

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

GUILHERME HENRIQUE YAGURA

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E SEUS EFEITOS NO ESTRESSE DE
FÓSFORO EM DIFERENTES TEXTURAS DO SOLO NA PRODUTIVIDADE DA
SOJA

Monte Carmelo
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

GUILHERME HENRIQUE YAGURA

FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E SEUS EFEITOS NO ESTRESSE DE
FÓSFORO EM DIFERENTES TEXTURAS DO SOLO NA PRODUTIVIDADE DA
SOJA

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

Orientador: Prof. Dr. Douglas José Marques

Monte Carmelo
2023

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Y12 Yagura, Guilherme Henrique, 1998-
2023 Fungos micorrízicos arbusculares e seus
efeitos no estresse de fósforo em diferentes
texturas do solo na produtividade da soja [recurso
eletrônico] / Guilherme Henrique Yagura. - 2023.

Orientador: Douglas José Marques.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação)
- Universidade Federal de Uberlândia,
Graduação em Agronomia.

Modo de acesso:
Internet. Inclui
bibliografia.

Inclui ilustrações.

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

GUILHERME HENRIQUE YAGURA

FUNGOS MICORRÍZICOS E SEUS EFEITOS NO ESTRESSE DE FÓSFORO EM
DIFERENTES TEXTURAS DO SOLO NA PRODUTIVIDADE DA SOJA

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

Monte Carmelo, 26 de junho de 2023

Banca Examinadora

Prof. Dr. Douglas José Marques
Orientador (a)

Prof. Dr. Eusídio Felisbino Fraga Júnior
Membro da Banca

Prof. Dr. Odair José Marques
Membro da Banca

Monte Carmelo
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Instituto de Ciências Agrárias

Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: 34 2512-6700 - www.iciag.ufu.br - iciag@ufu.br



ATA DE DEFESA - GRADUAÇÃO

Curso de Graduação em:	Agronomia			
Defesa de:	Trabalho de Conclusão de Curso - GAG558			
Data:	27/06/2023	Hora de início:	13:00	Hora de encerramento:
Matrícula do Discente:	31711AGR023			
Nome do Discente:	Guilherme Henrique Yagura			
Título do Trabalho:	Fungos micorrízicos arbusculares e seus efeitos no estresse de fósforo em diferentes texturas do solo na produtividade da soja			
A carga horária curricular foi cumprida integralmente?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não			

Reuniu-se no Anfiteatro/Sala 1A104, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Agronomia, assim composta: Professores: Eusílio Felisbino Fraga Junior - ICIAG/UFU; Odair José Marques - ICIAG/UFU; Douglas José Marques orientador do candidato.

Iniciando os trabalhos, o presidente da mesa, Dr. Douglas José Marques, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao discente a palavra, para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do curso.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o candidato:

Aprovado Nota 95 (Noventa cinco)

OU

Aprovado sem nota.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Eusílio Felisbino Fraga Junior, Professor(a) do Magistério Superior**, em 27/06/2023, às 15:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Odair José Marques, Professor(a) do Magistério Superior**, em 27/06/2023, às 15:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Douglas José Marques, Professor(a) do Magistério Superior**, em 27/06/2023, às 15:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4602099** e o código CRC **54D8C69C**.

Referência: Processo nº 23117.044869/2023-59

SEI nº 4602099

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus por todas as bençãos e por me manter de pé nos momentos difíceis;

Aos meus pais, Augusto Yagura e Terezinha Martins Castanha Yagura, por todo o esforço e dedicação em sempre me fornecer de tudo, o que culminou na minha formação acadêmica, além do amor e carinho que tornaram essa caminhada possível;

As minhas irmãs, Lana Yagura e Larissa Yagura, por estarem do meu lado, cuidando de mim e me amarem incondicionalmente; Sem a família que Deus me deu, eu não conseguiria chegar onde cheguei, a vocês, meu muito obrigado;

Aos meus amigos de fraternidade, Guilherme Santos, Gustavo Guerrero, Higor Dall'agnol e Victor Hugo Estevam, os momentos que vivemos serão sempre uma lembrança feliz na minha memória;

A Isabella Bocalom da Silva, por ter sido uma pessoa especial que esteve presente nos últimos anos, me apoiando a realizar meu sonho;

Ao meu amigo, Eng. Agr. Rodolfo Borges Viera, pela amizade e por ter sido um mentor na profissão de engenheiro agrônomo.

Ao meu professor orientador e amigo, Prof. Dr. Douglas Jose Marques, pelos ensinamentos, conselhos, paciência, e por ter sido um grande mestre na minha vida acadêmica;

Aos examinadores da banca, Prof. Dr. Eusílio Felisbino Fraga Júnior e Prof. Dr. Odair José Marques, pelo compromisso em avaliar esta última etapa e trabalho da minha jornada acadêmica, como também terem sidos conselheiros importantes para comigo;

Ao meu amigo Kleisser Vinícius Ferreira, companheiro na condução e avaliação do experimento;

A Universidade Federal de Uberlândia, especialmente o *campus* Monte Carmelo e o seu corpo docente, por terem sido o guia na minha formação e aqueles que construíram um futuro profissional agrônomo.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil pelo apoio no trabalho.

E todos aqueles que diretamente e indiretamente me apoiaram a chegar nesta etapa da minha vida.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVO(S).....	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 Agronegócio da soja.....	13
3.2 Fósforo no metabolismo da soja	13
3.3 Manejo do P em diferentes texturas do solo.....	14
3.4 Fungos micorrízicos arbusculares.....	16
3.5 Fungos micorrízicos arbusculares e sua interação com fósforo	17
4 MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1 Avaliações agronômicas	24
4.1.1 Massa seca de parte aérea (MSPA)	24
4.1.2 Número de vagens (VG).....	24
4.1.3 Massa de 100 grãos (PG)	25
4.1.4 Produtividade (PRD)	25
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
6 CONCLUSÕES.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

