

INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Câmpus Rio Verde

BACHARELADO EM AGRONOMIA

**TOLERÂNCIA FISIOLÓGICA DE PLANTAS DE SOJA
SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE DÉFICIT
HÍDRICO INOCULADAS COM FUNGOS MICORRIZÍCOS
ARBUSCULARES**

LAIS NOAMY DA SILVA

RIO VERDE, GO

2022

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
BACHARELADO EM AGRONOMIA

**TOLERÂNCIA FISIOLÓGICA DE PLANTAS DE SOJA SUBMETIDAS
A DIFERENTES NÍVEIS DE DÉFICIT HÍDRICO INOCULADAS COM
FUNGOS MICORRIZÍCOS ARBUSCULARES**

LAÍS NOAMY DA SILVA

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto
Federal Goiano – Campus Rio Verde, como
requisito parcial para a obtenção do Grau de
Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Souchie
Co-orientador^a: Prof^a. Dr^a. Juliana Silva
Rodrigues Cabral

Rio Verde – GO
Janeiro, 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

St Silva, Lais Noamy
Tolerância fisiológica de plantas de soja submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares / Lais Noamy Silva; orientador Edson Luiz Souchie; co-orientador Juliana Silva Rodrigues Cabral. -- Rio Verde, 2022.
43 p.

TCC (Graduação em Agronomia) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2022.

1. Fungos Micorrízicos arbusculares. 2. Micorriza . 3. Gigaspora Gigantea . 4. Gigaspora Margarita. 5. FMA. I. Souchie, Edson Luiz , orient. II. Silva Rodrigues Cabral, Juliana , co-orient. III. Título.

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES
TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia –
Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: | |

Nome Completo do Autor: Lais Noamy Da Silva

Matrícula: 2018102200240249

Título do Trabalho: Tolerância fisiológica de plantas de soja submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 31 / 05 / 2022

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

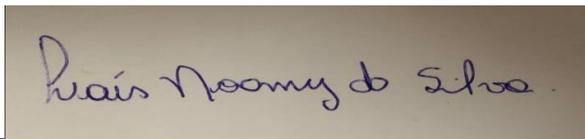
O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-
EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumprir quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

_____ RIO VERDE _____, 31 / 05 / 2022_.
Local Data



Lais Noamy da Silva

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'P' followed by a series of loops and a horizontal stroke.

Assinatura do orientador

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO (TC)

ANO	SEMESTRE
2022	01

No dia 14 do mês de abril de 2022, às 10 horas e 30 minutos, reuniu-se a banca examinadora composta pelo Edson Luiz Souchie, para examinar o Trabalho de Curso (TC) intitulado “Tolerância fisiológica de plantas de soja submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares”, da acadêmica Laís Noamy da Silva, Matrícula nº 2018102200240249 do curso de Agronomia do IF Goiano – Campus Rio Verde. Após a apresentação oral do TC, houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela aprovação da acadêmica. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que segue datada e assinada pelos examinadores.

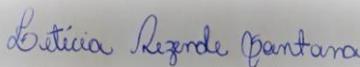
Rio Verde, 14 de abril de 2022.



Edson Luiz Souchie
(Orientador) IF Goiano Campus Rio Verde.



Germanna Gouveia Tavares
(membro)



Leticia Rezende Santana
(membro)

() O acadêmico não compareceu à defesa do TC.

AGRADECIMENTO

Primeiramente a Deus por me fortalecer para chegar ao fim desse desafio. Ao meu pai, minha mãe, madrinha, padrinho, minha irmã e ao meu namorado, pelo apoio e amor.

Aos meus colegas que contribuíram para a realização deste trabalho. Ao meu orientador Dr. Edson Souchie e minha co-orientadora Dra. Juliana Cabral, pelo apoio e ensinamentos.

Ao IF Goiano – Campus Rio Verde, pelo suporte que viabilizou este trabalho.

A todos, meu muito obrigada!

RESUMO

SILVA, L. N. **Alterações fisiológicas em soja submetida a níveis de déficit hídrico e inoculada com fungos micorrízicos arbusculares.** 2021. 43p Monografia (Curso de Bacharelado em Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, GO, 2022.

