

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

KAMILA AZEVEDO CASSIANO

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES MITIGANDO O ESTRESSE DE
FÓSFORO NA PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO COMUM**

Monte Carmelo

2024

KAMILA AZEVEDO CASSIANO

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES MITIGANDO O ESTRESSE DE
FÓSFORO NA PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO COMUM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Orientador (a): Douglas José Marques

Monte Carmelo

2024

KAMILA AZEVEDO CASSIANO

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES MITIGANDO O ESTRESSE DE
FÓSFORO NA PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO COMUM**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Agronomia da
Universidade Federal de Uberlândia,
Campus Monte Carmelo, como requisito
necessário para a obtenção do grau de
Engenheira Agrônoma.

Monte Carmelo, 16 Abril de 2024

Banca Examinadora

Prof. Dr. Douglas José Marques
Orientador

Prof. ^a Dra. Adriana Tiemi Nakamura
Membro da Banca

Prof. ^a Dra. Cinara Xavier de Almeida
Membro da Banca

Agradecimento

Agradeço primeiramente ao Senhor Deus por me trazer até aqui e fazer-me mais forte diante de todos os obstáculos e desafios.

Aos meus filhos Antônio Augusto e Sophia Cassiano por serem meu suporte e a razão de toda luta até aqui.

Ao meu companheiro de vida Cleomir Júnior, que soube o quanto essa conquista é importante para mim e sempre me apoiou e incentivou a não desistir.

Aos meus pais, Humberto e Eliane; e às minhas irmãs Amanda e Mariana, pelos conselhos, incentivos, apoio e pela confiança concedidos.

À Universidade Federal de Uberlândia, campus Monte Carmelo, e, em especial, ao curso de Agronomia, pela oportunidade de capacitação profissional.

Ao meu orientador Professor Douglas José Marques, pelo empenho dedicado na elaboração e orientação deste trabalho.

A todos os professores do curso de Agronomia campus Monte Carmelo, pelos conhecimentos compartilhados.

Aos colegas e amigos que a graduação me proporcionou, pelo apoio e companheirismo e, em especial, a Lara Fernandes pela parceria durante esses anos e na execução deste trabalho; Enfim, a todos que colaboraram direta ou indiretamente para essa conquista.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO.....	3
1 INTRODUÇÃO.....	4
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	8
3 MATERIAL E MÉTODO.....	11
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5 CONCLUSÃO.....	23
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	24

RESUMO

A adubação fosfatada em solo tropical é um dos desafios no manejo nutricional no feijoeiro. Esse desafio está relacionado a variação no preço pago pelo fertilizante fosfatado, que está atrelado a flutuação no preço de venda feijão. Dessa forma, é importante criar alternativa para melhorar a eficiência no uso do fósforo. A hipótese da pesquisa é que a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares promove absorção de fósforo no feijoeiro. O objetivo dessa proposta foi investigar a amenização do P-estresse na presença de fungos micorrízicos arbusculares e seus efeitos sobre a produtividade do feijoeiro. O experimento foi implantado em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x2 com quatro repetições: o primeiro fator P-estresse (-P= 150 mg kg P e +P= 300 mg kg P) x segundo fator fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (+FMA= presença e -FMA= ausência). Durante a pesquisa foram avaliados o teor de pigmentos, florescimento e produtividade. Conclui-se com a pesquisa que independente do P-estresse e P-controle a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares aumentou a massa seca da folha, ramos, teores de P no solo e planta, flores, vagens e produtividade do feijão.

Palavra-chave: Segurança alimentar; fertilizantes e arbusculares

ABSTRACT

Phosphate fertilization in tropical soil is one of the challenges in the nutritional management of beans. This challenge is related to the variation in the price paid for phosphate fertilizer, which is linked to fluctuations in the selling price of beans. Therefore, it is important to create an alternative to improve efficiency in the use of phosphorus. The research hypothesis is that the inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi promotes phosphorus absorption in the bean plant. The objective of this proposal is to investigate the mitigation of P-stress in the presence of AMF and its effects on bean productivity. The experiment was implemented in a randomized block design, in a 2x2 factorial scheme with four replications: the first-factor P-stress (-P= 150 mg kg P and +P= 300 mg kg P) x second-factor arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) (+AMF = presence and -AMF = absence). During the research, pigment content, flowering, and productivity were evaluated. It is concluded from the research that regardless of P-stress and P-control, inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increased the dry mass of leaves, branches, and P content in the soil and plant, flowers, pods, and bean productivity.

Keywords: Food security; fertilizers and arbuscular.

1 INTRODUÇÃO

O fósforo (P) desempenha um papel vital no crescimento das plantas é um componente essencial dos fertilizantes, junto com o nitrogênio e o potássio. Segundo Veloso et al. (2013), a deficiência desse nutriente nos solos brasileiros, especialmente para o feijão, é a principal limitação da fertilidade do solo. Uma das alternativas para mitigar o P-estresse é a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) podendo melhorar o manejo da nutrição fosfatada.

Os FMA são conhecidos por sua capacidade de facilitar a absorção de nutrientes, como por exemplo P, influenciar no crescimento e na reprodução das plantas. Estudos recentes de Moreira et al. (2022) destacam a importância desses fungos na otimização da absorção de fósforo. O manejo da adubação fosfatada desempenha um papel crucial na produtividade do feijoeiro, sendo essencial considerar a textura do solo, que impacta a retenção e disponibilidade de nutrientes, incluindo o fósforo.

Solos argilosos apresentam maior capacidade de retenção, mas podem ter reduzida disponibilidade de P devido à fixação do íon fosfato. Em tais casos, é recomendado o uso de fontes solúveis em água ou aplicação de P de forma imediata. Além da textura, fatores como pH do solo, teor de matéria orgânica e análise específica são relevantes no manejo da adubação fosfatada. (“Girassol no Brasil. - Portal Embrapa”, [s.d.]

Os FMA desempenham papel crucial na absorção de P, formando arbúsculos nas raízes, aumentando a superfície de absorção e solubilizando o nutriente (JEFFRIES et al., 2003). Essa simbiose mutualística entre FMA e plantas, onde ambos se beneficiam, é destacada por Moreira e Siqueira (2006).

A hipótese da pesquisa é que a inoculação de fungos micorrízicos arbusculares melhora a absorção de fósforo no feijoeiro.

