

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

LARA FERNANDES MONTE

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULAR NA AMENIZAÇÃO DO ESTRESSE DE  
FÓSFORO NO FEIJÃO EM CULTIVO SUCESSIVO**

Monte Carmelo

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
LARA FERNANDES MONTE

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULAR NA AMENIZAÇÃO DO ESTRESSE DE  
FÓSFORO NO FEIJÃO EM CULTIVO SUCESSIVO**

Plano de 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

2023

LARA FERNANDES MONTE

**FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULAR NA AMENIZAÇÃO DO ESTRESSE DE  
FÓSFORO NO FEIJÃO EM CULTIVO SUCESSIVO**

Plano de 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

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Douglas José Marques (UFU)

---

Prof. Dra. Andressa Giovannini Costa (UFU)

---

Téc. Gustavo Moreira Ribeiro  
(LAFIT -Laboratório Multiuso de Ensino em Fitotecnia - UFU)

Monte Carmelo

2023

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me capacitado a realizar esse sonho.

Agradeço aos meus familiares que sempre me apoiaram e torceram pela conclusão do meu curso, dando sempre o suporte necessário, sem nunca medir esforços para me proporcionar o melhor.

Agradeço aos meus amigos de classe, que sempre em momentos de dificuldades foram prontos para ouvir, auxiliar, aconselhar e compartilhar ideias e pensamentos.

Um agradecimento especial a Kamila Azevedo Cassiano, por toda a parceria na condução experimental, a qual teve presença fundamental para que tudo ocorresse da devida forma.

Ao meu orientador Prof. Douglas José Marques, por todas as oportunidades, orientações, trocas de experiências, aconselhamentos e apoio concedidas na graduação e na condução experimental.

A Universidade Federal de Uberlândia campus Monte Carmelo, por possibilitar o aprendizado a tantas pessoas com o ensino impecável e de grande transparência.

E a todos os contribuintes diretos e indiretos para a realização deste trabalho, foram imprescindíveis na minha formação

## SUMÁRIO

RESUMO.....	6
1 INTRODUÇÃO.....	7
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	8
2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO FEIJÃO.....	8
2.2 FERTILIZANTES FOSFATADOS.....	9
2.3 CULTIVARES E EFICIÊNCIA NO USO P.....	9
2.4 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES.....	10
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	11
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
5 CONCLUSÃO.....	21
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22

## RESUMO

O fósforo é um dos nutrientes mais limitantes na cultura do feijoeiro em solo tropical que, geralmente, apresentam alta capacidade de adsorção de P. Os problemas externos relacionados ao mercado de fertilizantes geram muita instabilidade no mercado e para os produtores. Sendo assim a hipótese da pesquisa visa avaliar se a utilização de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) amenizam estresse de P no feijoeiro comum em caso de sucessão com a soja. A pesquisa teve como objetivo avaliar a produtividade do feijoeiro comum cultivado em sucessão com a soja para avaliar a eficiência no uso do P com o resíduo da inoculação do cultivo anterior, para simular uma situação hipotética real em campo, não foram feitas novas inoculações, observando assim, os efeitos residuais dessa inoculação antecessora. O experimento foi implantado sob delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x2 com quatro repetições: o primeiro fator P (estresse moderado e estresse severo de P) x segundo fator fungos micorrízicos (presença e ausência). Durante a pesquisa foram avaliados massa seca do caule e folha, índice de área foliar, ramo primário, secundário e terciário, índice SPAD no terço superior, teor de P no solo, acúmulo de P na planta, flores, vagem e produtividade do feijoeiro. Conclui-se com a pesquisa que a inoculação com os fungos micorrízicos arbusculares oriundos do resíduo da cultura anterior amenizou no P-controle incrementos a produção de matéria seca, ramos primários, acúmulo de P na folha, número de flores e produtividade. Na condição de P-estresse a presença de FMA incrementou no número de flores e produtividade no feijoeiro comum.

**Palavras-Chave:** *Glomeromycota*; *Phaseolus vulgaris* L.; produtividade.

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos grãos mais cultivados e exportados em todo o território brasileiro, o que conseqüentemente acaba exigindo uma produção em níveis elevados. Segundo estimativas da (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2023), o consumo médio aparente per capita de feijão-comum em 2021 foi 12,2 kg/hab. O Brasil ocupa o terceiro lugar no ranking mundial de produção de feijão, com uma área plantada de 2,927 milhões de hectares e uma produção média superior a 1060 kg por hectare (CONAB, 2020).

Devido aos solos tropicais possuírem problemas de fertilidade natural, o uso de fertilizantes é fundamental para garantir produtividade (SILVA et al., 2015). Se os agricultores brasileiros reduzirem a aplicação de fertilizantes e seus rendimentos caírem, isso poderá ter um impacto significativo no suprimento global de alimentos. No entanto, uma das opções para amenizar a falta dos fertilizantes, seria aplicação dos fungos micorrízicos.

Atualmente, o Brasil é responsável por cerca de 8% do consumo global de fertilizantes, sendo o quarto país do mundo, atrás apenas de China, Índia e Estados Unidos. A velocidade de crescimento da demanda brasileira tem superado o crescimento da oferta nacional e seu atendimento tem ocorrido via aumento de importações. O país deixou de ser exportador de fertilizantes para ser grande importador entre 1992 e 2020. Mais de 80% (oitenta por cento) dos fertilizantes consumidos no Brasil são de origem estrangeira, a despeito da existência de grandes reservas de matérias-primas necessárias à produção de fertilizantes em seu território (SAE/BR, 2020)

O Brasil se destaca no cenário mundial de produção de feijão, no entanto, a baixa fertilidade e presença de elementos tóxicos nos solos do cerrado brasileiro são alguns dos principais fatores responsáveis por quedas na produtividade da cultura. Dessa forma, é visto como necessária a utilização de adubos minerais para uma boa produção. Dentro dos nutrientes indispensáveis para o crescimento, reprodução e produtividade da planta, pode-se destacar o fósforo (OLIVEIRA et al., 2009 apud SILVA et al., 2015).