Com este trabalho, objetivou-se analisar o desempenho fisiológico das plantas de soja, associadas com FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* sob três níveis de déficit hídrico. Foi realizada coleta de solo em área do IF Goiano – Campus Rio Verde e feita análise química e calagem. As plantas inoculadas receberam no sulco de semeadura 31g do inóculo *G. margarita* e 46 g de *G. gigantea*, separadamente e cresceram em casa de vegetação sob condições naturais de luz com UR e temperatura média de 28 °C. O controle do conteúdo de água foi realizado através de sensores de irrigação, modelo 10 HS (METER Group, Inc. USA), após a medição da capacidade de campo através método gravimétrico. O déficit hídrico foi imposto quando as plantas chegaram ao estágio V3, dividido em três grupos: 80, 60 e 40% da CC. Após as primeiras análises, as plantas foram reirrigadas até 80% da CC por dois dias e as análises realizadas novamente. As plantas de soja inoculadas com os FMA *G. margarita* e *G. gigantea* apresentaram taxas de pigmentos fotossintéticos, densidade de esporos e colonização micorrízica iguais ou maior que plantas sem inoculação. Estes resultados demonstram que plantas inoculadas com FMA tiveram maior tolerância ao déficit hídrico devido a contribuição dos fungos. Os dados obtidos demonstram que, quanto maior o déficit, maior a resposta à inoculação dos FMA. Portanto, a inoculação com os FMA *G. margarita* e *G. gigantea* maximiza o desenvolvimento da soja sob condições de déficit hídrico.

Palavras-chave: micorriza, FMA, *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea*.

INDICE DE TABELAS

Tabela 1: Taxa de extravasamento de eletrólitos do tecido foliar de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* no período de restrição hídrica, em Rio Verde, GO.....22

Tabela 2: Taxa de extravasamento de eletrólitos do tecido foliar de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* após reirrigação, em Rio Verde, GO..... 22

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1** – Teores de clorofila *a* (A), clorofila *b* (B) e carotenoides (C) de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* durante o período de déficit hídrico.....20
- Figura 2** – Teores de clorofila *b* (A) e Cl *a* / Cl *b* (B) de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* medidos através de discos foliares saturados em DMSO após reirrigação21
- Figura 3** - Densidade de esporos em plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea*24
- Figura 4** - Porcentagem de colonização micorrízica de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* no período de déficit hídrico (A) e após a reirrigação (B)26
- Figura 5** - Imagem do córtex radicular de plantas de soja indicando colonização dos fungos micorrízicos arbusculares nativos do solo (A), *Gigaspora margarita* (B) e *Gigaspora gigantea* (C). Ar = arbúsculos27

Figura 6- Altura de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* no período de déficit hídrico (A) e após a reirrigação (B e C)29

Figura 7 - Peso seco da parte aérea no período de déficit hídrico (A), peso seco da raiz no período de déficit hídrico (B) e peso seco da parte aérea após a reirrigação (C) de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea*31

LISTA DE ABREVIACOES E SÍMBOLOS

FMA	Fungo micorrízico arbuscular
%	Porcentagem
G	Gramma
MI	Mililitro
Cm	Centímetro
mM	Milimolar
mmol	Milimol
Cl <i>a</i>	Clorofila <i>a</i>
Cl <i>b</i>	Clorofila <i>b</i>
DH	Déficit hídrico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 Histórico e importância da soja (<i>Glycine max</i> L. Merrill).....	12
2.2 Déficit hídrico	13
2.3 Fungos micorrízicos arbusculares	14
3. MATERIAL E METODOS	16
3.1 Multiplicação e inoculação dos FMA	16
3.2 Obtenção do material vegetal e condições de crescimento das plantas.....	16
3.3 Indução do déficit hídrico.....	17
3.4 Determinação do conteúdo de clorofila.....	17
3.5 Taxa de extravasamento de eletrólitos do tecido foliar	17
3.6 Densidade de esporos.....	18
3.7 Colonização micorrízica	18
3.8 Características biométricas.....	18
3.9 Análise estatística	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
4.1 Pigmentos fotossintéticos	19
4.2 Extravasamento eletrolítico.....	23
4.3 Densidade de esporos.....	24
4.4 Colonização micorrízica	25
4.5 Parâmetros biométricos.....	28
5. CONCLUSÃO.....	33
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) faz parte da família Fabaceae (leguminosas) e é uma planta originária da China. Essa oleaginosa tem grande destaque no mundo pelo seu potencial no setor da agroindústria. Seu grão é bastante utilizado para extração de óleo, produção de biodiesel e na indústria alimentícia, tanto na fabricação de ração animal quanto na alimentação humana, por ser uma excelente fonte de proteína (FREITAS, 2011).

