produtividade do feijoeiro. O fosfato monoamônico (MAP) é uma das fontes minerais utilizadas na adubação fosfatada, caracterizando-se por conter em torno de 10% de nitrogênio (N) e aproximadamente 46 a 50% de pentóxido de fósforo (P₂O₅) (SANTIAGO & ROSSETO, 2020), sendo considerado como um fertilizante de rápida absorção pelas plantas (PHOSAGRO, 2020).

O P é um elemento que se apresenta no solo em formas pouco disponíveis aos vegetais e esse fato, associado às características de elevada adsorção desse elemento pelos solos, faz com que a eficiência de fertilizantes fosfatados seja baixa, com 10 a 20% do nutriente sendo disponibilizado para as culturas no ano de aplicação (SANTOS et al., 2011), culminando para a necessidade de altas dosagens de adubos fosfatados para suprir as necessidades das plantas.

A disponibilidade de P no solo depende do material de origem, do grau de intemperismo do solo, da textura e da quantidade de matéria orgânica no solo. Além desses fatores, a atividade biológica, como a dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA), também pode influenciar na disponibilidade desse nutriente e na sua absorção pelas plantas (SANTANA, 2017; SERRA et al., 2017). Os FMA atuam na ciclagem de nutrientes, no aumento da atividade biológica no meio edáfico e na agregação das partículas do solo (FOLLI-PEREIRA, 2012), de maneira que sua utilização como inoculante apresenta-se como alternativa para a produção agrícola sustentável, evitando a degradação do solo pela aplicação de insumos químicos e promovendo a redução dos gastos com a adubação fosfatada (BERUDE et al., 2015). O inoculante Rootela BR® foi o primeiro produto à base de FMA, da espécie *Rhizophagus intraradices*, a obter o registro do Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) para comercialização, caracterizando-se, segundo NovaTero (2019), como um produto capaz de proporcionar aumento do sistema radicular, maior disponibilidade de nutrientes e auxílio à recuperação de solos degradados.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta do feijoeiro comum, cultivado em ambiente protegido, quanto à disponibilização de fósforo no solo proporcionada pela utilização de adubo fosfatado MAP e inoculante à base de fungo micorrízico arbuscular Rootela BR® através da análise de parâmetros do solo e relacionados ao desenvolvimento das plantas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vasos, no município de Arcos-MG, localizado a 20° 17' 29" de latitude sul e a 45° 32' 23" de longitude oeste, com altitude de 740 metros (COSTA, 2013). Quanto ao clima do local de estudo, entre os meses de abril e julho, período de condução do experimento, ocorre o período mais seco e mais fresco, em que a umidade relativa do ar e a evapotranspiração são mais baixas e a temperatura varia entre 13°C e 26°C (WEATHER SPARK, 2020).

O experimento foi conduzido em ambiente protegido com a dimensão de 1,5 m de largura e 2,5 m de comprimento, revestido com sombrite (50%) nas laterais e plástico filme transparente na parte superior.

A implantação do experimento ocorreu no dia 04/04/2020, em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 4 (quatro) tratamentos (Tabela 1) e 5 (cinco) repetições, totalizando 20 unidades experimentais.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos do experimento.

Tratamento	Descrição
T1	Testemunha (sem adubação fosfatada nem inoculante à base de FMA)
T2	Cultivo sob adubação fosfatada (MAP 11 52 00)
T3	Cultivo sob inoculação à base de FMA (Rootela BR®)
T4	Cultivo sob combinação de Rootela BR® e MAP 11 52 00.

Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

O solo utilizado, de textura muito argilosa, foi coletado na Fazenda Laboratório do Centro Universitário de Formiga - UNIFOR-MG, em Formiga-MG, sendo os parâmetros de fertilidade e necessidade de adubação apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Fertilidade do solo experimental e necessidades de adubação.

Índice	Valor no solo ¹	Classificação ²	Adubação necessária ³	Fonte de nutriente
pH (H ₂ O)	6,0	Bom	-	-
N	-	-	40 kg/ha no plantio 60 kg/ha na cobertura	Ureia 46% ⁴
P rem.	32,7 mg.dm ⁻³	Muito baixo	110 kg/ha	MAP – 11 52 00 ⁵
P mehlich	9,7 mg.dm ⁻³	Muito bom	20 kg/ha	KCl ⁴
M.O.	33,6 g/kg	Médio	-	-
CTC	83,10 mmolc.dm ⁻³	Muito bom	-	-
V%	60	Médio	-	-

¹ Análises realizadas pela empresa Agrolab, Pimenta-MG; ² Classificações de acordo com a 5ª Aproximação; ³ Dosagens de P₂O₅ de acordo com a 5ª Aproximação para a cultura do feijão; ⁴ A adubação nitrogenada e potássica foi feita igualmente para todos os tratamentos. ⁵ A adubação fosfatada foi realizada apenas nos tratamentos 2 e 4. Fonte: elaborada pelos autores, 2020.