Sendo assim o objetivo da proposta foi investigar a amenização do P-estresse na presença FMA e seus efeitos sobre a produtividade do feijoeiro.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Importância econômica do feijoeiro

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) pertence à família Fabaceae, está entre as 55 espécies pertencentes ao gênero *Phaseolus* L. O feijoeiro é considerado uma cultura de extrema importância econômica (ZUCARELI et al., 2011), além de ser uma das fontes de proteína acessível, à população de baixa renda (BAIDA et al., 2011)

O Brasil atualmente é o um dos maiores produtores de feijão do mundo. Segundo o balanço de oferta e demanda da Conab, na safra 2022/2023, consumiu 2,6 milhões de toneladas de feijão e produziu 3,0 milhões de toneladas (2,6% a mais comparada a última safra). Os estados do Paraná, Minas Gerais e Bahia são os principais produtores correspondendo a quase 50% da produção nacional (CONAB, 2023).

A cultura do feijão é uma das mais importantes para a alimentação da população do Brasil presente na alimentação diária, mas ainda é explorada na grande maioria das vezes por pequenos e médios produtores. Diversas formas de feijão são cultivadas no mundo inteiro, mas poucos souberam tirar tanto proveito desse alimento (“O feijão nosso de todo dia - Portal Embrapa”, [s.d.]).

3.2 Estresse de fósforo em plantas

O P desempenha um importante papel nas plantas, e em baixos teores de P no solo, a planta tem seu crescimento prejudicado (KIMANI: DERERA, 2009). Em relação ao feijoeiro comum, este nutriente tem proporcionado as maiores e mais frequentes respostas no desenvolvimento dessa espécie de modo que sua baixa disponibilidade no solo promove um menor rendimento da cultura. Por outro lado, o P consiste naquele nutriente que frequentemente mais limita a produção das culturas nos solos da região de cerrado (CARVALHO et al., 1995).

As plantas desenvolveram mecanismos sofisticados para otimizar a absorção de P em solos deficientes. Isso inclui a liberação de ácidos orgânicos e fosfatases alcalinas que ajudam a solubilizar o fósforo no solo, tornando-o assimilável para as raízes (RAGHOTHAMA, 1999). Além disso, as plantas podem formar associações simbióticas com fungos micorrízicos, que auxiliam na absorção eficiente de fósforo em troca de compostos orgânicos (Smith & Smith, 2011).

O estresse de P desencadeia uma série de respostas bioquímicas e moleculares nas plantas. Isso inclui a ativação de genes específicos relacionados ao transporte de fosfato e à remobilização interna de P (PUGA et al., 2017). Além disso, as plantas podem aumentar a produção de enzimas antioxidantes para mitigar o estresse oxidativo causado pela deficiência de fósforo (HU et al., 2012).

Outro efeito significativo se dá no crescimento e desenvolvimento das plantas, plantas deficientes em P geralmente exibem crescimento reduzido das raízes, atraso na floração e maturação, além de menor produção de sementes (NAGARAJAN et al., 2016). Em casos extremos, a deficiência severa de fósforo pode levar à clorose e necrose das folhas.

Diversas estratégias têm sido exploradas para mitigar o estresse de fósforo em plantas. Isso inclui a seleção ou engenharia de plantas com maior eficiência no uso de fósforo, bem como o desenvolvimento de fertilizantes e técnicas agronômicas que melhoram a disponibilidade de fósforo no solo (LYNCH, 2011).

3. 3 Textura do solo e disponibilidade de fósforo

O aprofundados de estudos sobre a relação complexa entre a textura do solo e a disponibilidade de P para as plantas é importante para mitigar estresses do elemento. Estudos recentes sobre como diferentes texturas de solo afetam a absorção de P pelas plantas e as estratégias para otimizar essa absorção, fornecendo uma base essencial para a agricultura sustentável (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

Em solos argilosos, onde a fixação de P é proeminente, a adição de micorrizas tem sido estudada como uma estratégia eficaz para melhorar a disponibilidade de P (Jemo et al., 2020). Em contraste, solos arenosos apresentam maior mobilidade de P, mas a absorção eficiente pelas plantas ainda é um desafio, sendo necessário um manejo cuidadoso de fertilizantes (CICHY et al., 2019).

Pesquisas identificaram mudanças nas formas químicas de P em diferentes texturas de solo. Solos argilosos tendem a ter uma maior quantidade de P ligado a minerais, tornando ele menos acessível às plantas, enquanto solos arenosos frequentemente apresentam P na forma de fosfatos solúveis, aumentando a disponibilidade para as plantas (LIU et al., 2019).

Estudos têm investigado o uso de biofertilizantes e microrganismos solubilizadores de fosfato para melhorar a disponibilidade de P em solos diversos (KUMAR et al., 2021). Além disso, técnicas de manejo integrado que combinam a aplicação de fertilizantes com práticas de conservação do solo têm mostrado promissoras para otimizar a absorção de P pelas plantas (SISTANI et al., 2022).

Apesar dos avanços, ainda há desafios a serem superados, incluindo a compreensão das interações complexas entre microrganismos do solo e as características específicas das texturas do solo (ZHU et al., 2020). Pesquisas futuras devem se concentrar em estratégias específicas

para solos de diferentes texturas, considerando a variabilidade do microbioma do solo e as mudanças climáticas, para promover práticas agrícolas mais sustentáveis.

3.4 Uso dos fungos micorrízicos arbusculares

A deficiência de P é a principal limitação da fertilidade do solo para o cultivo do feijão nos solos brasileiros, onde os teores no solo são baixos de P, aliado alta capacidade de fixação desse nutriente segundo Veloso et al. (2013). Uma das opções é a utilização dos FMA para melhorar a capacidade de absorção de nutrientes, em especial de P, e a tolerância das plantas a diversos tipos de estresses, influenciando seu crescimento e reprodução (MOREIRA & SIQUEIRA 2006; JEFFRIES et al. 2003).

Os FMA, pertencentes à classe Glomeromycetes, estabelecem uma simbiose mutualística com a maioria das plantas terrestres, incluindo culturas importantes, e desempenham um papel fundamental na nutrição das plantas e na ecologia dos ecossistemas (SMITH & READ, 2010). Esses microrganismos, frequentemente referidos como “micorrizas arbusculares”, formam estruturas especializadas chamadas de micorrizas, que são essenciais para melhorar a absorção de nutrientes pelas plantas (BONFANTE & GENRE, 2010).

O processo de estabelecimento da micorriza arbuscular envolve uma série de interações entre os FMA e as raízes das plantas. As hifas dos FMA penetram no córtex radicular, estabelecendo uma conexão física entre o fungo e a planta (PARNISKE, 2008). Em troca de carbono fornecido pelas plantas, os FMA auxiliam na absorção de nutrientes, especialmente fósforo, do solo, que podem estar em formas pouco disponíveis para as plantas (SMITH & SMITH, 2011).