Na safra 2020/21, a área plantada de soja cresceu em 4,2% quando comparada a safra anterior, alcançando 38,5 milhões de hectares com uma produção recorde de 135,9 milhões de toneladas (CONAB, 2021). A região Centro-Oeste foi bastante afetada pelo clima, entretanto, o histórico de desempenho regional não foi comprometido. A área plantada apresentou um incremento de 3,5%, totalizando 17,2 milhões de hectares, com uma produção de mais de 61 mil toneladas, o que representou um aumento de 1% em relação à safra passada (CONAB, 2021). A grande demanda mundial pelo grão da soja se dá pela sua importância como fonte de alimento com elevado valor nutricional, e deverá aumentar 25% até 2026 (FOYER et al., 2016; O'DONOGHUE et al., 2017).

Todas as culturas sofrem perdas de rendimento devido a estresses abióticos que afetam o crescimento no campo, sendo a seca o principal fator ambiental adverso às plantas (FITA et al., 2015). Em algumas regiões do Brasil, inclusive no Centro-Oeste, que é uma das maiores produtoras do país (CONAB, 2020), é comum a distribuição irregular das chuvas logo após a semeadura, prejudicando a germinação, crescimento e rendimento das culturas (ANSARI et al., 2012). O déficit hídrico pode causar também a redução da fixação de CO₂ no aparato fotossintético das plantas (ELDAKAK et al., 2013). E, para se defender dos radicais livres, as plantas precisam investir na produção de enzimas antioxidantes devido à produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (LISAR et al., 2012).

Uma alternativa em potencial para as plantas para aumentar sua tolerância ao déficit hídrico, é a utilização dos FMA, que fazem simbiose com a maioria das plantas, melhoram o estado nutricional, aumentam a tolerância a doenças radiculares e proporcionam melhores condições frente aos estresses abióticos (KHALVATI et al., 2009; ZOU et al., 2015). Sendo assim, com este trabalho, objetivou-se analisar o desempenho fisiológico das plantas de soja, associadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* sob três níveis de déficit hídrico (80, 60 e 40% da capacidade de campo).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Histórico e importância da soja (*Glycine max* L. Merrill)

A soja pertence à família *Fabaceae* e tem origem no nordeste da China (GAZZONI, 2018). O grão que hoje é cultivado, é muito diferente dos seus ancestrais, que antes eram plantas rasteiras que se desenvolviam na costa leste da Ásia. A evolução da soja começou através de cruzamentos naturais entre duas espécies selvagens que foram domesticadas e melhoradas por cientistas da antiga China (EMBRAPA, 2021).

No Brasil, o primeiro cultivo de soja é relatado a partir de 1882, no estado da Bahia. Porém, o cultivo fracassou, pois o material genético, que foi desenvolvido para climas frios ou temperados não se adaptou às condições mais quentes da Bahia (GAZZONI, 2018). No estado de Goiás, a introdução da soja ocorreu em 1950 e não se expandiu por falta de recursos governamentais, o que dificultou o desenvolvimento agrícola (MACHADO, 2014).

O Cerrado não era considerado apto para fins agrícolas, devido às características do solo (baixos teores de nutrientes e ácidos), além da longa exposição a períodos de seca, limitando o desenvolvimento agrícola (MARIANO, 2010). Os cientistas fizeram grandes esforços para fornecer fórmulas viáveis para corrigir as propriedades químicas e possibilitar condições nutricionais satisfatórias ao cultivo da soja no Cerrado (GAZZONI, 2018).

A soja contribuiu fortemente na economia no ramo das exportações brasileiras, com participação expressiva nos últimos 10 anos para a balança comercial, correspondendo em média com 6% do total de tudo exportado no Brasil (COMTRADE, 2015), demonstrando sua importância na cadeia alimentar e a força econômica do grão. A safra 2018/2019 teve decréscimo na produção, pois o início do ano de 2019 foi marcado por queda no potencial produtivo das lavouras de soja em várias regiões do país e, em Goiás, a redução foi motivada por altas temperaturas, dois veranicos e chuvas irregulares durante o desenvolvimento da safra (APROSOJA, 2019).