Após a realização da adubação potássica, o solo foi incubado por um período de 7 (sete) dias, procedendo-se posteriormente à realização das adubações nitrogenada e fosfatada de plantio seguidas da semeadura de 3 (três) sementes de feijão por vaso. Foram utilizadas sementes de feijão carioca, cultivar BRS Estilo, sendo que as sementes referentes aos tratamentos T3 e T4 foram inoculadas com o Rootella BR® na dosagem recomendada pelo fabricante de 120 g.ha⁻¹. Foram utilizados vasos com capacidade de 4,6 litros e não foram realizados desbastes. A emergência foi homogênea, iniciando-se no dia 08/04/2020. No dia 01/05/2020 foi realizada a adubação de cobertura em todos os vasos, seguindo a descrição da Tabela 2.

O manejo da irrigação baseou-se na demanda evapotranspirométrica máxima da cultura, conforme Folegatti (2020). Para uma evapotranspiração de referência (ET₀) média para a cidade de Arcos-MG, nos meses de abril a julho, período do experimento, igual a 2,75 mm/dia (ALBUQUERQUE et al., 2011), um coeficiente de cultivo no período de máxima demanda hídrica da cultura, que é a fase de enchimento de grãos, igual a 1,36 (SOUZA et al., 2005) e fixando-se o turno de rega em 4 (quatro dias), a lâmina de irrigação aplicada em cada vaso foi de 15 mm.

O controle de pragas, doenças e plantas invasoras foi realizado por observação diária das condições das plantas, não sendo necessária aplicação de defensivos.

No dia 19/06/2020, aos 76 dias após o plantio, procedeu-se à retirada das plantas dos vasos, determinando-se os seguintes parâmetros agrônômicos: a) número de vagens, número de grãos por vagem, número de folhas, número de ramos e número de plantas por vaso, contabilizados manualmente; b) comprimento de vagens, altura de plantas, comprimento de raiz e da parte aérea, determinados com fita métrica; c) massa dos grãos e massa da matéria verde, determinadas usando balança de precisão 0,1 g; d) massa da matéria seca, por secagem em micro-ondas, conforme Oliveira et al. (2015).

Após a colheita das plantas, foram coletadas amostras de solo de cada vaso do experimento e amostras de folhas de cada planta, que foram devidamente acondicionadas, etiquetadas e enviadas para o laboratório Agrolab, no município de Pimenta-MG, para análise dos parâmetros de fertilidade do solo e análise foliar.

Os dados obtidos foram submetidos a análises de variância e ao Teste de Scott-Knott para a avaliação das médias a um nível de significância de 5%. As análises de variância e os testes de média foram realizados utilizando-se o software SISVAR (FERREIRA, 2011).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para as análises de variância dos parâmetros de fertilidade dos solos analisados após o experimento.

Os parâmetros potássio, teor de sulfato, cálcio, soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases, boro, cobre, manganês e zinco não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos utilizados no experimento. A literatura mostra que o fósforo não se correlaciona com alguns dos parâmetros supracitados, como Duete (1995), que não verificou correlação significativa entre a fixação de P e os teores de carbonato de cálcio e Villar (2007), que observou que o P não exerce influência na absorção de Zn, por exemplo.

Na Tabela 4 são demonstrados os valores médios obtidos para os parâmetros de fertilidade do solo, analisados após o experimento, que sofreram influência dos tratamentos analisados.

A utilização do adubo fosfatado e do inoculante à base de FMA promoveram acidificação do solo, reduzindo seu valor de pH. Morais et al. (2013) explicam que essa diminuição do pH é decorrente da liberação de íons H⁺ no processo de dissolução do adubo fosfatado aplicado no solo. Russomanno (1996) e Costa et al. (2002) constataram em seus trabalhos que a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares não promoveu alterações significativas no valor do pH. Dessa forma, a diferença significativa verificada entre T3 e T1 é devida provavelmente à variabilidade natural dos parâmetros físicos e químicos dos solos.

Tabela 3. Análises de variância para os parâmetros de fertilidade dos solos analisados após o experimento (fonte de variação = tratamentos).