RESUMO

O desenvolvimento de alternativas que amenizem o estresse do fósforo (P) para plantas cultivadas é uma alternativa sustentável para mitigar os impactos negativos da falta de fertilizantes fosfatados e reduzir a dependência do Brasil pelo insumo. O P quando aplicado via fertilização, sofre diversos processos químicos e físicos, chamados de fixação, onde quase metade do montante de P aplicado fica fixado ao solo em formas não disponíveis para absorção. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são microrganismos presentes no solo que realizam simbiose mutualística com as raízes das plantas, e atuam como extensões radiculares no solo, buscando nutrientes longe do sítio de absorção radicular, e dessa forma ajudando no desenvolvimento das plantas. As diferentes texturas de solo, principalmente argilosa e arenosa, tem diferentes características que impactam na disponibilidade do P, e podem ter alguma influência na eficiência da micorriza. O presente estudo teve como objetivo investigar amenização do estresse do P, em duas doses diferentes, na presença de FMA, em diferentes texturas do solo e seus efeitos na produtividade da soja, a hipótese da proposta é que as plantas de soja micorrizadas vão apresentar melhor desempenho em aspectos agronômicos. O experimento foi implantado sob delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x2x2 com quatro repetições, totalizando 32 parcelas, com os seguintes fatores: P (-P: 150 mg kg P e +P: 300 mg kg P) x FMA (+FMA: presença e -FMA: ausência) x textura do solo (LVd: textura argilosa e LAd: textura arenosa). A cultivar de soja escolhida foi a 67I68RSF foi semeada em vasos de 12 dm⁻³, conduzidos em casa de vegetação. Para os tratamentos com inoculação micorriza, foi depositado um mix com 6 espécies de FMA a 5 cm de profundidade na semeadura do experimento. Durante a pesquisa foram analisados os aspectos agronômicos da cultura da soja, massa seca de parte aérea (MSPA), número de vagens (NV), peso de 100 grãos (PG) e produtividade da soja (PRD). Para a variável MSPA, o tratamento +P/LVd/+FMA, apresentou o melhor resultado, estatisticamente superior a todos os outros tratamentos. E os tratamentos com -P/-FMA, para as duas texturas de solo, apresentaram os piores desempenhos. Para a variável NV, todos os tratamentos com +FMA foram superiores estatisticamente que os tratamentos com -FMA. Para a variável PG, não houve quaisquer diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. Para a variável PRD, todos os tratamentos com +FMA foram superiores estatisticamente que os tratamentos com -FMA. Conclui-se com a pesquisa que a inoculação com FMA proporcionou melhores resultados nas seguintes variáveis de aspecto agronômico: massa seca de parte aérea, número de vagens e produtividade. A inoculação de FMA teve efeito positivo no desempenho em número de vagens e produtividade de plantas de soja induzidas ao estresse de P, mas não houve de efeito no desempenho dos FMA nas diferentes texturas do solo.

Palavras-chave: manejo, nutrição, simbiose, micorriza, fixação, produtividade

1 INTRODUÇÃO

A soja é uma *commodity*, com grande importância econômica para o Brasil. O aumento da produtividade da cultura, na falta ou custo elevado de fertilizantes fosfatados, é um desafio para o produtor, dessa forma, pesquisas são voltadas para o tema na tentativa de contornar um dos principais problemas limitantes para a sojicultura brasileira. Quando o P é aplicado ao solo na forma de fertilizantes fosfatados, existe uma interação de ligação com os coloides do solo, onde muito do P torna-se indisponível após a aplicação do fertilizante. Essa indisponibilidade se deve as características do P e sua relação com as cargas do solo, que conferem sua rápida e forte adsorção em solos de textura mais argilosa (CORREIA et al., 2004; KLEIN, 2014; CENTENO et al., 2017; LIMA, 2020). Aliado a isso existe uma preocupação ambiental, por ser um recurso não-renovável, faz com que seja necessário um uso mais racional e utilização de métodos que aumentem a eficiência no uso do nutriente pela cultura (PANTANO et al., 2016).

Os solos tropicais são caracterizados pela intemperização, isso resulta em condições de acidez e altas concentrações de metais como ferro (Fe) e alumínio (Al). Em solos com essa característica, o P é facilmente atraído pelas cargas negativas presentes no solo, se tornando indisponível para absorção pelas plantas (FAQUIN, 1988).

Os solos argilosos são capazes de reter mais água e nutrientes. O P não é exceção, e nesse tipo de textura do solo, o P é adsorvido rapidamente após a dissolução dos fertilizantes fosfatados no solo (CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2003). Solos arenosos tem menor capacidade de retenção, e, no caso, acontece o oposto de solos argilosos, devido à falta de coloides do solo que adsorvam o elemento, este move-se para camadas mais profundas do solo (CENTENO et al., 2017).

Os fungos micorrízicos arbusculares são uma alternativa no manejo do P nos solos tropicais, uma vez que esses microrganismos realizam associações de simbiose mutualística, que é a uma interação benéfica entre diferentes organismos, na qual ambos os personagens envolvidos obtêm vantagens e benefícios mútuos, convivendo no mesmo espaço. Nesse tipo de relação simbiótica, as duas espécies envolvidas vivem em proximidade física e colaboram de forma a promover o crescimento, desenvolvimento ou sobrevivência, um do outro. É uma troca entre as plantas que fornecem carboidratos ao FMA e este, por sua vez, fornece nutrientes a planta, principalmente P (BERBARA et al., 2006).

Como as plantas têm dificuldade em encontrar P que esteja disponível para absorção no seu sítio de absorção radicular, os FMA entram como um auxiliador nesse processo. O desenvolvimento das hifas extra-radiculares, forma uma rede de filamentos pelo solo que cobre uma área muito maior que a área explorada pelas raízes, atingindo camadas e poros de solos que são inacessíveis as raízes finas das plantas, aumenta a área de contato com o solo e fornece P que as plantas não conseguem ter acesso para absorver (BERBARA et al., 2006).

A hipótese do trabalho é de que plantas de soja micorrizadas vão apresentar melhor desempenho em aspectos agronômicos.

2 OBJETIVO(S)

O objetivo dessa proposta foi investigar amenização do estresse de P na presença de FMA, com duas doses de P e duas texturas do solo e seus efeitos na produtividade da soja

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Agronegócio da soja

A estimativa de área de produção de soja no Brasil, para a safra 22/23 foi de 44.031.700 de toneladas, com uma variação de 6,1% em relação a safra 21/22. A produtividade foi de 3.537 kg/ha, com variação de 16,9%, também para a safra anterior. A estimativa de produção total do grão, para as safras 22/23 e 21/22 foi de 155.736.500 e 125.549.800, respectivamente. Segundo CONAB (2023), a produção de Minas Gerais na safra 22/23 gira em torno de 8.346,5 mil toneladas, 10% a mais que a safra anterior, confirmando-se novo recorde da série histórica da CONAB.

O mercado da soja vem crescendo a cada ano, com um consumidor que procura um alimento mais saudável, a soja se insere nessa categoria, principalmente por vegetarianos (SCHMIDT et al, 2020), que contam com opções limitadas de alimentos na dieta. Além disso, novos usos que se pode dar à soja no processamento formaram novos mercados, com consequente aumento de demanda da *commodity*, como por exemplo o biodiesel (HIRAKURI, 2020).

3.2 Fósforo no metabolismo da soja

Dentre os processos metabólicos em que o P está inserido na planta, podemos citar: armazenamento de energia, respiração, fotossíntese, fotofosforilação não-cíclica, fotofosforilação cíclica, síntese do ATP e uso da energia (MALAVOLTA, 2004). Assim podemos concluir que o desenvolvimento das plantas é afetado enormemente pela deficiência de P. Para alcançar uma boa produtividade precisamos fornecer o P através da adubação. O P e o nitrogênio (N) são comparativamente essenciais para a alta produtividade da soja, no entanto, a falta do P na planta induz nódulos de fixação biológica de N em menor quantidade, prejudicando em muito a produtividade da soja (FAQUIN, 1988).

O principal sintoma de deficiência de P é o porte reduzido das plantas e folhas, e as folhas mais velhas mostram primeiro os sintomas, porque na falta de P no solo, ele é translocado

destas folhas para as mais novas, apresentando tonalidades verde escuro tendendo ao azulado, e bordas arrouxeadas (SFREDO; BORKERT, 2004).

Na falta do P para as plantas, os efeitos negativos afetam os processos metabólicos nos quais o P está inserido. A soja por exemplo, apresenta um efeito negativo na fotossíntese, pois a falta do nutriente pode limitar a taxa fotossintética, por conta da redução de área foliar causada pela deficiência (FREDEEN; RAO; TERRY, 1989; ARAÚJO; MACHADO, 2006).