Para a safra 2020/21, espera-se um crescimento da área plantada da soja, com incremento de 3,3% comparado à safra anterior, atingindo 38,2 milhões de hectares semeados. Segundo o IFAG (2019), a região Sudoeste de Goiás foi considerada a área mais avançada para o plantio da soja em 2019/20. Nesta região, o município de Rio Verde ocupou o segundo lugar no percentual de área plantada (60%), ficando atrás do município de Montividiu que alcançou 75% de área semeada.

2.2 Déficit hídrico

Na agricultura pode ocorrer alterações na produção por ser dependente dos fatores climáticos (DETOMINI et al., 2012). A imprevisibilidade do clima é um fator de risco que responde por uma parte considerável do insucesso de algumas culturas, pois estresses climáticos (hídrico, térmico, luminoso e salino) reduzem drasticamente o rendimento das colheitas e qualidade das sementes, restringem locais de produção, datas de semeadura e solos onde espécies comercialmente importantes poderiam ser cultivadas (FRANÇA-NETO et al., 2016).

Entre os diversos estresses abióticos que causam danos a produção agrícola, o déficit hídrico é um dos fatores que mais limitam a produtividade máxima das culturas. A água é o principal recurso para o desenvolvimento das culturas e, por isso, torna-se o fator mais limitante ao desenvolvimento e produção vegetal. A restrição hídrica impede o crescimento das raízes, o que resulta na redução da absorção de água e nutrientes pelas plantas (HAMEED et al., 2014), desarranja a fotossíntese, desordena a estrutura de enzimas, diminui a captação e /ou transporte de nutrientes, levando a um desequilíbrio hormonal e nutricional na planta (SEPAHVAND et al., 2021).

Além disso, o estresse hídrico resulta em estresse osmótico que pode levar à perda de turgor, inibindo o crescimento e desenvolvimento da planta. A seca também induz a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), causando danos oxidativos aos carboidratos, a síntese de proteínas, aos metabolismos lipídicos e, alternativamente, levando a danos à membrana e morte celular em tecidos vegetais (SOHRABI et al., 2012).

Portanto condições de seca afeta uma série de processos importantes e podem acarretar a redução significativa do crescimento e da produção de plantas muito abaixo de seu potencial genético (MONA et al., 2017), isso porque a redução na fixação de carbono pelo aparato fotossintético das plantas, resulta em perdas de rendimento líquido da fotossíntese e consequentemente redução no rendimento dos grãos (ELDAKAK et al., 2013).

Estes processos vão desde a percepção do estresse pela planta, transdução de sinais, regulação da expressão de genes e possíveis alterações de nível metabólico (DEEBA et al., 2012). O aquecimento global e as mudanças climáticas agravaram ainda mais as condições de seca devido à falta de um sistema de irrigação adequado, tornando-se mais problemático (WU et al., 2017).

2.3 Fungos Micorrízicos Arbusculares

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) pertencem ao filo Glomeromicota, são biotróficos obrigatórios atuando em vários processos essenciais na natureza. Esses fungos conseguem se associar simbioticamente com as raízes de aproximadamente 80% das plantas vasculares. Colonizam as raízes das plantas e produzindo hifas extraradiculares que atuam como uma extensão do sistema radicular das plantas levando a uma absorção efetiva de nutrientes e água, além de exercerem papel na estruturação do solo, tolerância a estresses abióticos e promoverem resistência a doenças em plantas (SMITH; READ, 2010; CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Esses micro-organismos também demonstraram regular processos de controle de crescimento de plantas em ambientes normais e estressantes (YANG et al., 2015; ABD_ALLAH et al., 2016).

O processo de colonização começa na rizosfera, através da sinalização entre simbioses. As plantas liberam sinais bioativos, induzindo a ramificação das hifas e promovendo o metabolismo dos fungos (ARTHIKALA et al., 2013). Durante o ciclo simbiótico, o FMA pode produzir esporos, apressórios, hifas extraradiculares, vesículas e arbúsculos. Os esporos micorrízicos são estruturas responsáveis por manter a sobrevivência dos fungos no ambiente e importantes para a sua disseminação (SILVA et al., 2016).