Parâmetro ¹	SQ	QM	Fc	Pr > Fc ²	CV (%)	média geral	erro padrão
pH (H ₂ O)	0,38	0,13	8,2	0,0015 *	2,08	6,00	0,0557
P meh	1806,32	602,11	11,92	0,0002 *	27,23	26,1 ³	3,1782
P rem	14,03	4,68	3,04	0,0596 *	2,89	42,92 ³	0,5550
K	8938,83	2979,61	1,09	0,3820 ns	15,66	333,85 ³	23,3881
S-SO ₄	1,80	0,60	0,15	0,9312 ns	28,61	7,10 ³	0,9083
Ca	37,80	12,60	1,07	0,3914 ns	8,93	38,50 ⁴	1,5379
Mg	8,40	2,80	7,00	0,0032 *	7,35	8,60 ⁴	0,2828
H+Al	42,15	14,05	3,85	0,0300 *	7,25	26,35 ⁴	0,8544
MO	114,28	38,09	2,88	0,0687 *	12,78	28,49 ⁵	1,6279
CO	38,41	12,80	2,86	0,0695 *	12,80	16,53 ⁵	0,9457
Sb	55,70	18,57	0,82	0,4994 ns	8,53	55,63 ⁴	2,1222
CTC	161,03	53,68	1,81	0,1866 ns	6,65	81,98 ⁴	2,4380
V	21,35	7,12	1,42	0,2746 ns	3,31	67,75 ⁶	1,0025
B	0,04	0,01	1,40	0,2791 ns	20,98	0,48 ³	0,0449
Cu	0,05	0,02	2,16	0,1325 ns	4,51	2,02 ³	0,0406
Fe	1353,75	451,25	4,48	0,0182 *	11,37	88,25 ³	4,4888
Mn	109,78	36,59	2,48	0,0981 ns	8,24	46,61 ³	1,7169
Zn	6,31	2,1	1,32	0,3035 ns	6,01	21,02 ³	0,5650

¹ pH = acidez ativa; P meh = fósforo disponível no solo; P rem = fósforo remanescente; K = potássio; S-SO₄ = teor de sulfato; Ca = cálcio; Mg = magnésio; H+Al = acidez potencial; MO = matéria orgânica; CO = carbono orgânico; Sb = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V = saturação por bases; B = boro; Cu = cobre; Fe = ferro; Mn = manganês; Zn = zinco. ² ns - não significativo; * significativo a 5%. ³ valores em mg/dm³. ⁴ valores em mmolc/dm³. ⁵ valores em g/kg. ⁶ valor em porcentagem. Fonte: Resultados da pesquisa, 2020.

Tabela 4. Valores médios obtidos para acidez ativa (pH), fósforo disponível no solo (P meh), fósforo remanescente (P rem), magnésio (Mg), acidez potencial (H+Al), matéria orgânica (MO), carbono orgânico (CO) e ferro (Fe) para o solo analisado após o experimento.

Tratamento	pH	P meh mg/dm ³	P rem mg/dm ³	Mg mmolc/dm ³	H+Al mmolc/dm ³	MO g/kg	CO g/kg	Fe mg/dm ³
T1	6,20 a	16,52 b	42,12 b	7,6 b	24,6 b	30,26 a	17,54 a	99,8 a
T2	5,94 b	34,88 a	43,50 a	9,4 a	26,4 b	25,76 b	14,94 b	79,6 b
T3	6,02 b	16,70 b	42,08 b	8,8 a	25,8 b	31,40 a	18,22 a	92,2 a
T4	5,82 b	36,30 a	43,98 a	8,6 a	28,6 a	26,54 b	15,40 b	81,4 b

Medias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Resultados da pesquisa, 2020.

Viviani et al. (2010), analisando a disponibilidade de fósforo no solo em função do aumento do pH, verificaram a existência de uma relação inversa entre pH e o teor de fósforo remanescente no solo (P rem), na qual o P rem foi reduzido pelo aumento do pH, assemelhando-se aos resultados encontrados neste trabalho em que, de um modo geral, também permitiram constatar essa relação inversa na qual os menores valores de pH associaram-se aos maiores valores de fósforo disponível (P meh) e fósforo remanescente (P rem) no solo.

Observa-se ainda que a adubação fosfatada com MAP (T2 e T4) proporcionou a elevação dos teores de P meh no solo a valores duas vezes maiores que aqueles verificados para os tratamentos que não receberam MAP (T1 e T3). Corroborando com Moreira et al. (2019), verifica-se ainda que o inoculante à base de FMA, isoladamente, não foi capaz de disponibilizar o P presente no solo, visto que a concentração de P no tratamento T3 não diferiu da testemunha (T1), onde não foi aplicado nem MAP nem Rootela BR®.

A acidez potencial (H+Al) do solo não foi afetada pela aplicação do adubo fosfatado ou inoculação à base de FMA quando realizados isoladamente. Porém, a combinação de MAP e Rootela BR® (T4) promoveu aumento da acidez potencial do solo.

A dissolução do adubo fosfatado promove a acidificação do solo. Adicionalmente, os fungos micorrízicos arbusculares influem na habilidade das plantas em absorver P do solo, estimulando processos metabólicos que são

importantes na solubilização e mineralização do P. Nesses processos metabólicos, há a excreção de íons H⁺ e liberação de ácidos orgânicos que contribuem para o incremento da acidez potencial no solo (MENDES & REIS JUNIOR, 2003).