O fósforo é um nutriente essencial para o metabolismo das plantas, desempenhando importante função na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese, além de compor de forma estrutural os ácidos nucleicos, coenzimas, fosfoproteínas e fosfolipídios (ZUCARELI et al., 2006 apud ROSAL, 2013). Caso haja limitações na disponibilidade de fósforo no início do desenvolvimento vegetativo, é possível a ocorrência da restrição do desenvolvimento da cultura (SOUTO et al., 2009 apud ROSAL, 2013).

Os FMAs são fungos do solo do filo *Glomeromycota* (SCHÜBLER et al., 2001), caracteristicamente microssimbiontes obrigatórios de plantas. Diferenciam-se de outros fungos endofíticos por apresentarem formação de arbúsculos dentro das células de raízes ou talos vegetais, hifas cenocíticas (ou às vezes esparsamente septadas) e esporos grandes (40-800 µm), com várias paredes em camadas contendo algumas dezenas de milhares de núcleos. Os arbúsculos são semelhantes a haustórios; entretanto, não rompem o citoplasma e têm duração efêmera na vida celular, o que caracteriza uma simbiose não patogênica ao vegetal.

Os FMAs formam o tipo mais comum de micorriza na natureza, simbiose esta que teve origem quando as primeiras plantas colonizaram o ambiente terrestre, há pelo menos 460 milhões de anos (REDECKER et al., 2000), sendo onipresentes em ecossistemas terrestres, embora raras em ambientes com grande e longa cobertura de neve ou gelo. Atualmente, o filo *Glomeromycota* é um dos sete filos descritos no reino Fungi, possuindo em torno de 200 espécies descritas. Porém, essas espécies mostram uma enorme variabilidade e adaptação aos mais diferentes solos e plantas do planeta, apresentando uma biodiversidade praticamente desconhecida, e com grande importância para ser preservada em coleção por seu potencial biotecnológico (SILVA, 2022). As micorrizas do tipo arbuscular são de ocorrência generalizada nas plantas vasculares e exercem enorme efeito na nutrição mineral, propiciando principalmente maior absorção de fósforo e aumentando a tolerância da planta a diversos tipos de estresse (Siqueira, 1994). Além desses efeitos, as micorrizas arbusculares estão envolvidas na conservação, armazenagem e ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais.

Sendo assim a pesquisa teve como objetivo avaliar o resíduo dos fungos micorrízicos arbusculares na produtividade do feijoeiro comum cultivado em sucessão com a soja e seus efeitos na amenização do estresse fósforo.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Importância econômica do feijão**

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de feijão, atrás somente da Índia. O feijão é um produto com alta importância econômica e social no País. O produto exerce grande valor sob o ponto de vista alimentar, como alternativa econômica de exploração agrícola em pequenas propriedades e como atividade de ocupação de mão-de-obra menos qualificada nas diversas regiões rurais brasileiras. (ARAÚJO, LUÍS GONZAGA)

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a espécie principal do gênero *Phaseolus*, é uma cultura que tem grande importância para a dieta proteica humana. O feijão é um dos produtos agrícolas de maior importância econômica e social, cultivado em grandes áreas e necessitando de mão de obra durante o seu ciclo, além de que possui um ciclo de curto período. No Brasil, seu cultivo é de grande importância, sendo bastante difundido em todo o território nacional como uma cultura de subsistência em pequenas propriedades.

Além do cultivo de subsistência, a cultura é muito utilizada como sucessão de áreas agrícolas onde foram cultivada a cultura da soja. A área plantada de feijão no país chegou ao menor tamanho dos últimos 10 anos, segundo o Instituto Brasileiro do Feijão e Pulses (Ibrafe). Para a safra 2022/23, considerando as variedades preto, caupi e carioca, serão 2.711,9 hectares. Na temporada de 2012/13, eram 3.075,3 hectares (SIQUEIRA, 2023).

A cultura é a mais cultivada entre os *Phaseolus*, cultivado em 121 países ao redor do mundo, cujo a produção ultrapassa os 20 milhões de toneladas, em uma área de 25,6 hectares. Cujos maiores produtores mundiais são Mianmar (18%), Índia (15%), Brasil (11%), EUA (5%), México (4%), Tanzânia (4%), e China (4%) responsáveis por 61% do total produzido no mundo, ou 19 milhões de toneladas.

## 2.2 Fertilizantes fosfatados

Fertilizantes fosfatados são produtos oriundos da extração, moagem e/ou tratamento de rochas ígneas ou sedimentares que apresentam concentração considerável do elemento químico e macronutriente de plantas, o fósforo (FERTICEL,2023). Os fertilizantes fosfatados mais utilizados na cultura do feijão são: superfosfatos triplo, duplo e simples; fosfato parcialmente acidulado; fosfatos de amônio (MAP e DAP). Devido sua alta demanda e a falta dele no mercado, cientistas do Brasil e da Alemanha desenvolveram um novo fertilizante fosfatado que tem capacidade de aumentar em até 10 vezes a biomassa da soja. Esse fertilizante foi desenvolvido à base de enxofre, advindo de rejeitos da indústria do petróleo (EMBRAPA, 2019).

A necessidade do uso de fertilizantes, tem sua demanda aumentada mais a cada dia. O relatório apresenta o número do volume total importado, que até maio de 2023 soma 12,4 milhões de toneladas, o que é maior que a média dos últimos cinco anos (11 milhões de toneladas) (PRESENTE RURAL, 2023).