Após a germinação dos esporos, ocorre a produção de hifas e, em seguida, estruturas como os apressórios, que são hifas modificadas com a função de reconhecimento e adesão à célula da planta hospedeira. As hifas extraradiculares aumentam a área radicular das plantas, favorecem maior absorção de água e nutrientes, principalmente de fósforo (P) e nitrogênio (N), que são elementos essenciais ao desenvolvimento vegetal (RIZVI et al., 2015; RIVERO et al., 2015; HART et al., 2016). Além disso, podem também contribuir para agregação das partículas do solo, devido a liberação de uma glicoproteína denominada glomalina (SILVA et al., 2016).

O aumento da tolerância das plantas ao déficit através da colaboração dos FMA é muito complexo e envolve vários metabolitos e vias metabólicas (HUANG et al., 2013; AALIPOUR et al., 2020). Em condições de estresse hídrico, os fungos pode ajudar no aumento da sobrevivência das mudas (Zhang et al., 2010; WU et al., 2017) e da absorção e transporte de água pela planta (YANG et al., 2014; REN et al., 2019), na alteração da morfologia da raiz (WU et al., 2017; ZHANG et al., 2019), na melhoria da capacidade de troca gasosa e eficiência do uso de água (HUANG et al., 2013; YANG et al., 2014), na regulação dos níveis de hormônio endógeno (BEGUM et al., 2020; RYDLOVÁ; PÜSCHEL, 2020) e na aceleração da remoção de EROs (AMIRI et al., 2015; WU et al., 2017).

Quando a interação simbiótica é estabelecida nas raízes, as plantas fornecem de 4 a 20% de seu fotossintato total (na forma de lipídios e açúcares) para o crescimento e reprodução dos FMA, formando novos esporos (MACLEAN et al., 2017; SANTANDER et al., 2017). As micorrizas conferem maior crescimento e resistência à planta sob condições adversas, como aumento de temperatura, acidez do solo, estresse hídrico e maior tolerância a patógenos radiculares e substâncias tóxicas presentes no solo.

As hifas formam os arbúsculos, que são estruturas importantes, pois são responsáveis pela simbiose propriamente dita. É através dos arbúsculos que acontecem as transferências de nutrientes do fungo para a planta (JALONEN et al., 2013) e as plantas transferem fotoassimilados ao fungo, com gasto de energia (VAN DER HEIJDEN et al., 2015). Portanto, dependendo da interação entre os micro-organismos e planta hospedeira, pode ocorrer a promoção do crescimento vegetativo (GERLACH et al., 2015; HOLSTE et al., 2016). As vesículas são estruturas fúngicas produzidas pela diferenciação das hifas internas e, ou externas ao córtex e sua função é armazenar energia na forma de lipídeos (JALONEN et al., 2013).

Maiores taxas de colonização e eficiência dos FMA em condições de altas temperaturas, possivelmente ocorrem devido ao efeito direto sobre o fungo e indireto no aumento do transporte de nutrientes pelas raízes associadas com o fungo (FOLLI-PEREIRA, 2012). Avaliando o efeito da inoculação do FMA *Rhizophagus clarus* e dois inóculos nativos em mudas de teca (*Tectona grandis*), Rodrigues et al. (2018) observaram que os fungos micorrízicos proporcionaram aumento no conteúdo de nutrientes e maior eficiência em seu uso, principalmente P e maior crescimento da parte aérea e raízes.

Saboya et al. (2012), observaram em estudo realizado para avaliar a produção de mudas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) inoculadas com os FMA *Scutellospora calospora*, *Glomus clarum*, *Gigaspora margarita*, *Acaulospora morrowiae* e espécies micorrízicas (Mix) aumento da fitomassa das plantas e incremento dos teores de nutrientes, principalmente de P nos tratamentos de plantas inoculadas, com incremento de 49 a 63,5% em relação as plantas não inoculadas. Recchia et al. (2018) conseguiram identificar vários genes importantes no feijão comum que são regulados diferencialmente em resposta ao déficit hídrico durante a inoculação com FMA. Dentre esses genes, estavam presentes aqueles envolvidos na atividade de fator de transcrição, biossíntese de carboidratos, regulação osmótica, transporte, reparo de quebra de fita dupla de DNA, processamento de RNA, transdução de sinal, resposta ao estresse oxidativo, deposição calosa e resposta à auxina.