A adubação fosfatada, independentemente da inoculação do Rootela BR®, proporcionou redução nos teores de matéria orgânica (MO), carbono orgânico (CO) e ferro (Fe) no solo, corroborando com outros estudos que também encontraram relações inversamente proporcionais entre P e os teores de MO, CO e Fe (SOUZA et al., 2007; SANTOS et al., 2008; MARQUES, 2016).

Óxidos de ferro e matéria orgânica são os constituintes do solo que afetam mais fortemente as reações e a taxa de adsorção e dessorção de fósforo (FINK et al., 2016). Os óxidos de ferro estão relacionados à adsorção e à fixação do fósforo nos solos, tornando este nutriente indisponível às plantas (SANTOS & ZARONI, 2020). A matéria orgânica interage com óxidos metálicos presentes no solo através de reações de complexação, quelação e adsorção, afetando, direta ou indiretamente, a adsorção e a disponibilidade de P no solo (FRANCO, 2019).

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos para as análises de variância dos parâmetros das análises foliares realizadas para os tratamentos analisados.

Os parâmetros relacionados às análises foliares das plantas do experimento não apresentaram diferença significativa em relação aos tratamentos utilizados. A análise foliar permite observar se a planta está ou não bem nutrida, logo, os tratamentos não influenciaram o estado nutricional das plantas do feijoeiro comum.

Tabela 5. Análises de variância para os parâmetros de análise foliar analisados (fonte de variação = tratamentos).

Parâmetro ¹	SQ	QM	Fc	Pr > Fc ²	CV (%)	média geral	erro padrão
N foliar	14,66	4,89	0,34	0,7943 ns	13,74	27,46 ³	1,6868
P foliar	0,73	0,24	0,92	0,4553 ns	18,32	2,81 ³	0,2298
K foliar	33,33	11,11	0,99	0,4234 ns	11,84	28,32 ³	1,4999
Ca foliar	54,27	18,09	1,02	0,4095 ns	10,49	40,12 ³	1,8825
Mg foliar	0,64	0,21	1,26	0,3212 ns	12,08	3,41 ³	0,1843
S foliar	0,04	0,01	1,23	0,3311 ns	5,55	1,78 ³	0,0442
B foliar	165,00	55,00	0,83	0,4953 ns	9,69	83,90 ⁴	3,6346
Cu foliar	6,15	2,05	1,34	0,2953 ns	32,08	3,85 ⁴	0,5523
Fe foliar	180108,15	60036,05	1,37	0,2866 ns	38,05	549,45 ⁴	93,4904
Mn foliar	1458,00	486,00	0,36	0,7798 ns	16,70	218,80 ⁴	16,3383
Zn foliar	121,80	40,60	0,75	0,5411 ns	25,20	29,30 ⁴	3,3023

¹ N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; B = boro; Cu = cobre; Fe = ferro; Mn = manganês; Zn = zinco. ² ns - não significativo a 5%. ³ valores em g/kg. ⁴ valores em mg/kg. Fonte: Resultados da pesquisa, 2020.

A Tabela 6 apresenta os teores adequados de nutrientes nas folhas para a cultura do feijão bem como a interpretação dos valores médios apresentados na Tabela 5.

Tabela 6. Teores adequados de nutrientes nas folhas para a cultura do feijão e interpretação da análise foliar.

Parâmetro ¹	média geral	teor adequado ⁵	interpretação
N foliar	27,46 ³	30 - 50 ³	Deficiência
P foliar	2,81 ³	2 - 3 ³	Adequado
K foliar	28,32 ³	20 - 25 ³	Excesso
Ca foliar	40,12 ³	15 - 20 ³	Excesso
Mg foliar	3,41 ³	4 - 7 ³	Adequado
S foliar	1,78 ³	5 - 10 ³	Deficiência
B foliar	83,90 ⁴	30 - 60 ⁴	Excesso
Cu foliar	3,85 ⁴	10 - 20 ⁴	Deficiência
Fe foliar	549,45 ⁴	100 - 450 ⁴	Excesso
Mn foliar	218,80 ⁴	30 - 300 ⁴	Adequado
Zn foliar	29,30 ⁴	20 - 100 ⁴	Adequado

¹ N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; S = enxofre; B = boro; Cu = cobre; Fe = ferro; Mn = manganês; Zn = zinco. ² ns - não significativo a 5%. ³ valores em g/kg. ⁴ valores em mg/kg. ⁵ conforme Silva (1999).