O P é exigido em quantidades menores quando comparado com outros macronutrientes, mas ainda assim é o nutriente mais limitante na produtividade, em solos não adubados, sendo que a resposta do desenvolvimento vegetal à adubação fosfatada é acentuada na maioria dos solos brasileiros, devido a sua baixa fertilidade com este nutriente (RAIJ, 2011).

3.3 Manejo do P em diferentes texturas do solo

Os solos do Cerrado brasileiro são em sua maioria caracterizados como latossolos. São conhecidos principalmente por sua intemperização, que dão a eles um grau de adsorção elevado de fosfatos, acidez elevada e com baixa saturação por bases, e no geral com altos teores de óxidos de Fe e Al (CONTE et al. 2003).

Uma das características dos solos no Cerrado é a deficiência de P. Diferente do N e K, o P é um nutriente dificilmente disponível para absorção pelas plantas (RAIJ, 2011). Aplica-se uma quantidade maior de P do que é realmente absorvido pelas plantas, e a maior parte fica indisponível, tornando o manejo deste nutriente mais complexo. Essa interação se deve a vários fatores, que incluem a interação do P com o solo e com outros nutrientes como o Al, Fe e cálcio (Ca), taxa de difusão é rápida, devido à rápida dissolução e adsorção aos coloides do solo logo após adubações fosfatadas (ARAÚJO; MACHADO, 2006).

Alguns fatores inerentes ao solo, como a sua textura, influenciam na absorção do P aplicado via adubação ao solo para a implantação e manutenção das culturas (SOUSA; LOBATO; REIN, 2004).

A classificação da textura do solo está relacionada aos valores de frações de areia, silte e argila, obtidos de amostra de solo, dentre 12 classificações, temos como principais as classes de textura muito argilosa ($> 60\%$ de argila), argilosa ($35\% \text{ a } 60\%$ de argila), média ($< 35\%$ e $> 15\%$ de argila) e arenosa ($< 15\%$ de argila) (LOPES, 1998). De acordo com Centeno (2017), foi observado em revisão bibliográfica, que solos com textura arenosa são caracterizados com

maiores deficiências de matéria orgânica e P, sendo a falta do nutriente por conta do fato de que em solos arenosos o nutriente tem maior capacidade de lixiviação. Por sua vez, a lixiviação do nutriente se deve a baixa capacidade do solo em reter o nutriente nas camadas menos profundas, por conta do valor baixo das frações de argila e silte (CORREIA et al., 2004; KLEIN, 2014; CENTENO et al., 2017).

Já em solos argilosos, o P tem alto grau de adsorção (CORREIA et al., 2004; LIMA, 2020;), devido a presença de maiores teores de argila, superiores a 35%, são mais difíceis de se realizar a penetração de raízes (KLEIN, 2014; CENTENO et al., 2017), o que pode-se correlacionar com a maior capacidade de retenção de água, maior teor de matéria orgânica, maior sensibilidade à compactação do solo e redução de perdas por lixiviação.

A adubação fosfatada aliada a correção da acidez pela calagem, safra após safra, são fatores determinantes na diminuição de deficiência de P nos solos, visto todas as características e dinâmicas que este nutriente tem com o solo e com outros nutrientes que o tornam indisponível e limitante na produção agrícola (RAIJ, 2011). Nesse sentido é necessário eficiência no uso de fertilizantes, o que exige atenção especial em alguns aspectos da adubação. Dentre esses aspectos pode-se incluir: calagem, fonte dos fertilizantes, plantio direto ou convencional, forma de aplicação, época e dose (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2014).

Para alcançar uma boa produtividade precisamos fornecer o P através da adubação fosfatada, mas, antes de fazer a adubação é preciso verificar o pH do solo. De acordo com Raij (2011), existem resultados experimentais comprovando o aumento da disponibilidade de P para absorção, com a correção de calagem, logo, correção do pH a níveis ideais. A faixa ideal de pH (em água) para uma boa disponibilidade do P é em torno de 6,0 a 6,5. Resultados obtidos indicam o dobro de produtividade na cultura da soja em área de plantio com correção de acidez por calagem, quando comparada a área não corrigida, podendo inferir que a correção da acidez aumenta disponibilidade do nutriente, aumenta a produtividade e ainda há a vantagem de economizar com adubação fosfatada (SOUZA; LOBATO; REIN, 2004). Outro fator sobre acidez no solo e P, é que solos ácidos se caracterizam pela ocorrência de elevados teores de Al (OLIVEIRA et al., 2005) e Fe e como já comentado acima, tendo o P grande afinidade por esses elementos, ao se unirem formam variados compostos não absorvidos pelas plantas, assim como, quando o pH se eleva o P pode se ligar ao Ca, também se tornando indisponível para absorção.

Os fertilizantes disponíveis no mercado podem ser classificados de acordo com a sua solubilidade em água, citrato neutro de amônio e ácido cítrico. De acordo com a sua solubilidade, os fertilizantes têm determinada eficiência agronômica. Em relação aos fertilizantes fosfatados (fosfato monoamônico, fosfato diamônico, superfosfato simples,

superfosfato triplo e fosfatos naturais), cada qual com a sua peculiaridade, exige uma forma de aplicação (a lanço, com ou sem incorporação, ou no sulco de plantio, em cova ou em faixas), sob sistema de plantio direto ou convencional, para maior eficiência agronômica (SOUSA; LOBATO; REIN, 2004).

3.4 Fungos micorrízicos arbusculares

Os fungos micorrízicos arbusculares são personagens importantes na sustentabilidade agrícola, uma vez que atuam no desenvolvimento de comunidades vegetais. As teorias de sua origem remetem ao estabelecimento das plantas terrestres, influenciando na nutrição de plantas e drenando o carbono atmosférico (BERBARA et al., 2006; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

São conhecidos pela associação simbiótica que fazem com plantas. Sendo simbiótica mutualística pois ambos os simbiontes convivem se beneficiando dessa associação, suprindo um, as necessidades do outro (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Especificamente na soja, a simbiose mutualística é nutricional, onde o simbionte autotrófico fornece carbono ao simbionte micorrízico, que, por sua vez, fornece melhoria na absorção de água e nutrientes, isso aumenta a competitividade da planta e, consequentemente, sua produtividade (BERBARA et al., 2006).

Os FMA são componentes importantes na sustentabilidade agrícola, atuando sobre a diversidade vegetal e manutenção de ecossistemas, com efeito positivo sobre absorção de nutrientes, principalmente P, que é um recurso natural não-renovável (BERBARA et al., 2006; SOUZA et al., 2010; BERUDE et al., 2015). Outra função importante dos FMA é a estruturação do solo, eles contribuem para a manutenção da estrutura do solo com o crescimento do seu micélio de hifas extra-radiculares (FOLLI-PEREIRA et al., 2012)

Essas características fazem com que a simbiose micorrízica arbuscular tenha potencial biotecnológico e ecológico imenso ainda a ser explorado.

Os FMA são microrganismos da ordem Glomales, filo Glomeromycota, vem de cinco famílias, Gigasporaceae, Glomeraceae, Acaulosporaceae, Paraglomaceae e Archaeosporaceae (FOLLI-PEREIRA et al., 2012). São todos simbiontes obrigatórios que estabelecem associação com as plantas de forma simbiótica mutualista (SOUZA et al., 2010; BERUDE et al., 2015).