Um dos benefícios mais notáveis da simbiose micorrízica é o aumento na absorção de fósforo pelas plantas. Os FMA exploram uma área maior do solo do que as raízes das plantas, o que lhes permite acessar fontes de fósforo que de outra forma seriam inacessíveis. Além disso, os FMA exsudam enzimas que solubilizam o fósforo, tornando-o disponível para as plantas (BÜCKING & SHACHAR-HIIL, 2005).

A presença de micorrizas arbusculares geralmente resulta em plantas mais saudáveis e produtivas. Além do fósforo, os FMA também podem melhorar a absorção de outros nutrientes, como nitrogênio, potássio e micronutrientes. A simbiose micorrízica também pode aumentar a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos (SMITH & SMITH, 2011).

Os FMA desempenham um papel significativo na ecologia dos ecossistemas. Eles contribuem para a ciclagem de nutrientes e a formação de solos férteis. Além disso, a simbiose

micorrízica tem implicações na competição por nutrientes entre as plantas, afetando a estrutura da comunidade vegetal (VAN DEN HEIJDEN et al., 1998).

Dessa forma, os FMA têm sido estudados como uma ferramenta valiosa na promoção da agricultura sustentável. A utilização de micorrizas em sistemas agrícolas pode reduzir a necessidade de fertilizantes fosfatados, reduzindo o impacto ambiental e os custos de produção (GOSLING et al., 2006).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local

O experimento foi conduzido na casa de vegetação localizada no Campo Demonstrativo e Experimental (CADEX), na Universidade Federal de Uberlândia, campus Monte Carmelo. Sendo a estrutura da estufa feita de aço galvanizado, coberta por uma camada de plástico filme de polietileno de baixa densidade, possuindo 21 metros de comprimento, 7 metros de largura e 5,5 metros de altura, e está direcionada para a orientação Noroeste-Sudoeste.

O experimento foi implantado sob delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x2, com quatro repetições: o primeiro fator P-estresse (-P: 150 mg kg P e +P: 300 mg kg P) x segundo fator fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (+FMA: presença e -FMA: ausência).

Foi utilizado na pesquisa a cultivar do feijão carioca IAC, com o seu ciclo médio de 90 dias, sendo recomendada para o cultivo na época das águas, da seca e de inverno.

As plantas foram conduzidas em vasos de 12 dm³, padronizando-se uma planta por vaso.

Os FMA utilizados foram fornecidos da Coleção Internacional de Cultura de Glomeromycota (CICG) da Universidade Regional de Blumenau (FURB). Disponibilizados em um material de solo com raízes, sendo um mix de 6 espécies de FMA (Tabela 1).

Tabela 1. Espécies, códigos e número de esporos de cada espécie de FMA do material de solo utilizado para inoculação.

Espécie e código de FMA	Número de esporos (g⁻¹ de solo)
<i>Gigaspora álvida</i> PRN200A	183
<i>Dentiscutata heterogama</i> MGR610A	227
<i>Rhizophagus clarus</i> SCT720A	22
<i>Rhizophagus intraradices</i> SCT736J	152
<i>Acaulospora mellea</i> SCT063B	14
<i>Acaulospora longula</i> PNB101A	144
Total	742 esporos g⁻¹ de solo

O solo foi coletado na mata nativa, Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) com textura argilosa (18° 43'48,3" S, 47° 30'16,6" W), em amostras de profundidade de 0 a 20 cm.

Para a correção da acidez do solo, seguiu-se a recomendação de Ribeiro et al. (1999), para neutralizar o Al³⁺ e aumentar os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺. E as recomendações de adubação para macronutriente e micronutriente foram baseadas nas recomendações de Novais et al. (1991) adaptadas por Marques et al. (2021).

4.2 Avaliação nutricional P

Foram coletadas amostras de solo, visando avaliar a disponibilidade de P para a caracterização química do solo. A análise da folha, foi feita coletando-se folhas trifoliadas (sem pecíolo), a partir do ápice, na haste principal conforme, metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

4.3 Avaliação Agronômica

4.3.1 Massa seca

As plantas foram coletadas para a determinação da massa seca sendo separadas em raízes e parte aérea (caule e folhas). Utilizou-se a estufa com ventilação forçada a 60°C, até atingirem massa constante. A parte aérea foi processada e também a raiz, e ambas pesadas para obter o valor da sua massa seca.

4.3.2 Desenvolvimento e produção

As avaliações realizadas no experimento: número de flores; o número de vagens por planta; número de grãos por vagem; produtividade e peso de 100 sementes.

4.4 Índice SPAD na folha

Foi utilizado o clorofilômetro SPAD-502, um dispositivo portátil, quantifica a intensidade do verde das folhas ao medir as transmissões de luz em 650 nm (absorção de luz pela clorofila) e 940 nm (sem absorção) (FERREIRA et al., 2006). Esses valores são usados para calcular o índice SPAD, geralmente altamente correlacionado com o teor de clorofila da folha, podendo indicar deficiência de N e avaliar a necessidade de aplicação adicional de nitrogênio (GIL et al., 2002).

4.5 Análise dos dados

Os resultados foram submetidos à análise de variância, e se houve diferença significativa, foram utilizados os testes de médias mais apropriados para cada variável (Scott-Knott ou teste-t), conforme proposto por Steel et al. (2006). Adicionalmente, os desvios padrão foram calculados, e, quando apropriado, foram aplicados os estimadores de regressão e correlação (Pearson ou Spearman) usando o software SAS (SAS INSTITUTE, 1996).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a massa seca das folhas (Figura 1) o P-controle aumentou em 30% a produção na presença do +FMA. Em estudo conduzido por Hippler et al. (2011), foi observado no cultivo de amendoim, houve um aumento na matéria seca da parte aérea em resposta à inoculação de FMA e à adição de doses de fósforo. Uma alternativa para a melhoria da nutrição fosfatada no feijão-caupi, é utilização de FMA, pois estimulam o desenvolvimento das plantas por aumentar a área de absorção de água e P (NONATO et al., 2020). Além disso, o fungo ocasiona uma indução de tolerância ou resistência das plantas a metais pesados, contribuindo também para reduzir incidência de doenças em plantas de interesse econômico (MARTINS et al., 2017). Tajini (2012), estudando o efeito da inoculação combinada de *Rhizophagus intraradices* (sin. *Glomus intraradices*) e *Rhizobium* em genótipos de *Phaseolus vulgaris* L., observaram que a

inoculação com FMA e a bactéria induziu um aumento significativo na massa seca da parte aérea comparada ao de plantas controle. Lima (2011) verificaram que a inoculação dupla com *Claroideoglomus etunicatum* (sin. *Glomus etunicatum*) e *Bradyrhizobium* sp. proporcionou maior relação parte aérea/raiz do que plantas não inoculadas com e sem adubação, e atribuíram esse resultado à contribuição da extensão do micélio na captura dos nutrientes necessários às plantas e na sua transferência para a parte aérea.