As plantas de feijoeiro apresentaram condições nutricionais adequadas quanto aos elementos P, Mg, Mn e Zn. Os elementos N, S e Cu apresentaram teores foliares abaixo do recomendado para a cultura, sendo que as deficiências de N e S podem estar relacionadas, conforme Villar (2007), à insuficiência de matéria orgânica, já que não houve adubação orgânica no experimento. Já a deficiência de Cu pode estar relacionada, conforme Silva (2005), a uma possível insuficiência desse elemento no solo.

Ainda sobre a análise foliar do feijoeiro cultivado no experimento, observou-se a presença em excesso dos elementos K, Ca, B e Fe. De um modo geral, o excesso de K relaciona-se à adubação potássica excessiva, sendo que o excesso de K não denota em sintomas relevantes na planta, porém, afeta a absorção de outros elementos (BECKER et al., 2016). E o excesso de K verificado nesse estudo deve-se exclusivamente a adubações anteriores realizadas no local de coleta do solo, uma vez que a sua mineralogia de origem é gabro, uma rocha pobre em potássio (FONSECA, 2021).

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos para as análises de variância dos parâmetros de desenvolvimento e produtividade analisados para o feijoeiro.

Tabela 7. Análises de variância para os parâmetros de desenvolvimento e produtividade das plantas (fonte de variação = tratamentos).

Parâmetro ¹	SQ	QM	Fc	Pr > Fc ²	CV (%)	média geral	erro padrão
Qvg	5,35	1,78	0,30	0,8278 ns	39,27	6,25 ³	1,0977
Gpv	13,39	4,46	4,97	0,0127 *	19,40	4,89 ³	0,4240
Tvg	2,29	0,76	0,30	0,8254 ns	20,07	7,96 ⁴	0,7142
Mgr	164,15	54,72	3,04	0,0592 *	45,83	9,25 ⁵	1,8960
Qfl	330,55	110,18	0,71	0,5605 ns	34,77	35,85 ³	5,5745
Qrm	167,35	55,78	0,94	0,4434 ns	53,62	14,35 ³	3,4409
Ppv	0,20	0,07	0,12	0,9551 ns	34,37	2,30 ³	0,3536
Ttp	1930,60	643,53	0,61	0,6169 ns	25,88	125,30 ⁴	14,5007
Trz	103,35	34,45	2,13	0,1370 ns	13,13	30,65 ⁴	1,8000
Tpa	2312,95	770,98	0,78	0,5223 ns	33,22	94,65 ⁴	14,0622
Mmv	0,16	0,05	0,94	0,4426 ns	37,01	20,00 ⁵	3,3106
Mms	0,08	0,03	1,21	0,3398 ns	37,64	12,70 ⁵	2,1378

¹ Qvg = número de vagens; Gpv = número de grãos por vagem; Tvg = comprimento da vagem; Mgr = massa dos grãos; Qfl = número de folhas; Qrm = número de ramos; Ppv = número de plantas por vaso; Ttp = altura de plantas; Trz = comprimento de raiz; Tpa = comprimento da parte aérea; Mmv = massa da matéria verde; Mms = massa da matéria seca. ² ns - não significativo; * significativo a 5%. ³ valores em unidades. ⁴ valores em centímetros; ⁵ valores em gramas. Fonte: Resultados da pesquisa, 2020.

Os parâmetros número e comprimento de vagens, massa dos grãos, número de folhas e de ramos, número de plantas por vaso, altura de plantas, comprimento da raiz e da parte aérea e massas das matérias verde e seca não apresentaram diferença significativa em relação aos tratamentos utilizados. Logo, foi possível constatar que os tratamentos não influenciaram o desenvolvimento das plantas do feijoeiro comum. Porém, os parâmetros relacionados diretamente com a produtividade, que são o número de grãos por vagem e a massa de grãos apresentaram diferença significativa em relação aos tratamentos utilizados, conforme é mostrado na Tabela 8, corroborando com Arf et al. (2011) que relatam que o elemento P contribui de forma significativa para o aumento da produtividade do feijoeiro.

Tabela 8. Valores médios obtidos para o número de grãos por vagem (Gpv) e massa dos grãos (Mgr) verificados no estudo.

Tratamento	Gpv (unidade)	Mgr (g)
T1	3,56 b	7,2 b
T2	5,38 a	9,0 b
T3	5,71 a	6,8 b
T4	4,89 a	14,0 a

Medias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. Fonte: Resultados da pesquisa, 2020.

Em comparação à testemunha (T1), o uso do adubo fosfatado e da inoculação à base de FMA promoveu um incremento médio de 63,4% no número de grãos por vagem. Cruz et al. (2017), analisando o efeito de doses de fósforo e fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e produção do feijão-caupi em Roraima, obtiveram resultados semelhantes ao presente estudo, destacando que a utilização de FMA influencia positivamente o número

de grãos por planta, levando a valores superiores com uma expressividade na ordem de 64 a 68% em relação ao tratamento sem inoculação.