Moreira; Siqueira (2006) e Berbara et al. (2006) coincidem suas descrições dos tipos anatômicos dos FMA: *Arum*, nos quais as hifas crescem intercelularmente, no córtex da planta, de maneira linear e longitudinal, sendo mais comumente encontrado na maioria das culturas

cultivadas, caracterizadas também pelo rápido crescimento e espalhamento micelial e *Paris*, que se desenvolve intracelularmente, enovelando-se com hifas de diâmetro maior. Ambos os tipos formam arbúsculos: estruturas chaves da simbiose, onde ocorrem as trocas que favorecem ambos os simbiontes.

Além das hifas intra-radiculares, os FMA têm hifas extra-radiculares (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Quanto mais finas as hifas extra-radiculares, maiores os comprimentos, alcançando lugares que as raízes da planta de soja não conseguem e, consequentemente, aumentando a área de contato com o solo e absorção de nutrientes longe do sítio de absorção das raízes, principalmente de nutrientes que irão limitar a produtividade por conta da sua disponibilidade (SOUSA; LOBATO; REIN, 2004; BERBARA et al., 2006).

Os principais pontos para entendermos como a simbiose é possível são: estruturas chamadas de arbúsculos, onde ocorrem as trocas nutricionais dos simbiontes, de carbono, nutrientes e água, e as hifas intra e extra-radiculares, como já comentado. Os arbúsculos são resultado da interação de hifas do fungo e a plasmalema de algumas células do córtex. E dentro desses arbúsculos, as hifas são extremamente ramificadas e finas, para que haja maior área de contato entre os simbiontes, e as trocas nutricionais sejam mais eficientes (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; BERBARA et al., 2006)

A resposta de eficiência dos FMA vai depender de fatores como: os dois agentes simbiontes e sua compatibilidade genética, tipo de solo, e as condições em que esse solo se encontra (BALOTA; MACHINESKI; STENZEL, 2011).

3.5 Fungos micorrízicos arbusculares e sua interação com fósforo

Os FMA, são reconhecidamente relacionados ao benefício de aumento no estímulo do crescimento de plantas, diretamente por meio da absorção de água e nutrientes, principalmente aqueles com baixa mobilidade no solo, como por exemplo, o P (BALOTA; MACHINESKI; STENZEL, 2011).

Os solos tropicais que são por natureza intemperizados, e apresentam baixos teores de P (MARCELINO, 2012), sobre essa situação de estresse nutricional, os FMA atuam, beneficiando as plantas ao mobilizar este elemento no solo (ABREU et al., 2018).

Dentre os motivos pelos quais os FMA contribuem para o aumento na absorção de P: maiores taxas de influxo por unidade de superfície, fluxo contínuo de P ao hospedeiro mesmo em

condições de estresse, maior área de contato, propiciado pelas hifas extra-radiculares, para absorção, alcance de áreas inatingíveis pelo sistema radicular, liberação de P adsorvido pela ação de enzimas catalisadoras produzidas pelos FMA, permitindo absorção na forma iônica, dentro dos arbúsculos (MARSCHNER; DELL, 1994; BERBARA et al., 2006).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado entre outubro/2022 e março/2023. O experimento foi conduzido em casa de vegetação (estufa) ($18^{\circ}43'36.56"S$, $47^{\circ}31'29.46"O$) 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^{-3}) que foram conduzidos sobre tijolos de cerâmica. O delineamento foi em blocos casualizados, em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$, com 4 repetições. Os fatores do experimento foram: P (-P: 150 mg kg P e +P: 300 mg kg P) x FMA (+FMA: presença e -FMA: ausência) x textura do solo (LVd: textura argilosa e LAd: textura arenosa).

A cultivar escolhida para o experimento, apresenta grupo de maturação 6.7, hábito de crescimento indeterminado, alta exigência em fertilidade do solo e a janela de plantio para a região 302 (Alto Paranaíba, Minas Gerais, Brasil), compreende de 20 de outubro a 20 de novembro.

Foi utilizado como fonte de P, superfosfato simples, com os seguintes teores de nutrientes: $\text{P}_2\text{O}_5 = 18\%$, S = 10% e Ca = 18%.

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 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 solo)
<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
Total	742 esporos g⁻¹

Duas diferentes texturas de solo foram utilizadas na pesquisa (SANTOS et al., 2018): Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) com textura argilosa, coletado na mata nativa ($18^{\circ} 43'48,3''$ S, $47^{\circ} 30'16,6''$ W) e Latossolo Amarelo Distrófico (LAd) com textura arenosa coletado em campo natural ($18^{\circ} 54'12,0''$ S, $47^{\circ} 35'50,5''$ W). Os solos foram coletados e amostrados a uma profundidade de 0 a 20 cm, e enviados ao laboratório para determinação das características químicas e físicas (Tabela 2) e da classificação pedológica.

Tabela 2. Características químicas e físicas dos tipos do solo (LVd e LAd) antes da adubação do plantio.

Química ¹	unidades	LVd	LAd
pH in H ₂ O		5,2	4,2
pH		4,9	3,3
P meh,	mg dm ⁻³	0,1	27
P total	mg dm ⁻³	165	0,23
K	mg dm ⁻³	28	0,09
Ca	cmol _c dm ⁻³	0,06	0,33
Mg	cmol _c dm ⁻³	0,04	1,40
Al	cmol _c dm ⁻³	0,25	0,39
H+Al	cmol _c dm ⁻³	2,40	0,72
SB	cmol _c dm ⁻³	0,17	1,79
t	cmol _c dm ⁻³	0,42	22
T	cmol _c dm ⁻³	2,57	46

V	%	7	1,4
m	%	60	0,04
MO	dag kg ⁻¹	2,3	0,6
B	mg dm ⁻³	0,04	10
Cu	mg dm ⁻³	0,4	2,1
Fe	mg dm ⁻³	11	10
Mn	mg dm ⁻³	4,7	2,1
Zn	mg dm ⁻³	0,8	8,7
<hr/>			
Physical²			
Sand	g kg ⁻¹	305	825
Silt	g kg ⁻¹	75	25
Clay	g kg ⁻¹	620	150

¹pH 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. ²A granulometria do solo foi determinada pelo método da pipeta.

Com os tratamentos determinados, o croqui foi elaborado em delineamento de blocos casualizados (Figura 1).