### 2.3 Cultivares e eficiência no uso P

É bem conhecido, que as espécies de plantas apresentam diferentes capacidades de absorver nutrientes. A absorção deste elemento por parte da planta é mais ou menos constante, e a taxa de acumulação média geralmente não ultrapassa  $0,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  (Mooy et al., 1973), o que determina que a sua disponibilidade na solução do solo seja fundamental para alcançar altas taxas de absorção e, dessa maneira, suprir as necessidades das plantas para a obtenção de altos rendimentos.

A eficiência no uso de nutriente se baseia em processos pelos quais as plantas absorvem, translocam, acumulam e usam esse nutriente para melhor produção de matéria seca e/ou grãos em condições de deficiência (PAULA, 2016). Para o elemento fósforo, outros conceitos já foram indicados, tais como maiores acúmulos desse elemento em condições de deficiência, e o maior acúmulo de matéria seca por unidade de nutriente acumulado (GERLOFF, 1976; MARSCHNER, 2012).

A limitação do crescimento vegetal determinada por alguns nutrientes, principalmente N e o P, transformam as raízes em consumidoras de carboidratos, limitando o crescimento da parte aérea fazendo assim com que a relação raiz: parte aérea aumente. Isto se deve ao P orgânico nas raízes apresentar-se em maior proporção que o P inorgânico, o qual estará menos disponível para o transporte para a parte aérea (Araújo 2000). Espécies com alta eficiência de absorção de P apresentaram elevado influxo de P ou elevada razão raiz: parte aérea, enquanto espécies com baixa eficiência apresentavam baixo influxo e baixa razão raiz: parte aérea (Föhse et al., 1988).

### 2.4 Fungos micorrízicos arbusculares

Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) se associam às raízes das plantas e incrementam a absorção de fósforo (P), macronutriente com baixa mobilidade no solo. A capacidade de fixação de P do solo e a competição com a biota heterotrófica afetam sua disponibilidade para plantas. A absorção de nutrientes pelas plantas pode acontecer de forma direta pela ação das raízes via células epidérmicas e pelos radiculares, ou indireta pela atuação do micélio dos FMA. A densidade, o diâmetro e o comprimento de pelos das raízes são fatores que interferem na absorção de P dos solos (Jorhi et al., 2015; Kaiser et al., 2015; van de Wiel et al., 2017)

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre 10/05/2023 e 13/08/2023. O experimento foi conduzido em casa de vegetação (18°43'36.56"S, 47°31'29.46"O) localizada no Campo Demonstrativo e Experimental (CADEX), na Universidade Federal de Uberlândia, campus Monte Carmelo, na cidade de Monte Carmelo, Minas Gerais (altitude 908 m). A estrutura da estufa é de aço galvanizado, coberta por uma camada de plástico filme de polietileno de baixa densidade, tem 21 metros de comprimento, 7 metros de largura e 5,5 metros de altura, e está direcionada para a orientação Noroeste-Sudoeste. Dentro da estufa, o experimento contava com 32 parcelas (vasos de 12 dm<sup>-3</sup>) que foram conduzidos sobre tijolos de cerâmica. O experimento foi realizado em sucessão ao cultivo de soja.

A cultivar escolhida de feijão carioca foi a IAC, que cozinha em cerca de 30 minutos e seu teor de proteína é de 20%. Para a cadeia de produção oferece elevado potencial produtivo, tolerância ao escurecimento dos grãos. Com ciclo médio de 90 dias, produtividade de grãos, chegando a 4,3 mil quilos ha<sup>-1</sup>. A cultivar é recomendada para o cultivo na época das águas, da seca e de inverno.

Na pesquisa foi utilizado o solo Latossolo Amarelo Distrófico (LAd) com textura arenosa coletado em campo natural (18°54'12,0"S, 47°35'50,5"W) equivalente a Latossolo (Taxonomia do Solo). O solo foi coletado e amostrado na profundidade de 0 a 20 cm, seco ao ar, passado em peneira de malha de 2,5 cm<sup>3</sup> e depois homogeneizados para determinação das características químicas e físicas antes da correção da acidez do solo e da adubação de base (Tabela 1), ao qual foi realizada no plantio da soja. A análise granulométrica foi realizada conforme Donagema et al., (2011). Para a realização das análises foram utilizadas amostras como ADFE, obtidas por secagem ao ar, desintegração e peneiramento (<2 mm).

**Tabela 1.** Características químicas e físicas dos tipos do solo (LVd) antes da adubação do plantio.

<b>Química<sup>1</sup></b>	<b>Unidades</b>	<b>LAd</b>
pH in H <sub>2</sub> O		4,2
pH		3,3
P meh,	mg dm <sup>-3</sup>	27
P total	mg dm <sup>-3</sup>	0,23
K	mg dm <sup>-3</sup>	0,09
Ca	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,33
Mg	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,40
Al	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,39
H+Al	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,72
SB	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,79
t	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	22
T	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	46
V	%	1,4
m	%	0,04
MO	dag kg <sup>-1</sup>	0,6
B	mg dm <sup>-3</sup>	10
Cu	mg dm <sup>-3</sup>	2,1
Fe	mg dm <sup>-3</sup>	10
Mn	mg dm <sup>-3</sup>	2,1
Zn	mg dm <sup>-3</sup>	8,7
<b>Physical<sup>2</sup></b>		
Areia	g kg <sup>-1</sup>	825
Silte	g kg <sup>-1</sup>	25
Argila	g kg <sup>-1</sup>	150

<sup>1</sup>pH em água (1:2,5), P e K por extração de Mehlich I, Mg e Al extraíveis por solução de KCl 1 M; P na solução de equilíbrio (EP); teor de matéria orgânica (MO) e carbono orgânico (CO). saturação por bases (SB); T = Capacidade de troca catiônica em pH 7,0; t= Capacidade de troca catiônica efetiva; m = índice de saturação de Al; V = Índice de saturação por bases. <sup>2</sup>A granulometria do solo foi determinada pelo método da pipeta.