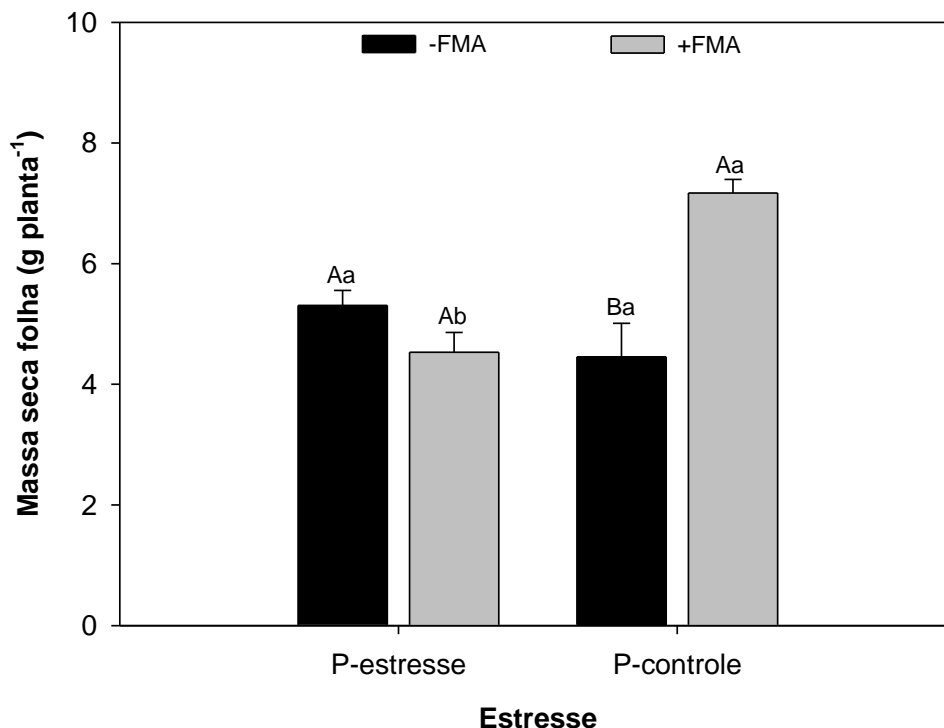


Figura 1. Massa seca da folha em função do P-estresse e presença e ausência da inoculação dos fungos micorrizicos arbusculares na planta de feijoeiro comum. Colunas com letras maiúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre estresse P (P-estresse e P-controle), e letras minúsculas (mesma cor) comparam a inoculação com os fungos micorrízicos arbusculares, indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ($P < 05$). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão.

Para o índice de área foliar (Figura 2) não houve diferença significativa pelo teste de scott-Knot a ($P < 05$). Após uma análise dos dados, concluímos que os tratamentos testados não apresentaram impacto discernível no desenvolvimento da parte aérea do feijão. Esses resultados sugerem que, pelo menos para a parte aérea, os tratamentos avaliados não influenciaram substancialmente o crescimento das plantas de feijão. Segundo Silva (2012), o teor de clorofila

correlaciona-se com a concentração de N na planta e, também, com a produtividade das culturas.

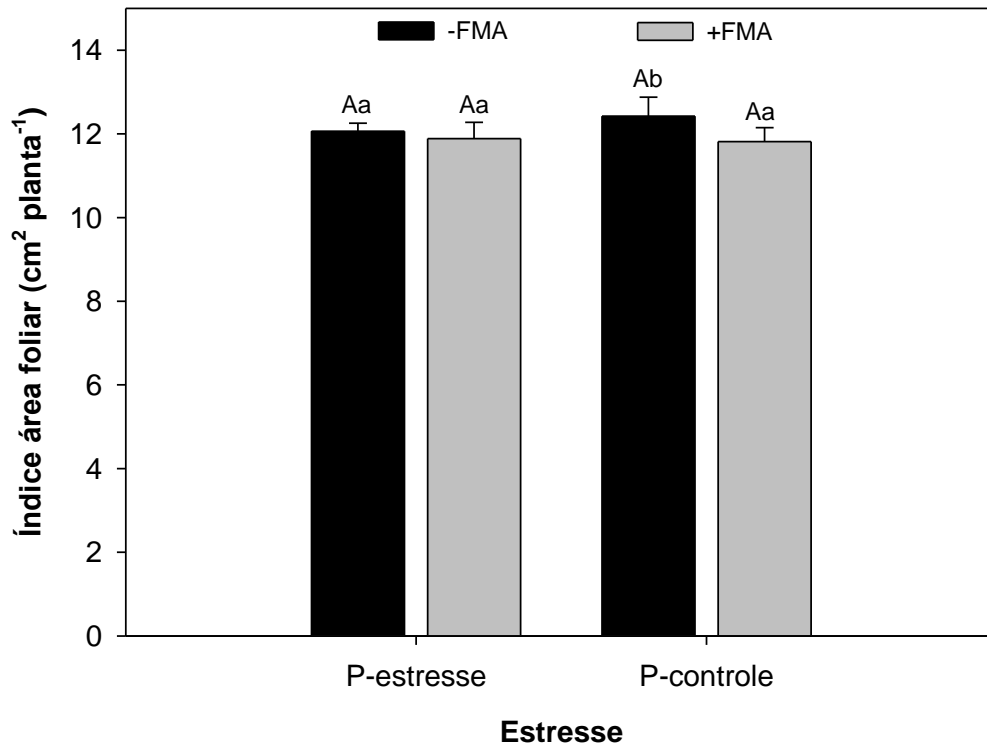


Figura 2. Índice de área foliar na planta em função do P-estresse e presença e ausência da inoculação dos fungos micorrizicos arbusculares na planta de feijoeiro comum. Colunas com letras maiúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre estresse P (P-estresse e P-controle), e letras minúsculas (mesma cor) comparam a inoculação com os fungos micorrizicos arbusculares, indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ($P < 05$). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão.

Para a produção de ramos primários (Figura 3A) no P-controle na presença +FMA aumentou em 15%. Para os ramos secundários 10% maior para P-estresse na ausência do -FMA (Figura 3B). Já para os ramos terciários tanto para P-estresse e P-controle a maior produção foram para +FMA. A influência mais marcante dos fungos micorrízicos arbusculares observou-se nos ramos primários, dependendo dos diferentes níveis de controle de fósforo (P) na planta de feijão comum. (MARCIO ZILIO et al., 2011) esse impacto é crucial, já que os ramos primários são a base para o crescimento dos ramos subsequentes, o que, por sua vez, afeta positivamente a produtividade da planta. Se o ramo primário for afetado, os ramos secundários também serão, pois seu desenvolvimento é diretamente ligado ao estado do ramo primário.