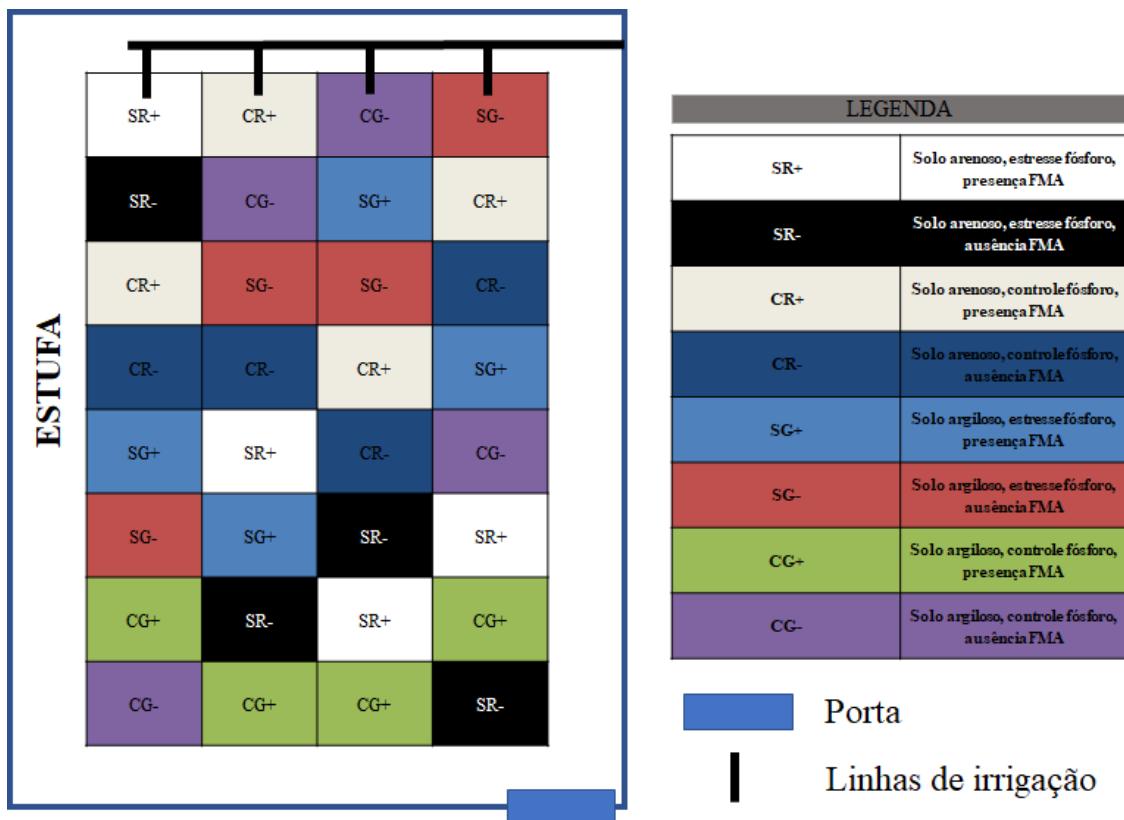


Figura 1. Croqui e área experimental.

Após a elaboração do croqui, deu-se seguimento ao experimento e primeiro foi realizado a correção de acidez do solo, que seguiu as recomendações de Ribeiro et al., (1999), visando neutralizar Al^{3+} e aumentar os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} . O calcário dolomítico utilizado para corrigir a acidez do solo possui carbonato de Ca (CaCO_3) e carbonato de magnésio (MgCO_3). Utilizou-se um reagente puro ($\text{MgO} = 6$ a 8%, $\text{CaO} = 45$ a 48%, poder relativo de neutralização total = 85%), que foi aplicado e misturado ao solo no dia 7 de outubro de 2022. Para a aplicação do calcário, com o auxílio de lona de plástico, misturou-se as doses de calcário juntamente com o material de solo até atingirem homogeneidade na mistura, então as parcelas foram acondicionadas em sacos plásticos, transferidas para os vasos, umedecidas com um padrão de 1,5 L de água e incubadas (mantém-se os sacos fechados) por 25 dias para favorecer a reação corretiva do solo (Imagem 1). No dia 1 de novembro de 2022, os sacos foram abertos para secar o solo e prosseguir-se com a condução do experimento.

O próximo passo foi a adubação de base (8 de novembro de 2022), onde foi aplicado por vaso: 1,6 g de ureia ($\text{CO}[\text{NH}_2]_2$), 24 g de fertilizante superfosfato simples ($\text{Ca}[\text{H}_2\text{PO}_4]_2 + \text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) para os tratamentos com dose cheia de P e 12 g para os tratamentos com meia dose, 1,4 g de sulfato de potássio (K_2SO_4) e 2,4 g de sulfato de amônio ($[\text{NH}_4]_2\text{SO}_4$).

A forma de aplicação foi semelhante à de calcário, com o auxílio de lona, misturou-se as doses de fertilizantes juntamente com o solo dos vasos até atingirem homogeneidade na mistura.

A semeadura foi realizada dia 10 de novembro de 2022. Nesse dia, foram depositados 5 g do material de fungo, a 5 cm de profundidade do vaso, nas parcelas com presença de FMA. Posteriormente, três sementes da cultivar 67I68RSF foram semeadas a 3 cm de profundidade. No mesmo momento, foi realizado a adubação de micronutrientes, para tal, os seguintes micronutrientes foram diluídos em 1 L de água morna: 0,041 g de ácido bórico (H_3BO_3), 2,82 g de sulfato de cobre ($CuSO_4$), 0,13 g de molibdato de amônio ($NH_4Mo_7O_{24}$) e 8,54 g de sulfato de zinco ($ZnSO_4$), e aplicado 30 ml dessa solução nutritiva por vaso, com o uso de uma seringa de plástico, a uma distância de 5 cm das sementes e a 2 cm de profundidade.

A adubação de cobertura foi realizada em duas parcelas. Para a primeira parcela (1 de dezembro de 2022) diluiu-se 107 g de $CO[NH_2]_2$ para 1 L de água e 67 g de K_2SO_4 para 1 L de água, e foi aplicado 30 ml de cada solução por vaso a uma distância de 5 cm das plântulas e a 2 cm de profundidade, com o auxílio de uma seringa de plástico. A segunda parcela (19 de dezembro de 2022) diluiu-se 20 g $CO[NH_2]_2$ para 1 L de água e 46 g de K_2SO_4 para 1 L de água, com o método de aplicação igual ao da primeira parcela.

As recomendações de adubação para macronutrientes e micronutrientes foram baseadas nas recomendações de Novais et al. (1991) e adaptado por Marques et al. (2021).

No dia 2 de dezembro de 2022, foi realizado raleio manual dos vasos, deixando apenas uma planta por vaso em estágio V2.

Quanto ao manejo fitossanitário de daninhos, foi realizado capina manual. Para o manejo de insetos praga, dia 14 de dezembro de 2022, aplicação de inseticida de contato e ingestão, do grupo químico dos piretróides, bifentrina com zeta-cipermetrina (ingredientes ativos nas concentrações de 18 e 20%, respectivamente) na dose de 40 ml ha, volume de calda de 200 L ha com o auxílio de bomba costal de 20 L para controle de *Chrysodeixis includens*. Preventivamente ao aparecimento de doenças foliares, duas aplicações de fungicida, sendo a primeira no dia 22 de dezembro de 2022, fungicida composto por epoxiconazol, fluxapiroxade e piraclostrobina (ingredientes ativos nas concentrações de 5, 5 e 8,1%, respectivamente), e a segunda aplicação 14 dias após a primeira aplicação. Ambas as aplicações na dose de 800 ml ha, com volume de calda de 200 L ha, com auxílio de bomba costal de 20 L.

Para que não houvesse desuniformidade na irrigação, e evitar que as plantas fossem submetidas à estresse hídrico, foi implantado sistema de irrigação por gotejo superficial, que foi suspenso acima dos vasos com uma estrutura de madeiras e estacas (Imagem 2). Os gotejadores com vazão de 1,6 L por hora a cada 60 centímetros (espaçamento dos vasos),

trabalhando em pressão de 22 metros de coluna d'água (m.c.a.), exercido por gravidade de caixa d'água do campus, sendo apenas 1 setor, automatizado por controlador de irrigação marca Hunter, modelo Pro-C (Imagem 3) e uma válvula solenoide. As condições climáticas do período de condução do experimento estão descritas na tabela 3.