Os cálculos para correção da acidez do solo seguiram recomendações de Ribeiro et al., (1999), visando neutralizar o Al<sup>3+</sup> e aumentar os teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>. O calcário dolomítico utilizado para corrigir a acidez do solo possui carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e carbonato de magnésio (MgCO<sub>3</sub>). Foi utilizado um reagente puro (MgO = 6 a 8%, CaO = 45 a 48%, poder de neutralização reativo = 92,5%, poder de neutralização = 100% e Potência Real de neutralização total: 92,5%) que foi aplicado e misturado ao solo. Após a aplicação, o solo foi

acondicionado em sacos plásticos e em seguida umedecido e incubado por 45 dias para favorecer a reação corretiva com o solo.

As recomendações de adubação para macronutrientes e micronutrientes foram baseadas nas recomendações de Novais et al., (1991) e adaptadas por Marques et al., (2021) (Tabela 2) no cultivo da soja (anterior). No feijoeiro foi feita aplicação dos fertilizantes Ureia e KCl, sendo 100 mg/kg solo e 50 mg/kg solo, respectivamente, dividido em duas aplicações.

Os FMA foram fornecidos da Coleção Internacional de Cultura de *Glomeromycota* (CICG) da Universidade Regional de Blumenau (FURB). Foram disponibilizados em material de solo com raízes, sendo um mix de 6 espécies de FMA (Tabela 2). Foi aplicado nos 5 cm superficiais, no centro do vaso, antes da semeadura da soja, na dose de 12 g de inóculo vaso<sup>-1</sup>.

**Tabela 2.** Espécies, códigos e número de esporos de cada espécie de FMA do material de solo utilizado para inoculação no cultivo anterior.

<b>Espécie e código de FMA</b>	<b>Número de esporos (g<sup>-1</sup> solo)</b>
<i>Gigaspora albida</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
<b>Total</b>	<b>742 esporos g<sup>-1</sup></b>

O experimento foi implantado sob delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x2 com quatro repetições: o primeiro fator P (estresse moderado: 150 mg P kg de solo e estresse severo: 300 mg P kg de solo) x segundo fator fungos micorrizicos (presença e ausência) com quatro repetições. As plantas foram conduzidas em vaso com volume de 12 dm<sup>3</sup>.

Durante a pesquisa foram avaliados massa seca do caule e folha, índice de área foliar, ramo primário, secundário e terciário, índice SPAD no terço superior e médio, teor de P no solo, acúmulo de P na planta, flores, vagem e produtividade do feijoeiro.

Para análise química da folha, a coleta foi realizada coletando o quarto trifólio (sem pecíolo), as folhas limpas e devidamente embaladas. Para análise biométrica da planta, a altura da planta foi medida com trena, tomando como base o colo da planta até o ápice da planta, em frequência quinzenal. O número de folhas foi avaliado quinzenalmente, sendo padronizada a

contagem das folhas totalmente expandidas. A contagem dos ramos primários, secundários e terciários foi feita de forma visual em cada um dos vasos.

Durante a pesquisa foram avaliados massa seca do caule e folha, as plantas foram coletadas para a determinação da massa seca sendo separadas em raízes e parte aérea (caule e folhas). Os componentes foram secos em estufa a 60°C, com ventilação forçada, até atingirem massa constante. As raízes foram separadas da parte aérea através de um corte no colo da planta, lavadas com água deionizada para retirar o excesso de solo aderido às raízes. A parte aérea da planta foi também processada, seguindo a mesma metodologia do caule.

Foram avaliados o número de dias até 50% de floração; dias até a primeira vagem; número de vagens por planta; número de grãos por vagem; peso do grão cultivar; produtividade e peso de 100 semente.

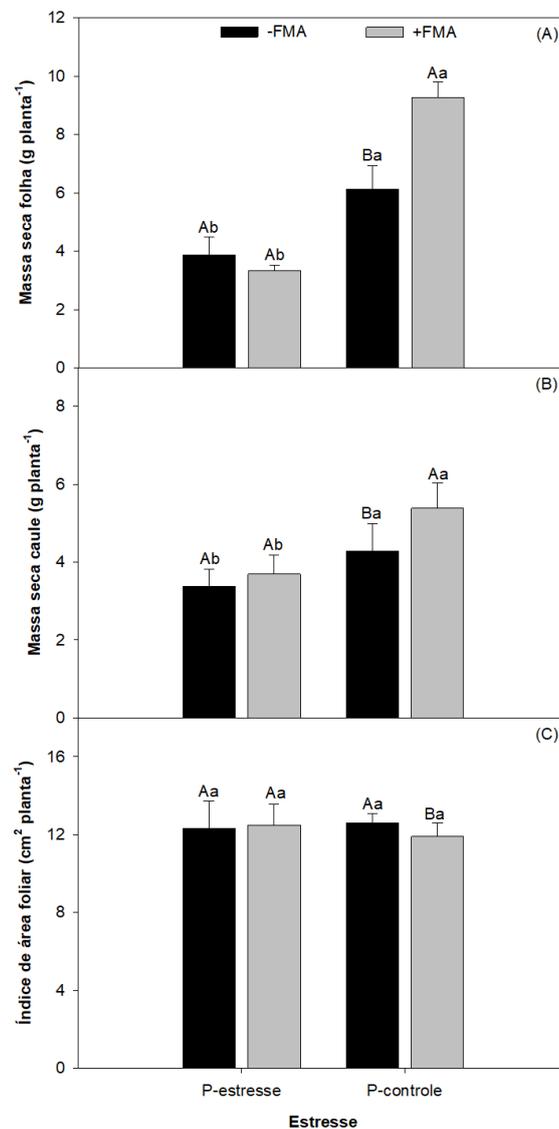
Para determinar os pigmentos fotossintéticos foram selecionadas folhas do quarto trifólio (sem pecíolo), a partir do ápice, na haste principal no início do florescimento (estádio R1). Foi utilizado o clorofilômetro SPAD. O medidor portátil SPAD-502 avalia, quantitativamente, a intensidade do verde da folha, medindo as transmissões de luz a 650 nm, onde ocorre absorção de luz pela molécula de clorofila, e a 940 nm, onde não ocorre absorção (Gil et al., 2002; Ferreira et al., 2006). Com estes dois valores, o equipamento calcula um número ou índice SPAD que, normalmente, é altamente correlacionado com o teor de clorofila da folha e pode identificar deficiência de N, além de ter potencial de identificar situações onde a aplicação adicional de N não seja necessária (Gil et al., 2002).

Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando houve diferença significativa foi aplicado os testes de médias mais adequados à cada variável (Scott-Knott) de acordo com o proposto por Steel et al. (2006).

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

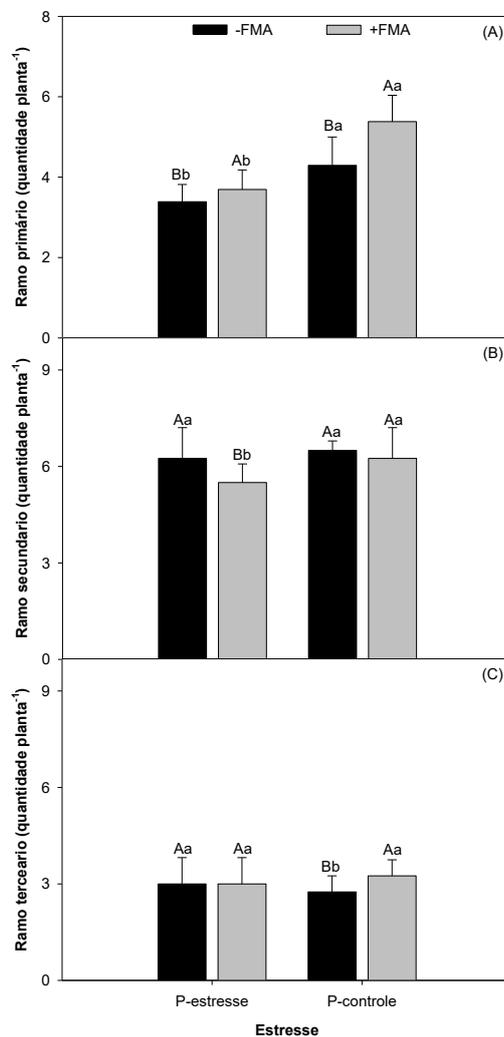
A presença dos fungos micorrízicos arbusculares aumentou massa seca caule (A), folha (B) em função do P-controle (Figura 1), observamos um melhor aproveitamento da planta ao absorver nutrientes em solos com presença de FMA. Reforçando dessa forma, a viabilidade e benefícios de se utilizar fungos micorrízicos. O índice de área foliar (C) não obteve diferença significativa quando comparado ao P-estresse. Hippler et al. (2011), identificaram no amendoim, registros de resposta na matéria seca de parte aérea, com inoculação de FMA e adição de dose de P, mas que também há um limite máximo para essa curva de crescimento, com posterior redução no incremento da variável quando a concentração ultrapassa quatro vezes

ou um limite recomendado na dosagem de adubação fosfatada. Os autores ainda confirmam que para que se alcance um determinado desempenho em massa seca, com inoculação micorrizica, é necessária uma concentração de  $116 \text{ mg kg}^{-1}$  de P, e nos tratamentos sem inoculação, é necessária uma dose de  $124 \text{ mg kg}^{-1}$  de P para que se observe o mesmo desempenho na variável.



**Figura 1.** Massa seca caule (A), folha (B) e índice de área foliar (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.

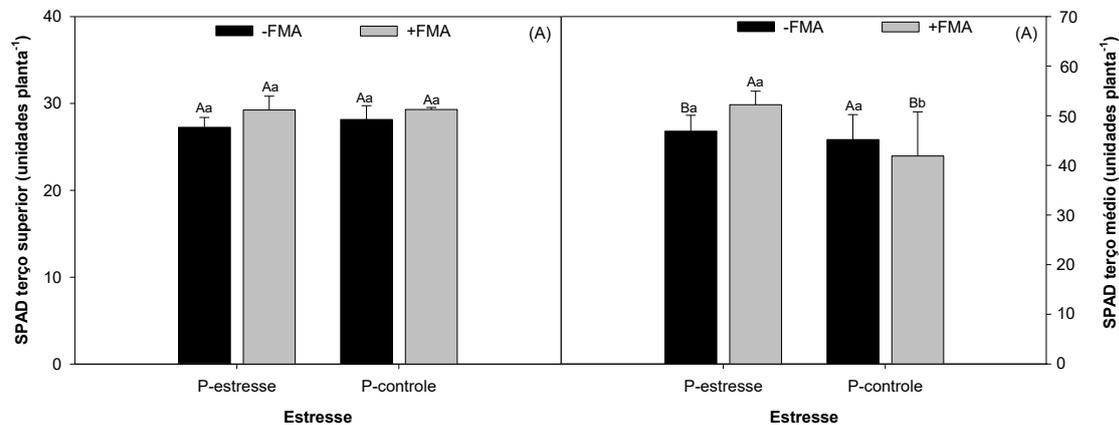
Para os ramos o efeito mais acentuado da presença dos fungos micorrízicos arbusculares foram para os ramos primários em função dos diferentes níveis do P-controle na planta de feijoeiro comum. Isso gera um bom destaque, uma vez que os ramos primários darão origem aos demais, e tudo isso contribui para uma boa produtividade da planta, uma vez que o ramo primário é comprometido, os demais ramos também sofrerão, uma vez que seu crescimento depende do ramo primário. Se o feijão apresentar um maior número de nós reprodutivos, a planta terá mais locais para desenvolvimento de suas flores. Os ramos secundários, obtiveram um resultado diferente até então, onde a ausência de FMA se destacou em 10% a mais, e o P controle se manteve igual. Já nos ramos terciários, não houve diferença significativa.