Além disso, um aumento no número de nós reprodutivos no feijão significa mais pontos para o desenvolvimento de flores na planta.

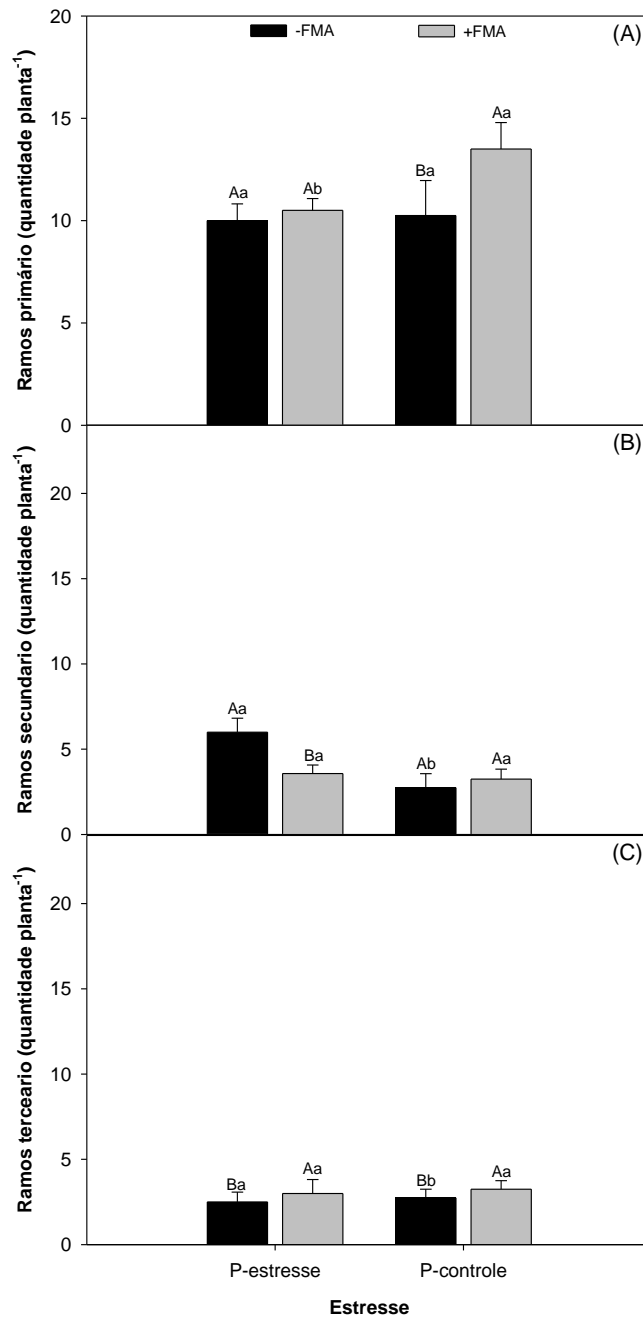


Figura 3. Ramo primário (A), secundário (B) e terciário (C) em função do P-estresse e presença e ausência da inoculação dos fungos micorrizicos arbusculares na planta de feijoeiro comum. Colunas com letras maiúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre estresse P (P-estresse e P-controle), e letras minúsculas (mesma cor) comparam a inoculação com os fungos micorrizicos arbusculares, indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ($P < 0.05$). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão.

Em relação a avaliação do índice SPAD (Figura 4), os tratamentos que receberam a inoculação de fungos micorrizas tiveram um maior incremento no teor de clorofila nas folhas comparada aos tratamentos que não foram utilizados os fungos. E comparando os tratamentos com P-estresse e P-controle observamos que os tratamentos com o P-controle obtiveram um maior desempenho no teor de clorofila pelo teste de scott-Knot (<05).

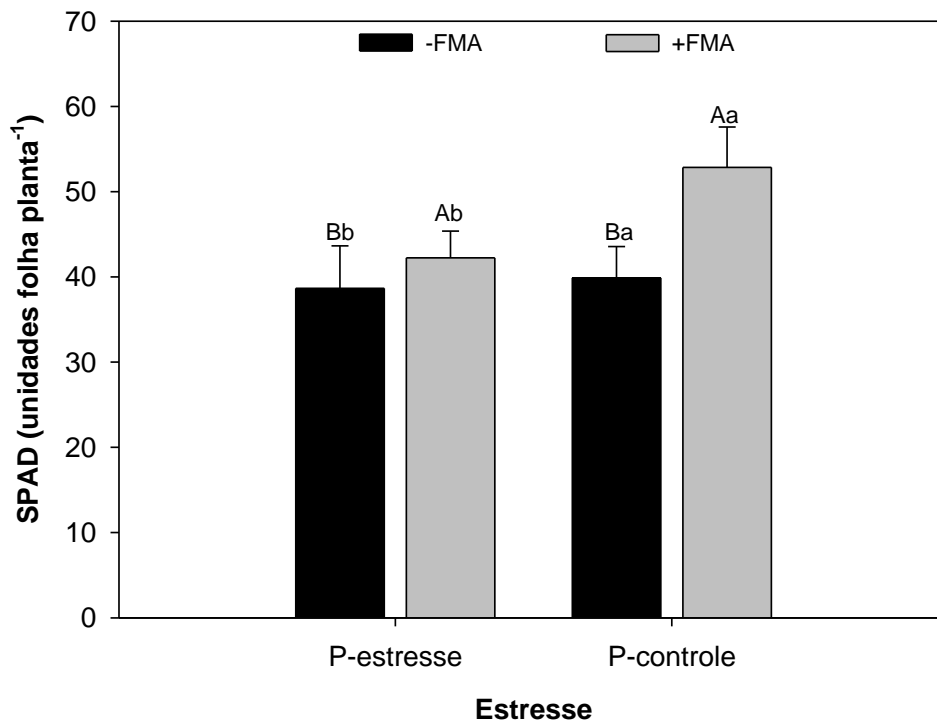


Figura 4. Índice SPAD na folha da planta em função do P-estresse e presença e ausência da inoculação dos fungos micorrizicos arbusculares na planta de feijoeiro comum. Colunas com letras maiúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre estresse P (P-estresse e P-controle), e letras minúsculas (mesma cor) comparam a inoculação com os fungos micorrizicos arbusculares, indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ($P < 05$). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão

Para o teor de P no solo (Figura 5A), observamos que para os vasos que estava com o P-controle, tanto os com P-estresse, os que mais conseguiram um maior acúmulo de P no solo foi o tratamento que receberam +FMA tendo um acúmulo de P bastante significativo. O teor de P na folha (Figura B), apresenta o mesmo resultado e seguindo os mesmos parâmetros do teor de P no solo, sendo assim os tratamentos com fungos micorrizas apresentam um maior incremento no maior acúmulo de P. Os resultados mostraram uma correlação positiva

significativa entre o teor de fósforo no solo e o teor de clorofila nas folhas das plantas de milho, indicando que o fósforo disponível pode influenciar diretamente a síntese de clorofila e, conseqüentemente, o desenvolvimento fotossintético das plantas (Silva et al., 2019). Em um estudo de campo em diferentes áreas agrícolas, observou-se que a aplicação de fertilizantes fosfatados resultou em um aumento significativo no teor de fósforo no solo, o que por sua vez se correlacionou positivamente com o teor de clorofila nas folhas das culturas estudadas (GONZALEZ et al., 2017). A influência da micorrização no desenvolvimento das plantas é principalmente de natureza nutricional. Esse efeito é facilitado pela expansão das hifas e do micélio externo, que amplia a área do solo explorada até mesmo em regiões inacessíveis às raízes, resultando em uma maior absorção de nutrientes, com destaque para o fósforo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

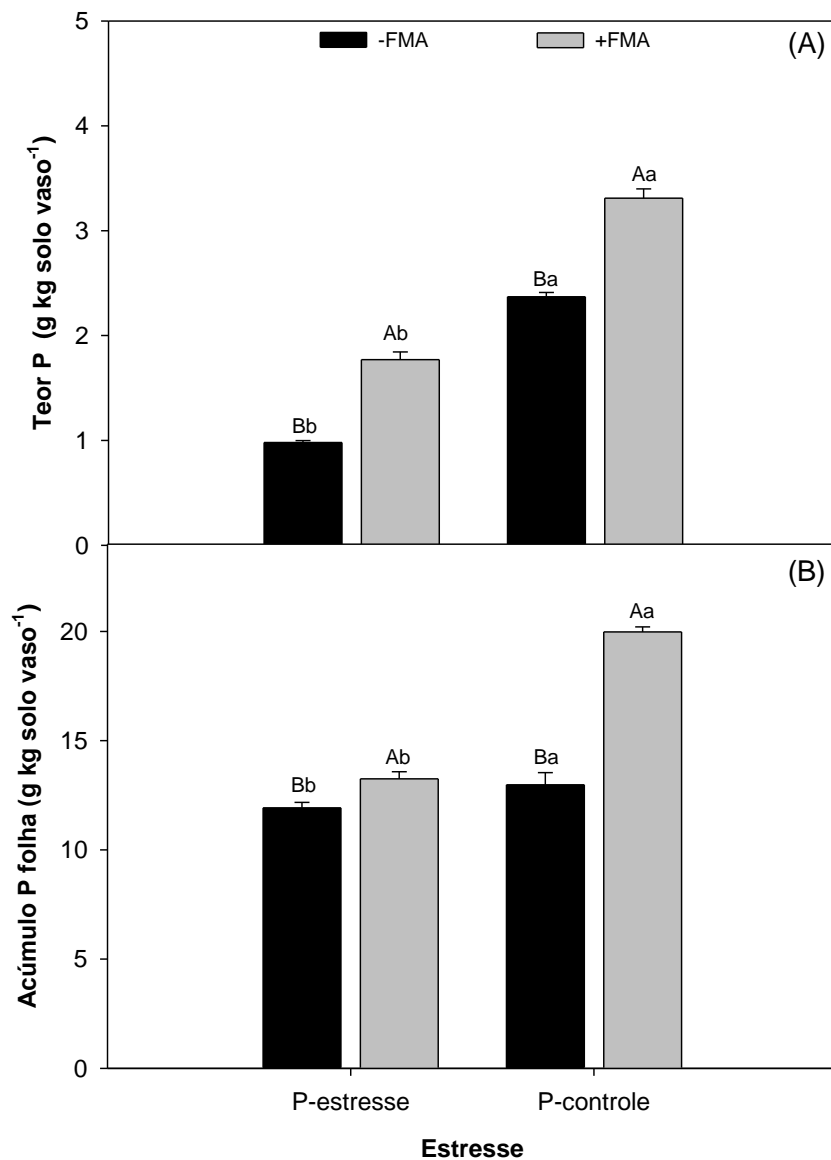


Figura 5. Teor de P no solo (A) e acúmulo de P na planta (B) na planta em função do P-estresse e presença e ausência da inoculação dos fungos micorrizicos arbusculares na planta de feijoeiro comum. Colunas com letras maiúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre estresse P (P-estresse e P-controle), e letras minúsculas (mesma cor) comparam a inoculação com os fungos micorrizicos arbusculares, indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ($P < 05$). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão.

Para o número de flores (Figura 6A) os tratamentos na +FMA independentemente do nível de P, induziu a maior produção de flores no feijão. Sabemos que as flores do feijoeiro são de extrema importância, pois são elas que darão origem as vagens consequentemente aos grãos, então quanto maior número de flores é previsível uma maior produtividade. A quantidade de vagens por unidade de área é influenciada pela densidade populacional das plantas, pela capacidade individual de produção de flores de cada planta e pela taxa de sucesso na conversão das flores em vagens maduras Ramos Junior et al. (2005). Na produção de vagem (Figura 6B) observamos que o tratamento com P-controle teve uma maior produção de vagens comparado com os tratamentos que apresentaram P-estresse na presença de +FMA teve também uma maior produção de vagem. Para a produtividade (Figura 6C) na presença +FMA houve maior produtividade de grãos de feijão por planta. Observando também que em relação ao P-controle com +FMA foram mais produtivos quando comparado com P-estresse na +FMA. A com inoculação de fungos micorrizicos arbusculares em combinação com a aplicação de fósforo no solo resultou em um aumento significativo na produtividade do feijão. A simbiose entre as plantas de feijão e os FMA facilitou a absorção de fósforo, promovendo um crescimento mais vigoroso e uma maior produção de grãos (SANTOS et al., 2018). Em um estudo de campo realizado em áreas com diferentes níveis de disponibilidade de fósforo no solo, observou-se uma correlação positiva entre a colonização de raízes de feijão por fungos micorrizicos arbusculares e a produtividade das plantas. As áreas com baixa disponibilidade de fósforo e alta colonização por FMA apresentaram os maiores rendimentos de feijão, destacando o papel benéfico desses fungos na nutrição das plantas (SILVA et al., 2020). Análises de campo e de laboratório revelaram que a associação entre feijão e fungos micorrizicos arbusculares melhorou a eficiência da absorção de fósforo pelas plantas, resultando em uma significativa melhoria na produtividade agrícola. Esses resultados sugerem que a utilização de FMA pode ser uma estratégia promissora para aumentar a produtividade do feijão em solos com baixa disponibilidade de fósforo (ROCHA et al., 2019). Nos solos com diferentes níveis de fósforo, verificou-se que a inoculação de fungos micorrizicos arbusculares aumentou significativamente

a absorção de fósforo pelas plantas de feijão, resultando em maior produtividade de grãos. Esses resultados destacam a importância da simbiose entre o feijão e os FMA na otimização da utilização de fósforo no solo (MARTINS et al., 2017).