Tabela 3. Condições de temperatura média, máxima e mínima diárias, e umidade relativa do período de condução do experimento.

Data	Tméd	Tmáx	Tmín	UR%
01/11/2022	22,82292	29,41	19,18	83,40849
02/11/2022	20,3851	24,38	16,64	82,90344
03/11/2022	17,6724	21,1	15,18	79,48865
04/11/2022	19,94031	27,37	12,96	66,56609
05/11/2022	21,5501	28,72	15,99	61,83245
06/11/2022	22,6301	29,56	16,14	60,28198
07/11/2022	21,39177	30,45	16,22	75,45609
08/11/2022	21,24385	31,37	16,25	80,8599
09/11/2022	21,87917	29,63	16,83	79,56729
10/11/2022	23,21198	31,78	16,48	75,47161
11/11/2022	22,20604	31,36	16,57	78,9562
12/11/2022	23,17948	30,53	18,67	79,5876
13/11/2022	24,50573	32,12	18,17	72,16167
14/11/2022	21,62115	28,04	19,2	89,62349
15/11/2022	23,1674	30	17,48	81,97755

16/11/2022	23,71563	31,16	17,66	76,76531
17/11/2022	24,45354	32,8	18,22	70,06125
18/11/2022	24,82313	31,22	19,59	68,49063
19/11/2022	21,6876	26,94	17,51	78,77771
20/11/2022	23,01948	29,71	17,27	71,86849

4.1 Avaliações agronômicas

Os dados foram submetidos à análise de variância, teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, de acordo com o proposto por Steel et al. (2006). Além disso os desvios padrões foram calculados e aplicados com os estimadores de regressão e de correlação, quando pertinentes, (Pearson ou Spearman) usando o software SAS (SAS INSTITUTE, 1996).

4.1.1 Massa seca de parte aérea (MSPA)

As plantas foram coletadas após a colheita, para a determinação da massa seca sendo separadas em raízes e parte aérea (caule e folhas). Os componentes foram secos em estufa a 70 °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 foi processada em conjunto, e após o término do processamento, o material foi pesado em balança digital de precisão da marca BEL Engineering, modelo Mark M214A (Imagen 4).

4.1.2 Número de vagens (VG)

A colheita foi realizada manualmente no dia 21 de março de 2023, totalizando 131 dias de ciclo. As vagens foram coletadas e armazenadas em sacos de papel pardo posteriormente foi realizada a contagem do número de vagens por planta. Em seguida também foi realizada a debulha manual para a avaliação de massa de 100 grãos.

4.1.3 Massa de 100 grãos (PG)

Para a avaliação de massa de 100 grãos, foram separados 100 grãos de cada tratamento e pesados em balança digital de precisão da marca BEL Engineering, modelo Mark M214A (Imagem 4).

4.1.4 Produtividade (PRD)

A produtividade foi realizada com base no número total de vagens por planta, na média do número de sementes por vagem, na umidade 13% e massa de 100 sementes. A produtividade foi mensurada com base no número total de vagens por planta e massa de 100 grãos, sendo calculadas as médias em g parcela.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para MSPA (Figura 2), o melhor desempenho foi para o tratamento +P/LVd/+FMA. Já para os tratamentos em função de -FMA, o melhor desempenho foi para os tratamentos com +P, independentemente da textura do solo. Não diferiram estatisticamente os tratamentos +P/LAd/+FMA e -P/LVd/+FMA, o que pode inferir que existe algum efeito positivo dos FMA no ganho de massa seca, mesmo que os tratamentos sejam de textura diferentes, plantas conduzidas sob algum estresse de P, podem ser beneficiadas com a simbiose micorriza. Além do mais, os tratamentos com -P/+FMA, foram superiores aos tratamentos com -P/-FMA, mais um ponto reforçando o efeito benéfico dos FMA na variável de MSPA.

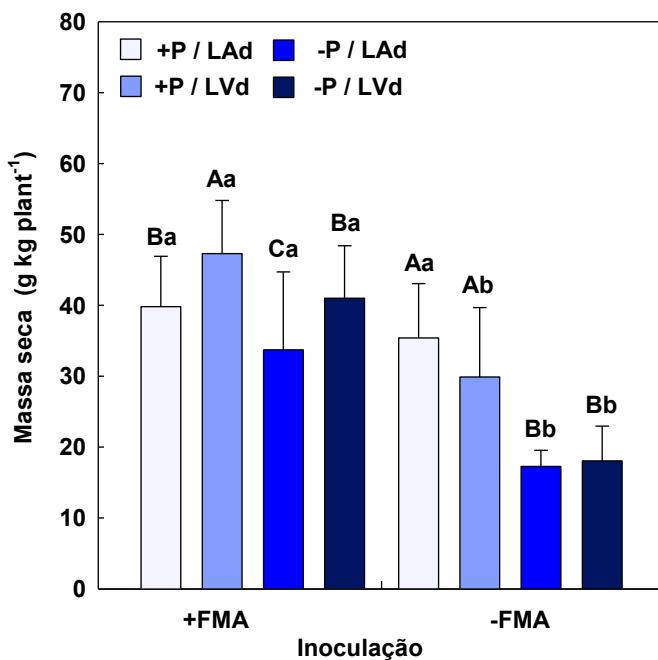


Figura 2. Massa seca da parte aérea da soja em função da inoculação micorrízica (+FMA: presença, -FMA: ausência), duas doses de P (-P: 150 mg P kg de solo, +P: 300 mg P kg de solo) e em duas texturas do solo (LVd: textura argilosa, LAd: textura arenosa). Letras maiúsculas com cores diferentes comparam na coluna e letras minúsculas (mesma cor) comparam entre os tratamentos, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

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 MSPA, com inoculação micorriza, é necessária uma dose de 116 mg kg⁻¹ de P, e nos tratamentos sem inoculação, é necessária uma dose de 124 mg kg⁻¹ de P para que se observe o mesmo desempenho na variável.

Os tratamentos com -P/+FMA, não foram superiores ou iguais estatisticamente que os tratamentos com +P/+FMA (Figura 2). Resultados que corroboram com os encontrados por Cruz et al. (2017), em que a inoculação de *Glomus clarum* e *Stecutellospora heterogama* no feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.), foram mais efetivos na produção de vagens por planta, comparando com os tratamentos sem inoculação de FMA.

Os tratamentos com +FMA e -P foram superiores na produção de vagens aos tratamentos com -FMA, confirmando uma relação de ganho no número de vagens com a inoculação micorríza, implicando eficiência dos FMA em aumentar o número de vagens, este

resultado corrobora com os de Pinheiro (2022), em pesquisa com feijão-caupi, os tratamentos com solo corrigido, adubação recomendada e micorriza apresentaram melhor desempenho quando comparados aos tratamentos sem micorriza, ou com micorriza associada a apenas adubação ou apenas calagem.