**Figura 2.** Ramo primário (A), secundário (B) e terciário (C) em função do P-estresse e presença e ausência da inoculação dos fungos micorrízicos 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.

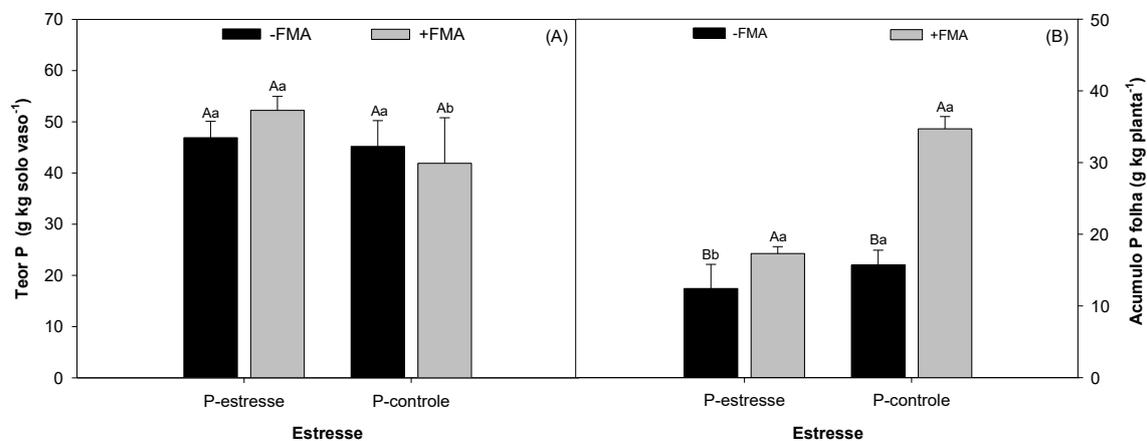
Em relação ao índice SPAD, o terço superior das plantas apresentaram maior diferença de escala em relação ao terço médio, onde no terço superior os resultados foram mais significativos. No terço superior a presença e ausência de FMA apresentou mesmo índice SPAD para as duas condições de estresse de fósforo. Bem como no P-estresse ou P-controle a presença e ausência de FMA não alterou significativamente no SPAD. No terço médio o FMA se destacou no estresse de P, enquanto no controle de P, a presença do FMA teve o resultado menor pela diferença estatística, quando comparado com a ausência dele.



**Figura 3.** Índice SPAD terço superior (A) e terço superior (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 teor de P no solo, avaliando o efeito do FMA no P-estresse não houve diferença significativa na ausência e presença de FMA, para P-controle teve o mesmo efeito. Quando há inoculação de FMA o tratamento P-estresse apresentou maior disponibilidade de P no solo comparado ao P-controle. Na ausência de inoculação não houve diferença entre os tratamentos de estresse de P quanto ao teor no solo. Já para o acúmulo P aumentou na parte aérea na presença dos fungos micorrizicos arbusculares independente do tratamento de P. No tratamento com FMA o P-controle apresentou maior acúmulo de P em relação ao P-estresse. No tratamento sem

FMA o acúmulo de fósforo também foi maior no P-controle comparado ao P-estresse, porém com um incremento menos acentuado quando na presença de FMA. Dessa forma, observamos que para uma área onde existe a necessidade de aplicação de P, os fungos micorrízicos apresentam fundamental papel nessa função. As micorrizas não aumentam o teor total de nutrientes no solo, mas permitem que a planta explore melhor as suas reservas. Nos solos de baixa fertilidade, a pouca disponibilidade de fósforo para as plantas implica na sua adição através de fertilizantes fosfatados. Em relação ao acúmulo de P nas folhas, o maior destaque se deu no controle de P e a presença de FMA.



**Figura 4.** 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 micorrízicos 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 ( $P < 0.05$ ). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão.