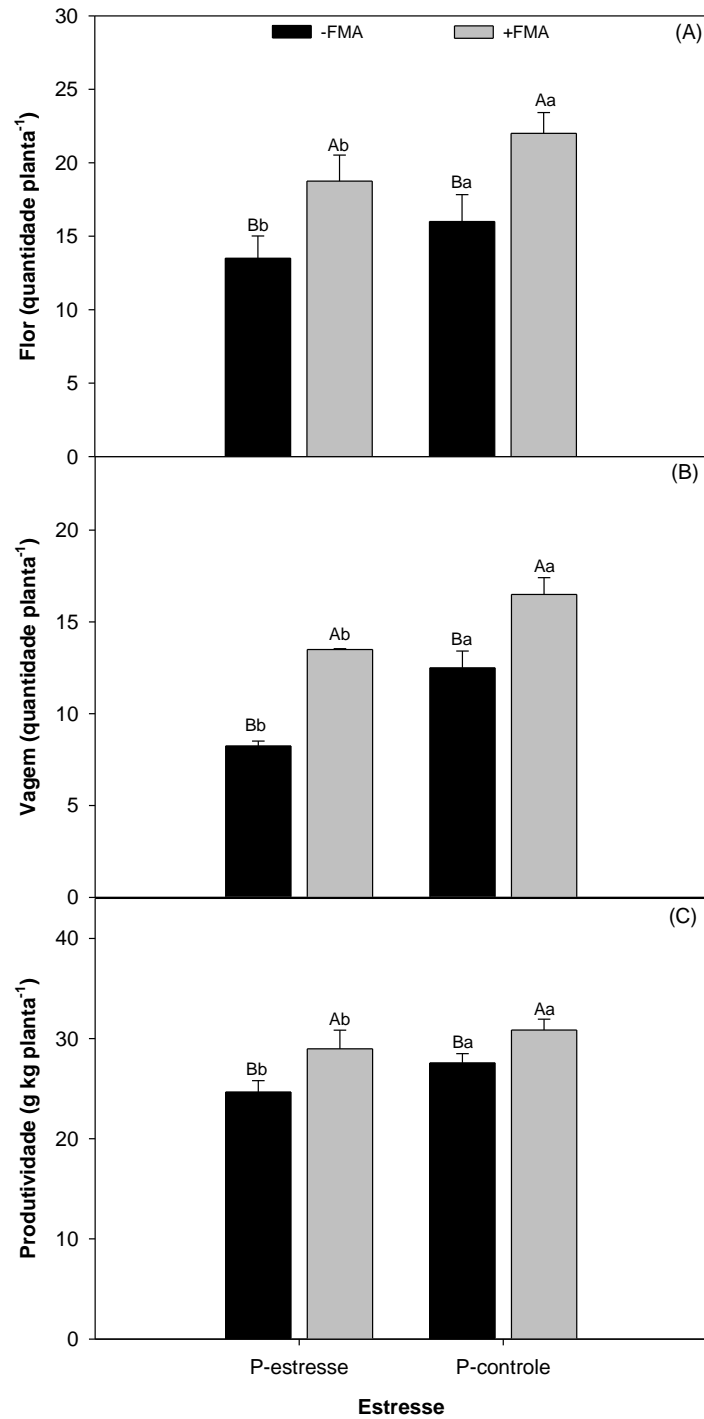


Figura 6. Flores (A), vagem (B) e produtividade (C) em função do P-estresse e presença e ausência da inoculação dos fungos micorrizicos arbusculares na planta de feijoeiro comum. Colunas com letras maiúsculas diferentes (cores diferentes) comparam entre estresse P (P-

estresse e P-controle), e letras minúsculas (mesma cor) comparam a inoculação com os fungos micorrizicos arbusculares, indicando diferenças significativas em relação ao teste de Scott-Knott ($P < 05$). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se com a pesquisa que independente do P-estresse e P-controle a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares aumentou a massa seca da folha, ramos, teores de P no solo e planta, flores, vagens e produtividade do feijão.

6 REFERÊNCIAS

BAIDA, F. C.; FIGUEIREDO, J. L.; SILVA, M. N.; ALMEIDA, R. P. **O consumo de proteínas em populações de baixa renda.** Revista de Nutrição, v. 24, n. 3, p. 321-330, 2011.

BONFANTE, P.; GENRE, A. Mechanisms under lying beneficial plant-fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. **Nature Communications**, v. 1, n.1, p. 1-11, 2010.

BÜCKING, H.; SHACHAR-HILL, Y. Phosphate uptake, transport and transfer by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* is stimulated by increased carbohydrate availability. **New Phytologist**, v. 165, n. 3, p. 899-912, 2005.

CARVALHO, M. A. C.; MOREIRA, A.; MOURA FILHO, G.; CARNEIRO, M. A. C.; OLIVEIRA, F. L. A importância do fósforo no cultivo do feijoeiro comum. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, n. 3, p. 295-302, 1995.

CICHY, K. A., WIESINGER, J. A.; MAMO, M. Phosphorus and potassium management for organic soybean production on a sandy soil. **Agronomy Journal**, v.111, n.1, p. 292-302, 2019.

FÖHSE, D.; CLAASSEN, N.; JUNGK, A. Phosphorus efficiency of plants. I. External and internal P requirement and P uptake efficiency of different plant species. **Plant and Soil**, v.110, p. 101-109, 1988

GIL, P. R.; SANTOS, M. N.; OLIVEIRA, J. P. Uso do índice SPAD na avaliação da clorofila foliar e na determinação da necessidade de nitrogênio. **Revista de Agricultura**, v. 77, n. 4, p. 211-218, 2002.

GOSLING, P., HODGE, A., GOODLASS, G.; Bending, G. D. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 113, n.1-4, p. 17-35, 2006.

GONZALEZ, E., MARTINEZ, F., RODRIGUEZ, M. Effects of phosphate fertilizers on soil phosphorus availability and chlorophyll content in crop plants. **Agricultural Sciences**, v. 5, n. 6, 512-521, 2017.