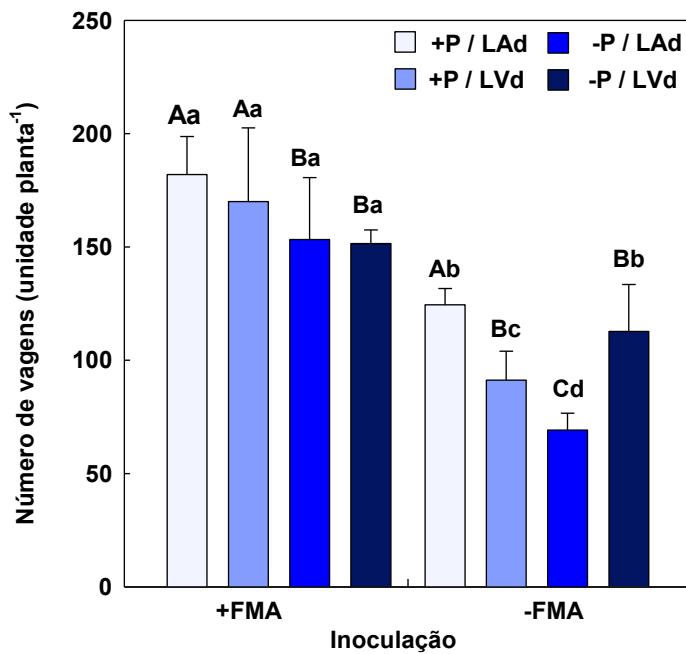


Figura 3. Número de vagens de soja em função da inoculação micorrízica (+FMA: presença, -FMA: ausência), duas doses de P (-P: 150 mg P kg de solo, +P: 300 mg P kg de solo) e em duas texturas do solo (LVd: textura argilosa, LAd: textura arenosa). Letras maiúsculas com cores diferentes comparam na coluna e letras minúsculas (mesma cor) comparam entre os tratamentos, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Para massa de 100 grãos (Figura 4), não houve diferenças estatística significativa entre os tratamentos. Esses resultados indicam que os fatores da pesquisa, associados uns aos outros, quando comparados entre si, não influenciam na massa do grão.

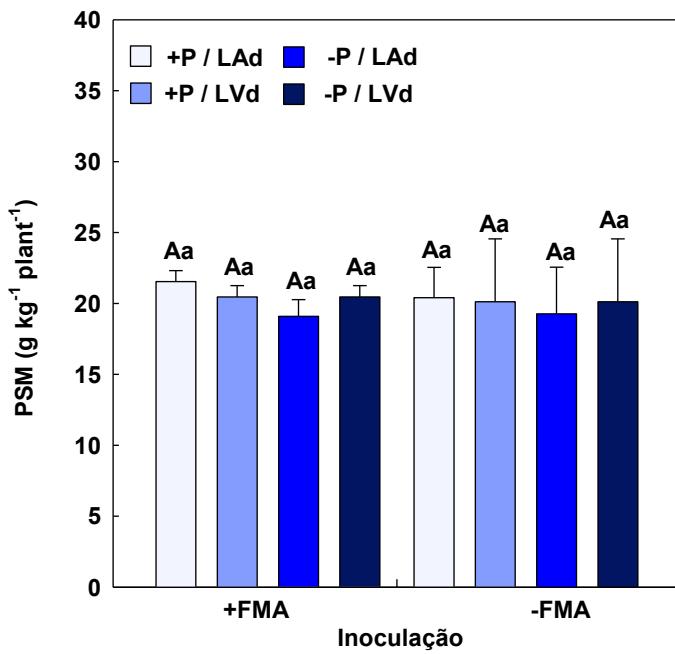


Figura 4. Massa de 100 grãos de soja em função da inoculação micorrízica (+FMA: presença, -FMA: ausência), duas doses de P (-P: 150 mg P kg de solo, +P: 300 mg P kg de solo) e em duas texturas do solo (LVd: textura argilosa, LAd: textura arenosa). Letras maiúsculas com cores diferentes compararam na coluna e letras minúsculas (mesma cor) compararam entre os tratamentos, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Pinheiro (2022), também identificou não diferença estatística significativa entre os tratamentos na variável de massa de 100 grãos. Soares (2022), identificou diferença estatística, no peso de mil grãos da soja, entre tratamentos com e sem inoculação de FMA, justificando os ganhos na associação micorrízica pelo maior aporte nutricional e outros efeitos produtivos. Apesar dos FMA não apresentarem um efeito positivo no ganho de massa de 100 grãos, por outro lado, não apresenta um efeito negativo, e isto deve ser levado em consideração, uma vez que não vai afetar negativamente os ganhos de produtividade.

O primeiro ponto a se inferir em relação a avaliação de produtividade é que todos os tratamentos com +FMA, foram superiores estatisticamente que os tratamentos com -FMA (Figura 5). Dias e Andrade (2018), identificaram na soja, em tratamentos inoculados com FMA, melhora na produtividade quando comparados aos tratamentos sem inoculação. Soares (2022), também identificou melhores médias de produtividade de soja em tratamentos inoculados com FMA, apesar de os resultados não terem diferenciado estatisticamente.

Em ambos os casos, +FMA e -FMA, a dose de +P, foi superior em desempenho, comparado aos tratamentos com -P. adubações fosfatadas também influenciaram positivamente, incrementando produtividade na soja, nos estudos de Broch et al. (2008),

Moterle et al. (2009), Gonçalves Júnior et al. (2010) e Silva (2022). Em função de -P, os tratamentos com LVd foram superiores aos tratamentos com LAd, mesmo em condições de +FMA ou -FMA, mas não há indícios na literatura que corroborem ou justifiquem o melhor desempenho de solos de textura argilosa sobre a arenosa, em função da indução ao estresse de P.

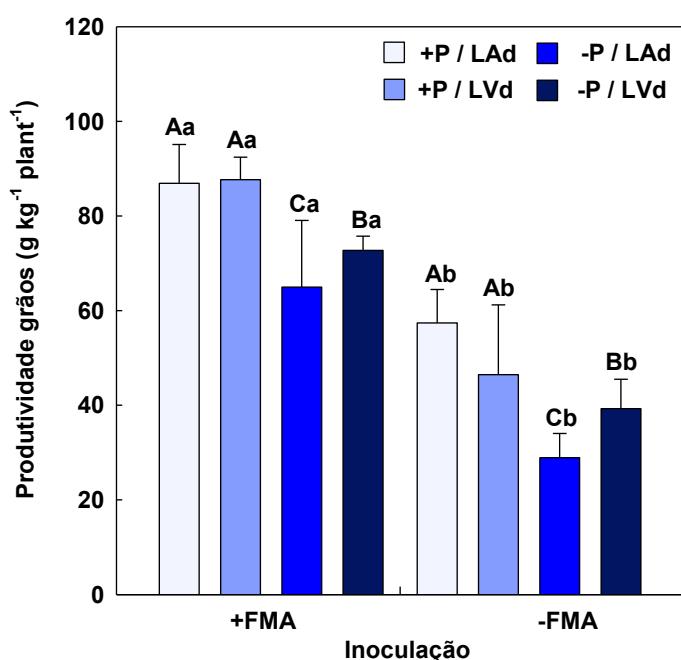


Figura 5. Produtividade da planta de soja em função da inoculação micorrízica (+FMA: presença, -FMA: ausência), duas doses de P (-P: 150 mg P kg de solo, +P: 300 mg P kg de solo) e em duas texturas do solo (LVd: textura argilosa, LAd: textura arenosa). Letras maiúsculas com cores diferentes comparam na coluna e letras minúsculas (mesma cor) comparam entre os tratamentos, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

6 CONCLUSÕES

Conclui-se com a pesquisa que a inoculação com FMA proporcionou melhores resultados nas seguintes variáveis de aspecto agronômico: MSPA, VG e PRD.