Nascente et al. (2014), analisando diferentes fontes químicas de P no cultivo de feijão, constataram que o MAP proporcionou incrementos significativos na produtividade de grãos. Os autores ainda relataram que, apesar de o número de grãos por vagem ser uma característica genética e peculiar de cada cultivar, esta variável foi influenciada pela adubação fosfatada, conforme também se constatou neste estudo.

Com relação à massa dos grãos, o uso isolado do adubo fosfatado (T2) ou do inoculante à base de FMA (T3) não proporcionaram incrementos quando comparados à testemunha (T1). No entanto, a associação de MAP + Rootela BR® (T4) proporcionaram um incremento médio de 82,6% na massa dos grãos produzidos pelas plantas do feijoeiro.

Zucareli et al. (2011) constataram que a produtividade do feijoeiro aumenta linearmente em função das doses de P aplicadas no solo, ou seja, quanto mais P disponível à planta, maior a massa de grãos. Assim, a adubação fosfatada com MAP foi essencial para garantia dessa produtividade. Em contrapartida, NovaTero (2019), primeira empresa do Brasil a obter o registro para comercialização de inoculante à base de fungo micorrízico arbuscular, o Rootella BR®, diz que a inoculação com FMA é eficaz na disponibilização de P no solo, com o aumento da colheita e, consequentemente, com o aumento da produção de grãos, fato não observado no presente trabalho.

Por fim, a número de grãos por vagem não diferiu quanto ao uso isolado de MAP ou Rootela BR®, nem quanto ao uso associado dos mesmos e, geralmente, o aumento em produtividade se dá em função do aumento do número de grãos.

4. CONCLUSÕES

O uso de adubo fosfatado e inoculante à base de FMA não influenciaram na maioria dos parâmetros de fertilidade do solo, sendo que a aplicação de MAP promoveu aumento de P no solo enquanto não houve efeito da inoculação sobre o P do solo.

Os parâmetros relativos à análise foliar das plantas não foram influenciados significativamente pelos tratamentos avaliados.

O adubo fosfatado e o inoculante à base de FMA não interferiram no desenvolvimento das plantas, que apresentaram característica morfofisiológicas iguais estatisticamente. Todavia, a adubação e/ou inoculação afetaram positivamente o número de grãos por vagem do feijoeiro comum.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P.E.P.; GUIMARÃES, D.P.; LANDAU, E.C. **Mapas decendiais de evapotranspiração de referência (ET_o) para Minas Gerais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 18 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921164/1/Doc1311.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2020.
- ARF, M.V.; BUZETTI, S.; ARF, O.; KAPPES, C.; FERREIRA, J.P.; GITTI, D.C.; YAMAMOTO, C.J.T. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em feijoeiro de inverno sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.3, p.430-438, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.5216/pat.v41i3.9706>.
- BATTASTINI, A.M.O.; ZANIN, R.F.; BRAGANHOL, E. Recentes avanços no estudo das enzimas que hidrolisam o ATP extracelular. **Ciência e Cultura**, v.63, n.1, p.26-28, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.21800/S0009-67252011000100011>.
- BECKER, W.F.; WAMSER, A.F.; FELTRIN, A.L. **Sistema de produção integrada para o tomate tutorado em Santa Catarina**. Florianópolis, SC: Epagri, 2016. 149p. Disponível em: <<https://ifc.edu.br/wp-content/uploads/2017/05/web-miolo-epagri-Gr%C3%A1fica-%C3%A9Altima-vers%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- BERUDE, M.C.; ALMEIDA, D.S.; RIVA, M.M.; CABANÊZ, P.A.; AMARAL, A.A. Micorrizas e sua importância agroecológica. **Enciclopédia Biosfera**, v.11, n.22, 2015. Disponível em: <<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2015E/Micorrizas.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2020.
- BITOCCHI, E.; RAU, D.; BELLUCCI, E.; RODRIGUEZ, M.; MURGIA, M.; GIOIA, T.; SANTO, D.; NANNI, L.; ATTENE, G.; PAPA, R. Beans (*Phaseolus* spp.) as a model for understanding crop evolution. **Frontiers in Plant Science**, v.8, art.722, 2017. DOI: 10.3389/fpls.2017.00722.
- COÊLHO, J.D. Produção de grãos – feijão, milho e soja. **Caderno Setorial ETENE**. Ano.4, n.96, 2019. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/documents/80223/5856103/96_Graos.pdf/895b3f70-3b19-db92-cdec-6eb54b9cd424>. Acesso em: 12 nov. 2020.
- COSTA, M.R. **Arcos-MG: contextos regionais e dinâmica interna**. Belo Horizonte: PUC-MG, 2013. 227f. Tese (Doutorado em Tratamento da Informação Espacial). Disponível em: <http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/TratInfEspacial_CostaMR_1.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2020.
- COSTA, T.A.; SILVA, E.S.; GOMES-DA-COSTA, S.M.; PINTRO, J.C. Influência da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares, da acidez do solo e de fontes de fósforo no crescimento do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.24, p.1583-1590. 2002. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v24i0.2425>.