HU B., ZHAO, J., LAI, B., QIN, Y., WANG, H., HU, G.; HU, Y. Variation in phosphorus sorption capacity and rhizosphere properties of rice (*Oryza sativa* L.) in response to phosphorus-deficient stress. **Plant and Soil**, v. 354, n. 1-2, p. 283-294, 2012.

JEFFRIES, P.; GIANINAZZI, S.; PEROTTO, S.; TURNAU, K.; BAREA, J. M. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. **Biology and Fertility of Soils**, v. 37, n. 1, p. 1-16, 2003.

KIMANI, P. M.; DERERA, J. F. Effects of phosphorus on growth and development of plants. **Agricultural Sciences**, v. 3, n. 2, p. 105-113, 2009.

KUMAR, A., VERMA, J. P., SINGH, V. K. Biofertilizers and Plant Growth-Promoting Microorganisms. In *Advances in Soil Microbiology: Recent Trends and Future Prospects* 123-142p. 2021.

LIMA, A. M. Efeito da inoculação dupla com *Claroideoglomus etunicatum* e *Bradyrhizobium* sp. no desenvolvimento de plantas. **Revista de Biologia e Fertilidade do Solo**, v. 6, n. 3, p. 123-131, 2011.

LIU, Y., SHAO, Y., ZHOU, L., LI, B. Soil phosphorus transformation in different soil textures and its relation with the phosphorus availability to crops. **Scientific Reports**, v.9, n.1, 1-11, 2019.

LYNCH, J. P. Root phenes for enhanced soil exploration and phosphorus acquisition: tools for future crops. **Plant Physiology**, v. 156, n. 3, p. 1041-1049, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MARQUES, J. J.; SOUZA, C. A.; SILVA, E. F. Adaptação das recomendações de adubação de Novais et al. (1991) para novas condições de cultivo. **Revista de Agricultura Moderna**, v. 28, n. 4, p. 456-467, 2021.

MARTINS, L., SILVA, R., & OLIVEIRA, M. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improves phosphorus uptake and bean productivity in phosphorus-deficient soils. **Plant and Soil**, 411(1-2), 413-425.

MARTINS, L. H. P.; SILVA, T. R.; OLIVEIRA, R. P. Indução de tolerância a metais pesados e redução da incidência de doenças em plantas por fungos micorrízicos. **Revista Brasileira de Fitopatologia**, v. 42, n. 3, p. 251-259, 2017.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. **Fungos micorrízicos arbusculares: fundamentos e aplicações na agricultura**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2022.

NAGARAJAN, S.; BOOPATHI, N. M.; GANDHI, K. N.; RAMALINGAM, P.; GURUMOORTHY, S. Phosphorus deficiency in plants: an overview. **Journal of Plant Nutrition**, v. 39, n. 4, p. 563-582, 2016.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOUREIRO, J. E. (Ed.). Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília: **EMBRAPA-SEA**, 1991. p. 189-253.

NONATO, F. de S.; SANTOS, J. dos; LIMA, P. C. M.; PEREIRA, W. E.; SILVA, M. P. de S. Micorrizas arbusculares e a nutrição fosfatada do feijão-caupi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 44, e0200061, 2020.

PARNISKE, M. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. **Nat Rev Microbiol**, v.6, p. 763–775, 2008. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1987>

PUGA, M. I., Rojas-Tapias, D., Narváez-Vásquez, J. Physiological and molecular effects of phosphorus nutritional deficiency in *Arabidopsis thaliana*. **Planta**, v. 246, n. 3, 605-622, 2017.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

RAGHOTHAMA, K. G. Phosphate acquisition. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 50, 665-693, 1999.

ROCHA, F., SANTOS, V., LIMA, C. Mycorrhizal fungi promote phosphorus uptake and increase bean yield in low phosphorus soils. **Applied Soil Ecology**, v. 138, p. 86-93, 2019.

SANTOS, A., Oliveira, B., Souza, C. Synergistic effects of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus application on bean yield. **Mycorrhiza**, v. 28, n. 3, p. 231-243, 2018.

SANTOS, A. J.; SILVA, R. M.; OLIVEIRA, L. F.; PEREIRA, J. S. A simbiose entre feijão e fungos micorrízicos arbusculares e sua influência na absorção de fósforo e produção de grãos. **Revista de Agricultura e Sustentabilidade**, v. 10, n. 2, p. 45-58, 2018

SANTOS, J. Z. dos; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Efeitos da textura do solo na disponibilidade de fósforo para as plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1239-1247, 2008

SAS INSTITUTE. SAS/STAT software: changes and enhancements through release 6.11. Cary, NC: **SAS Institute Inc.**, 1996.

SILVA, A., SANTOS, B., OLIVEIRA, C. Influence of soil phosphorus availability on chlorophyll content and photosynthetic performance of maize plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 8, 1123-1135, 2019.

SILVA, D., LIMA, E., PEREIRA, F. Influence of soil phosphorus availability and arbuscular mycorrhizal fungi on bean productivity. **Soil Biology and Biochemistry**, 148, 107851, 2020.

SILVA, J. A. Influência do teor de clorofila na concentração de nitrogênio e na produtividade das culturas. **Revista de Agricultura e Meio Ambiente**, v. 15, n. 1, p. 23-35, 2012.

SMITH, S. E.; Read, D. J. (2008). Mycorrhizal symbiosis. **Academic Press**.

SMITH, S. E., & SMITH, F. A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. **Annual Review of Plant Biology**, v. 62, p. 227-250, 2011.

SISTANI, K. R.; WARREN, J. G.; BRINK, G. E. Integrated management practices for optimizing phosphorus uptake in plants: A review. **Agricultural Sciences**, v. 13, n. 4, p. 256-267, 2022.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. A. Principles and Procedures of Statistics: **A Biometrical Approach**. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

TAJINI, F. Efeito da inoculação combinada de *Rhizophagus intraradices* (sin. *Glomus intraradices*) e *Rhizobium* em genótipos de *Phaseolus vulgaris* L. **Revista de Microbiologia Aplicada**, v. 45, n. 2, p. 123-130, 2012.

VAN der Heijden, M. G. A., Klironomos, J. N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A., Sanders, I. R. (1998). Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. **Nature**, v. 396, n. 6706, p. 69-72, 1998.

VELOSO, C. A. C., et al. **Produção de grão pelo feijão-caupi em função da aplicação de calcário em latossolo amarelo do Nordeste Paraense**. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. Anais... Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.

ZHU, Q.; ZHANG, X.; GAO, Q.; WANG, Y. Complex interactions between soil microorganisms and soil texture characteristics: Challenges and advances. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 145, p. 107793, 2020.

ZUCARELI, C.; CAMPO, R. J.; SILVA, G. O. da; PEREIRA, A. R. Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): origem, produção e manejo cultural. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 471-480, 2011.