A inoculação de FMA teve efeito positivo no desempenho em número de vagens e produtividade de plantas de soja induzidas ao estresse de P com metade da dose recomendada para condução de plantas de soja em vaso.

As doses de P, FMA e texturas de solo não influenciaram positivamente ou negativamente no PG.

Não é possível identificar efeito das diferentes texturas de solo, no desempenho dos FMA, por conta de as respostas em desempenho dos tratamentos não terem apresentado algum padrão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, G. M. et al. Crescimento inicial e absorção de fósforo e nitrogênio de *Enterolobium contortisiliquum* inoculada com fungos micorrízicos arbusculares. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 156–164, jan. 2018.
- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. DE T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 256–2006.
- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; STENZEL, N. M. C. Resposta da acerola à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em solo com diferentes níveis de fósforo. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 166–175, 2011.
- BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, H. M. A. C. Fungos Micorrízicos Arbusculares: Muito além da nutrição. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 53–78.
- BERUDE, M. et al. Micorrizas e sua importância agroecológica. **Enciclopédia biosfera**, v. 11, n. 22, 17 dez. 2015.
- BROCH, D. L. et al. Influência no Rendimento de Plantas de Soja pela Aplicação de Fósforo, Calcário e Gesso em um Latossolo Sob Plantio Direto. **RECEN - Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 10, n. 2, p. 211–220, 2008.
- CENTENO, L. N. et al. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 4, n. 1, p. 31-37, 2017.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Safra Brasileira de Grãos. Brasília, DF: Conab, 2023. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos> >. Último acesso em 04 de junho de 2023.
- CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumuladas em Latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 893–900, out. 2003.

CORREIA, J. R.; REATTO, A.; SPERA, S. T. Solos e suas relações com o uso e o manejo. In: SOUSA, D. M. G. DE.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 29–58.

CRUZ, E. DA C. C. et al. Doses de fósforo e fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e produção do feijão-caipi em Roraima. **Boletim do Museu Integrado de Roraima (Online)**, v. 11, n. 01, p. 21–28, 4 maio 2017.

DIAS, G. A. O.; ANDRADE FILHO, G. **Avaliação da eficiência do inoculante de fungo de fungo micorrízico arbuscular *Glomus clarum* na produção das culturas de soja (*Glycine max*) e de algodão (*Gossypium hirsutum* L) em condições de campo**. In: Encontro Anual de Iniciação Tecnológica e Inovação. Anais do 8º Encontro Anual de Iniciação Tecnológica e Inovação. Maringá: Universidade Federal de Maringá, 2018.

FAQUIN, V. **Cinética da absorção de fosfato, nutrição mineral, crescimento e produção da soja sob influência de micorriza vesículo-arbuscular (MVA)**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, set. 1988.

FOLLI-PEREIRA, M. DA S. et al. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1663–1679, dez. 2012.

FREDEEN, A. L.; RAO, I. M.; TERRY, N. Influence of Phosphorus Nutrition on Growth and Carbon Partitioning in *Glycine max*. **Plant Physiology**, v. 89, n. 1, p. 225–230, 1 jan. 1989.

GONÇALVES JÚNIOR, A. C. et al. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p. 660–666, jun. 2010.

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.

HIRAKURI, M. H. O contexto econômico da produção de soja. In: SEIXAS, C. D. S. et al. (Eds.). **Tecnologias de Produção de Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 15–32.

KLEIN, V. A. **Física do Solo**. 3. ed. [s.l.] Universidade de Passo Fundo, 2014.

LIMA, R. L. F. DE A. Micorrizas arbusculares e absorção de fósforo em função da capacidade de fixação de fósforo do solo e da competição com a microbiota. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 1062, 1 jun. 2020.

LOPES, A. S. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, 1998.

MALAVOLTA, E. O fósforo na planta e interações com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (1). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAPOS, 2004. p. 35–105.

MARCELINO, D. A. **Atributos químicos do solo adubado com torta de filtro e fósforo mineral em diferentes proporções**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) —Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2012.

MARQUES, D. J. et al. Morphophysiological Changes Resulting from the Application of Silicon in Corn Plants Under Water Stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 41, n. 2, p. 569–584, 22 fev. 2022.

MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, v. 159, n. 1, p. 89–102, fev. 1994.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006.

MOTERLE, L. M. et al. Influência da adubação com fósforo e potássio na emergência das plântulas e produtividade da cultura da soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, p. 256–265, 2009.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Teste de ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A.J. et al. (3º). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: Embrapa-SEA, 1991.

OLIVEIRA, I. P. et al. Considerações sobre a acidez dos solos de cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, 2005.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. et al. Soja. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Eds.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: culturas**. Piracicaba: Instituto Internacional de Nutrição de Plantas, 2014. v. 3p. 5–35.

PANTANO, G. et al. SUSTAINABILITY IN PHOSPHORUS USE: A QUESTION OF WATER AND FOOD SECURITY. **Química Nova**, 2016.

PINHEIRO, V. J. F. **Micorriza arbuscular associada à correção e adubação do solo no cultivo de feijão-caupi em plantio direto**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2022.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes**. [s.l.] International Plant Nutrition Institute (IPNI), 2011.

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

SANTOS, H. G. et al. **Brazilian Soil Classification System**. Brasília: Embrapa Soils, 2018.

SAS Institute. SAS/STAT User's Guid, Version 6. 12 SAS Institute, Cary, NC, 1996.

SCHMIDT, C. A. P. et al. Previsões estatísticas com base em séries temporais da cultura da soja no Brasil. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, v. 24, n. 2, p. 2–17, 2020.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M. Deficiências e toxicidades de nutrientes em plantas de soja: descrição dos sintomas e ilustração com fotos. **Embrapa Soja**, p. 44, 2004.

SILVA, A. C. **Fontes de fósforo na nutrição e na produtividade da cultura da soja**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agronômica) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Jaboticabal, 2022.

SOARES, D. C. Efeitos da aplicação de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) nos componentes de rendimento e resposta espectral da cultura da soja em ano de estresse hídrico. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) - **Universidade Federal de Santa Maria**, Santa Maria, 2022.

SOUSA, D. M. G. DE; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G. DE; LOBATO, EDSON. (Eds.). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 147–167.

SOUZA, F. A. et al. Classificação e taxonomia dos Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA) e sua diversidade e ocorrência no Brasil. In: SIQUEIRA, J. O. et al. (Eds.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: Editora UFLA, 2010. p. 15–73.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKY, D. A. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. 3. ed. New York, 2006.

ANEXOS



Imagen 1. Incubação dos vasos para reação do calcário corretivo.



Imagen 2. Blocos do experimento e sistema de irrigação por gotejo superficial suspenso por estrutura de estacas.



Imagen 3. Controlador de irrigação Hunter Pro-C.



Imagen 4. Balança digital de precisão BEL Engineering, Mark M214A.