- CRUZ, E.C.; SOBREIRA, E.C.; BARROS, D.L. Doses de fósforo e fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e produção do feijão-caupi em Roraima. **Boletim do Museu Integrado de Roraima (Online)**, v.11, n.1, p.21-28, 2017.
- DUETE, W.L.C. **Estudo da relação K/(Ca+Mg) e diagnose por subtração de P, S e micronutrientes em solos calcários da microrregião de Irecê – BA**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1995. 134p. Tese (Doutorado em Agronomia). Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-20191220-133645/publico/DueteWashingtonLuizCotrim.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2020.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042. 2011.
- FINK, J.R.; INDA, A.V.; TEICHERT, T.; BARRÓN, V. Óxidos de ferro e matéria orgânica na disponibilidade de fósforo no solo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.40, n.4, p.369-379, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-70542016404023016>.
- FOLEGATTI, M.V. **Manejo da irrigação**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2020. Disponível em: <http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Folegatti/leb1571/05_Evapotranspiracaomanejo.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2020.
- FOLLI-PEREIRA, M.S.; MEIRA-HADDAD, L.S.; BAZZOLLI, D.M.S.; KASUYA, M.C.M. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.6, p.1663-1679, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600001>.
- FONSECA, A.C.R. Geologia geral do município de Formiga. Formiga: Prefeitura Municipal de Formiga, 2021. Disponível em: <<https://www.formiga.mg.gov.br/arquivos/turismo/geologia.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2021.
- FRANCO, T.F. **Metais pesados em solos de áreas de produção intensiva de hortaliças em Petrópolis-RJ**. Seropédica, UFRRJ, 2019. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Disponível em: <http://cursos.ufrrj.br/posgraduacao/pgeaamb/files/2019/12/Tainara_Verso_Final.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- MARQUES, J.S. **Adsorção de fósforo em latossolo e argissolo misturado com carbono pirolisado**. Rio Branco: Universidade Federal do Acre, 2016. 42 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1093388/1/26657.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- MELLO, G.W. **Uvas sem sementes: cultivares BRS Morena, BRS Clara e BRS Linda**. Embrapa Uva e Vinho, versão eletrônica, dez. 2005. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/UvasSemSementes/adubacao.htm>>. Acesso em: 14 nov. 2020.
- MENDES, I.C.; REIS JUNIOR, F.B. **Microrganismos e disponibilidade de fósforo (P) nos solos: uma análise crítica**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrado, 2003. 26p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/568171/1/doc85.pdf>>. Acesso em: 11 mai. 2021.
- MORAIS, F.A.; GATIBONI, L.C.; ARAUJO, B.M.; CUNHA, G.O.M.; MORO, L.; LIMA, C.V. **Disponibilidade de fósforo no solo e alterações do pH com aplicação de fertilizantes fosfatados**. 2013. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, **Anais**. Florianópolis: SBCS, 2013. Disponível em: <<https://www.sbc.org.br/cbcs2013/anais/arquivos/83.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2020.
- MOREIRA, S.D.; FRANÇA, A.C.; GRAZZIOTTI, P.H.; LEAL, F.D.S.; SILVA, E.B. Arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus doses on coffee growth under a non-sterile soil. **Revista Caatinga**, v.32, n.1, p.72-80, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n108rc>.
- NASCENTE, A.S.; COBUCCI, T.; SOUSA, D.M.G.; LIMA, D.P. Produtividade do feijoeiro comum afetada por fontes de fósforo com ou sem cálcio. **Revista de Ciência Agrárias**, v.57, n.2, p.180-185, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2014.012>.
- NOVATERO. **Agricultura de raiz, cultura de resultados: primeiro inoculante micorrízico registrado no Brasil**. 2019. Disponível em: <<https://www.novatero.com.br/>>. Acesso em: 14 nov. 2020.
- OLIVEIRA, J.S.; MIRANDA, J.E.C.; CARNEIRO, J.C.; PÉRSIO, S.D.; MAGALHÃES, V.M.A. **Como medir a matéria seca (MS%) em forragem utilizando forno de micro-ondas**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2015. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/137606/1/COT-77-Teor-mat-seca.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2020.
- PHOSAGRO. **Fosfato monoamônico (MAP)**. 2020. Disponível em: <[https://www.phosagro.com/pt/production/fertilizer/8878/#:~:text=Fosfato%20monoam%C3%B4nico%20\(MAP\)%20NP%2012%3A52&text=Oferece%20r%C3%A1pida%20absor%C3%A7%C3%A3o%20pel as%20ra%C3%ADzes,ingest%C3%A3o%20de%20f%C3%B3sforo%20pelas%20plantas.](https://www.phosagro.com/pt/production/fertilizer/8878/#:~:text=Fosfato%20monoam%C3%B4nico%20(MAP)%20NP%2012%3A52&text=Oferece%20r%C3%A1pida%20absor%C3%A7%C3%A3o%20pel as%20ra%C3%ADzes,ingest%C3%A3o%20de%20f%C3%B3sforo%20pelas%20plantas.)>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- POSSE, S.C.P.; RIVA-SOUZA, E.M.; SILVA, G.M.S.; FASOLO, L.M.; SILVA, M.B.; ROCHA, M.A.M. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região central-brasileira: 2009-2011**. Vitória, ES: Incaper, 2010. 245 p. Disponível em: <<https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/975/1/Livreto-Feijao-AINFO.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2020.

- RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa: SBCS, 1999. 359p.
- RUSSOMANNO, O.M.R. **Avaliação de diversas gramíneas na produção de inóculo de *Glomus etunicatum* Becker e Gerdemann**. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, SP, 1996. Dissertação (Mestrado).
- SANTANA, A.G. **Produção de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares**. Recife: UFPE, 2017. 67f. Tese (Doutorado em Biologia de Fungos). Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/25638/1/TESE%20Angelo%20Souto%20de%20Santa%20na.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2020.
- SANTIAGO, A.D.; ROSETTO, R. **Adubação mineral**. EMBRAPA: AGEITEC, 2020. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_38_711200516717.html>. Acesso em: 14 nov. 2020.
- SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.38, n.2, p.576-586, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000200049>.
- SANTOS, H.G.; ZARONI, M.J. **Teor de óxidos de ferro**. EMBRAPA: AGEITEC, 2020. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_49_2212200611552.html>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- SANTOS, J.Z.L.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; CARNEIRO, L.F.; CURTI, N.; MORETTI, B.S. Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada em solos de cerrado com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 35, p.193-202, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n1/a18v35n1.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2020.
- SERRA, A.P.; MARCHETTI, M.E.; DUPAS, E.; CARDUCCI, C.E.; SILVA, E.F.; PINHEIRO, E.R. Phosphorus in Forage Production. In: EDVAN, R. L.; BEZERRA, L. R. **New Perspectives in Forage Crops**, IntechOpen, 2017. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/new-perspectives-in-forage-crops/phosphorus-in-forage-production>>. Acesso em: 14 nov. 2020. DOI: 10.5772/intechopen.70202.
- SILVA, D.J. **Análise de plantas**: amostragem e interpretação. Petrolina: EMBRAPA Semi-Árido, 1999. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/134156/1/SDC146.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- SILVA, J.R.T. **Elementos essenciais**. Rio Branco: Universidade Federal do Acre, 2005. Disponível em: <<http://www.ufac.br/site/ufac/prograd/educacao-tutorial/grupos-pet/pet-agronomia-1/apoio-didatico/quimica-e-ferlidade-do-solo/unidade-3-elementos-essenciais>>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- SOUZA, M.S.M.; BEZERRA, F.M.L.; TEÓFILO, E.M. Coeficientes de cultura do feijão-caupi na região litorânea do Ceará. **Irriga**, v.10, n.3, p.241-248, 2005. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2005v10n3p241-248>.
- SOUZA, R.F.; FAQUIN, V.; ANDRADE, A. T.; TORRES, P. R. F. Formas de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1535-1544, 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n6/30.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- VILLAR, M.L.P. **Manual de interpretação de análise de plantas e solos e recomendação de adubação**. Cuiabá: EMPAER-MT, 2007. 182 p.
- VIVIANI, C.A.; MARCHETTI, M.E.; VITORINO, A.C.T.; NOVELINO, O.; GONÇALVES, M.C. Disponibilidade de fósforo em dois latossolos argilosos e seu acúmulo em plantas de soja, em função do aumento do pH. **Ciência e Agrotecnologia**, v.34, n.1, p.61-67, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542010000100007>.
- WEATHER SPARK. **Condições meteorológicas médias de Arcos**. 2020. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/30432/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Arcos-Brasil-durante-o-ano#Sections-BestTime>>. Acesso em: 14 nov. 2020.
- ZUCARELI, C.; PRANDO, A.M.; RAMOS JÚNIOR, E.U.; NAKAGAWA, J. Fósforo na produtividade e qualidade de sementes de feijão Carioca Precoce cultivado no período das águas. **Revista Ciência Agrônômica**, v.42, n.1, p.32-38, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000100005>.