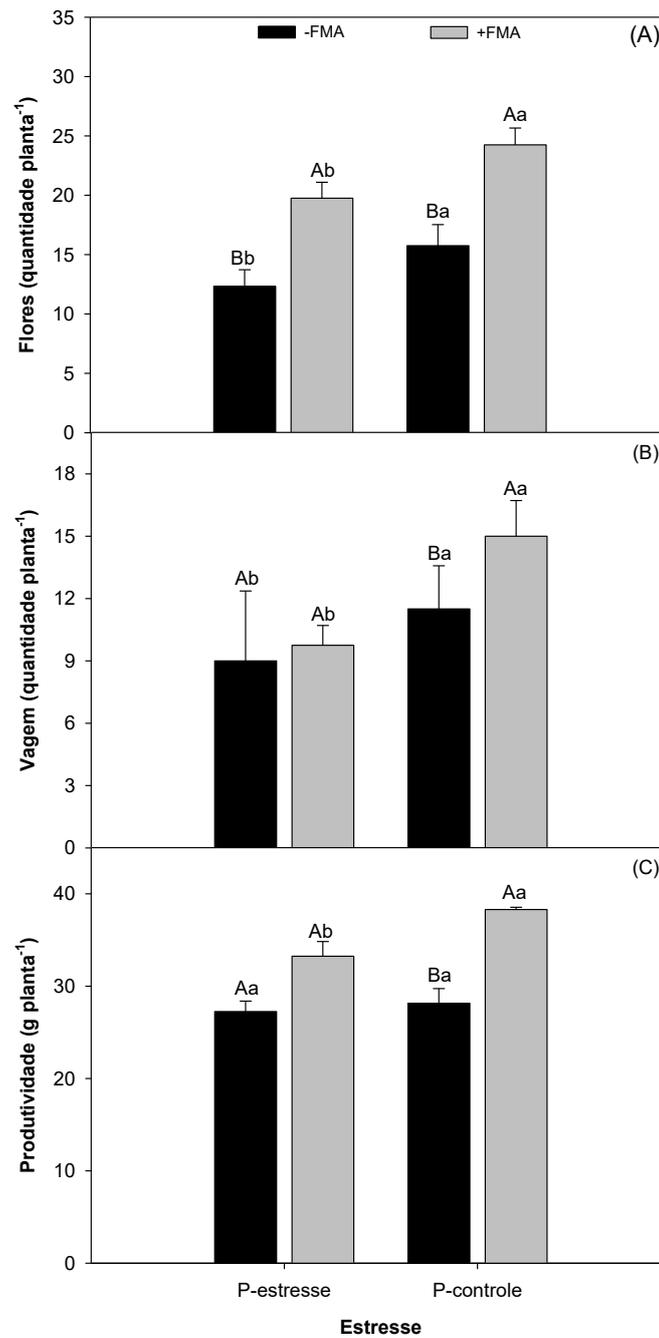
Na cultura do feijão, a produtividade de grãos é altamente correlacionada com os componentes da produção: número de vagens por planta, número de grãos por planta e massa de grãos (COSTA; ZIMMERMANN, 1988). Dependendo das condições, alguns componentes da produção podem aumentar e outros diminuir, facilitando a manutenção da estabilidade produtiva (CASQUERO et al., 2006). Os três principais caracteres que compõem o rendimento final na cultura do feijão são: número de vagens por unidade de área, número de grãos por vagem e massa dos grãos. O número de vagens por unidade de área é determinado pela população de plantas, pela produção de flores por planta e pelo número de flores que efetivamente desenvolvem vagens. Segundo Ramos Junior et al. (2005), o tamanho de grãos e

o número de grãos por vagem são os componentes de maior influência na produtividade de grãos de feijão. Os componentes do rendimento são determinados pelo genótipo, influenciados pelas condições ambientais ocorrentes durante o ciclo da cultura, pelas práticas fitotécnicas adotadas durante a implantação e condução da lavoura e pelo nível tecnológico adotado pelo agricultor (BEZERRA et al., 2007; KAPPES et al., 2008).

Para a produção de flores (A) aumentou na presença dos FMA independentemente do nível de P-estresse (Figura 5). O número de vagens (B) não alterou na condição de P-estresse, enquanto no P-controle teve aumento significativo de 25% a mais na presença de FMA. E produtividade (C), não aumentou na condição de P-estresse com ou sem FMA. A quantidade de flores é de extrema importância, uma vez que a partir dela surgirão as vagens e os grãos. A presença do FMA se destacou mais uma vez, onde as plantas obtiveram um maior número de flores em relação a sua ausência. Consequentemente, o número de vagens e produtividade também foi maior. Para quantidade de flores na presença de FMA houve maior quantidade independente do tratamento de P. Quando comparado os tratamentos de fósforo o P-controle apresentou maior quantidade de flores com ou sem FMA em relação ao P-estresse.

Para a variável número de vagens no tratamento P-estresse não houve diferença significativa entre a presença e ausência de FMA, já para o P-controle a presença de FMA proporcionou incremento de vagens em relação a ausência. O P-controle apresentou maior número de vagens comparado ao P-estresse para os dois tratamentos de FMA, presença e ausência.

A produtividade foi maior na presença de fungos micorrízicos no P-controle, quando houve estresse de P não apresentou diferença significativa na presença ou ausência de FMA apesar de observar um incremento de produtividade quando foi feita inoculação (incremento em %). Na presença de FMA o P-controle apresentou maior produtividade comparado ao estresse, na ausência de FMA não houve diferença entre P-controle e estresse).



**Figura 5.** Flores (A), vagem (B) e produtividade 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 ( $P < 0.05$ ). As colunas correspondem às médias de quatro repetições e desvios padrão.

## **5 CONCLUSÃO**

Conclui-se com a pesquisa que a inoculação com os fungos micorrizicos arbusculares oriundos do resíduo da cultura anterior amenizou no P-controle incrementos a produção de matéria seca, ramos primários, acúmulo de P na folha, número de flores e produtividade no feijoeiro comum. Na condição de P-estresse a presença de FMA incrementou no número de flores e produtividade.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, A. P. **Eficiência vegetal de absorção e utilização de fósforo, com especial referência ao feijoeiro.** In: NOVAIS, R.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed.). *Tópicos em ciência do solo.* Viçosa: SBCS, 2000. v.1, cap.6, p.163- 212.
- ARAÚJO, Luís Gonzaga. **Importância do feijão para o Brasil. Portal do mercado aberto,** 2011. Disponível em: <https://portalmercadoaberto.com.br/blogs-categoria-det?post=3399>. Acesso em: 08 out. 2023.
- BEZERRA, A. P. A. et al **Rendimento, componentes da produção e uso eficiente da terra nos consórcios sorgo x feijão-de-corda e sorgo x milho.** Revista Ciência Agronômica, v. 38, n. 01, p. 104-108, 2007.
- CARNEIRO, de Paula Júnior; Borém, José Eustáquio; Trazilbo José; Aluizio (2015). **Feijão do plantio à colheita.** Viçosa - MG: Editora UFV. p. 9.
- CASQUERO, P. A. et al **Performance of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces from Spain in the Atlantic and Mediterranean environments.** Genetic Resources and Crop Evolution, v. 53, n. 05, p. 1021-1032, 2006.
- CONAB. **Décimo segundo levantamento. Acompanhamento da safra brasileira - grãos,** Brasília, v. 7, n. 12, p. 31-38, 2020. Disponível em: ISSN 2318-6852. Acesso em: 2 dez. 2021.
- COSTA, J. C. G.; ZIMMERMANN, M. J. O. Melhoramento genético. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **A cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: Potafós . 1988. p. 229-245.
- EMBRAPA. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro.** Brasília, Df: Embrapa, 2018. Disponível em: <file:///C:/Users/Propriet%C3%A1rio/Downloads/CNPAF-2018-lv2edrevampfenologiafeijoeiro-mar-2019.pdf>. Acesso em: 08 out. 2023.
- EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Consumo – cultivo do feijão.** Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/pos-producao/consumo#:~:text=Segundo%20estimativas%20da%20Embrapa%20Arroz,kg%2Fhab%2C%20em%201996>. Acesso em: 08 out. 2023.
- FERTICEL. **Benefícios dos Fertilizantes Fosfatados.** Ferticel, 2023. Disponível em: <https://ferticel.com.br/beneficios-dos-fertilizantes-fosfatados/>. Acesso em: 10 out. 2023.
- 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

- GERLOFF, G. C. **Plant efficiencies in the use of nitrogen phosphorus and potassium.** In: WHIGHT, GIL PT; FONTES PCR; CECON PR; FERREIRA FA. 2002. **Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade de batata.** Horticultura Brasileira 20: 611-615.
- HIPPLER, F. W. R. et al. **Fungos micorrízicos arbusculares nativos e doses de fósforo no desenvolvimento do amendoim RUNNER IAC 886.** Revista Ciência Agronômica, v. 42, n. 3, p. 605–610, set. 2011
- Jorhi, A. K., Oelmüller, R., Dua, M., Yadav, V., Kumar, M., Tuteja, N., Varma, A., Bonfante, P. Persson, B. L., Stroud, R. M., 2015. **Fungal association and utilization of phosphate by plants: success, limitations, and future prospects.** Frontiers in Microbiology [online] 6. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00984>
- MOOY, C.J. DE; PESEK, J.; SPALDON, F. Mineral nutrition. In: CALDWELL, B.E. (Ed.). **Soybeans: improvement, production and uses.** Wisconsin: American Society of Agronomy, 1973. p.267-334.
- OLIVEIRA, Márcia Gonzaga et al. **Conhecendo a Fenologia do Feijoeiro e Seus Aspectos Fitotécnicos.** Brasília: [s. n.], 2015. p. 11-22. Disponível em: ISBN 978-85-7035-770-0. Acesso em: 2 out. 2023.
- PAULA, G. S. **Responsividade e eficiência do uso de fósforo de cultivares de soja.** 2016. 44 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.
- PRESENTE RURAL. **Confira a análise das Importações de fertilizantes agrícolas no Brasil em 2023.** Presente Rural, 2023. Disponível em: [https://opresenterural.com.br/confira-a-analise-das-importacoes-de-fertilizantes-agricolas-no-brasil-em-2023/#:~:text=O%20relat%C3%B3rio%20apresenta%20o%20n%C3%BAmero,\(11%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas\).](https://opresenterural.com.br/confira-a-analise-das-importacoes-de-fertilizantes-agricolas-no-brasil-em-2023/#:~:text=O%20relat%C3%B3rio%20apresenta%20o%20n%C3%BAmero,(11%20milh%C3%B5es%20de%20toneladas).) Acesso em: 26 out. 2023
- RAMOS JUNIOR, E. U.; LEMOS, L. B.; SILVA, T. R. B. **Componentes da produção, produtividade de grãos e características tecnológicas de cultivares de feijão.** Bragantia, v. 64, n. 01, p. 75-82, 2005.
- REDECKER, D.; MORTON, J. B.; BRUNS, T. D. **Ancestral lineages of arbuscular mycorrhizal fungi.** Molecular Phylogenetics and Evolution, IS. I.J, v. 14, p. 276-284, 2000.
- SAE/BR, Secretaria Especial De Assuntos Estratégicos do Governo Federal. **Produção Nacional de Fertilizantes, estudo estratégico.** GOV, 2020. Disponível em: [https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae\\_publicacao\\_fertilizantes\\_v10.pdf](https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf). Acesso em: 05 out. 2023.

- SILVA, Ana Carolina Caetano et al. **Resposta do feijoeiro a diferentes dosagens e fontes de fósforo em sistema de plantio direto**. 2015. Tese (Pós-Graduação em Recursos)
- SILVA, Joana. **Novo fertilizante fosfatado aumenta a produtividade da soja**. EMBRAPA, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/71692246/novo-fertilizante-fosfatado-aumenta-a-produtividade-da-soja>. Acesso em: 10 ago. 2023.
- SIQUEIRA, J.O.; **Micorrizas arbusculares**. In: ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M. (eds.) *Microrganismos de importância ecológica*. Brasília, EMBRAPA, 1994, p.151-194.
- SIQUEIRA, 2023. **Feijão tem menor área plantada em 10 anos e preocupa cadeia produtiva**. Iara Siqueira, 2023. Disponível em: <https://exame.com/agro/feijao-tem-menor-area-plantada-em-10-anos-e-preocupa-cadeia-produtiva/>. Acesso em: 11 ago. 2023.
- SCHÜBLER, A.; SCHWARZOTT, D.; WALKER, C. **A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution**. *Mycological Research*, IS. I./ v. 105, n. 12, p. 1413-1421, 2001
- ZUCARELI, Claudemir. **Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de feijão**. Botucatu: UNESP/IB, vol. 28, nº 1, p.09-15, 2006.