3. MATERIAL E METODOS

3.1. Multiplicação e inoculação dos FMA

A multiplicação dos FMA foi realizada com a disponibilização de um solo inóculo de *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* procedentes da coleção do Laboratório de Microbiologia do Solo da UNESP - Ilha Solteira, doado ao IF Goiano – Campus Rio Verde. O solo foi coletado em uma área do IF Goiano Campus Rio Verde e utilizado para a multiplicação sendo misturado com areia (2:1), esterilizado em autoclave, processo repetido por 3 dias consecutivos e, posteriormente, secado em estufa a 100 °C.

Plantas de *Urochloa ruziziensis* foram utilizadas como planta hospedeira. Para isso, foram crescidas em casa de vegetação em condições irrigadas com água destilada por 90 dias e, após este período, as plantas foram submetidas a uma condição de estresse hídrico por 7 dias, para indução da proliferação dos esporos de FMA e então as plantas foram retiradas, uma amostra do solo coletada e avaliado o número de esporos, de acordo com Gerdemann e Nicolson (1963) e Jenkins (1964). A contagem foi realizada em placa de acrílico canelada com anéis concêntricos sob microscópio estereoscópio.

3.2. Obtenção do material vegetal e condições de crescimento das plantas

O solo foi coletado em uma área de mata do IF Goiano – Campus Rio Verde e uma amostra de 200 g foi retirada para análise química do solo (Tabela 1S), para determinar a necessidade de calagem, de acordo com sua saturação por base. Após misturado a areia, na proporção 2:1, com auxílio de betoneira, foi colocado nos vasos de 3 kg e levado a casa de vegetação, sendo aplicado calcário no solo, que reagiu por 20 dias, até chegar na saturação por base recomendada para a cultura (60%).

Posteriormente, sementes de soja (cv. BMX Flecha 6266), foram semeadas e nesse momento cada vaso recebeu solo inóculo contendo 31g de *G. margarita* (densidade 3,3 esporos g⁻¹) e 46 g *G. gigantea* (densidade de 2,2 esporos g⁻¹) mais raízes colonizadas e hifas que também atuam como propágulos, separadamente e cresceram em casa de vegetação sob condições naturais de luz com UR (65-85%) e temperatura de 28 °C. O controle do conteúdo de água foi realizado através de sensores de irrigação, modelo 10 HS (METER Group, Inc. USA), após a medição da capacidade de campo (CC) pelo método gravimétrico.

O estudo constou de um delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, em arranjo fatorial 3x3 (inoculação com *Gigaspora gigantea*, *G. margarita* e controle sem inoculação x 3 níveis de déficit hídrico: 80, 60 e 40% CC). Tais níveis de irrigação foram

escolhidos de acordo com outros trabalhos da literatura e outros experimentos realizados anteriormente, com 8 repetições. Cada repetição, foi constituída por um vaso contendo 3 plantas cultivadas em casa de vegetação.

3.3. Indução do déficit hídrico

As plantas foram mantidas com 80% de teor de água da CC da germinação até o estágio V3 em torno de 40 dias após a germinação. Em seguida, foram submetidas ao déficit hídrico, sendo este dividido nos três tratamentos: 80, 60 e 40% da CC. Quando as plantas chegaram nas respectivas CC e apresentarem sintomas de déficit hídrico, foi realizada a primeira avaliação. Posteriormente, as plantas foram irrigadas até atingirem 80% da CC por 48 h e realizada a segunda avaliação.

3.4. Determinação do conteúdo de clorofila

O conteúdo de carotenoides, clorofila *a* e *b* foi determinado espectrofotometricamente a 480, 649 e 665 nm, respectivamente, após a extração dos pigmentos, a partir de um disco foliar (0,5 cm), com 5 mL de CaCO₃ saturado em DMSO a temperatura ambiente (WELLBURN, 1994). Os discos permaneceram na solução por 24 h. Os valores foram transformados para teores de clorofilas *a*, *b* e totais nas folhas, expressos em unidades de área ($\mu\text{g cm}^{-2}$).

3.5. Taxa de extravasamento de eletrólitos do tecido foliar

Foi realizada adaptação da metodologia de Vasquez-Tello et al. (1990) e Pimentel et al. (2002). Foram coletados 15 discos foliares para cada repetição, colocados em frascos de vidro âmbar com 30 mL de água deionizada, e mantidos imersos por 24 h no escuro, em temperatura ambiente.

Após este período, foi realizada a medida a condutividade livre (CL, $\mu\text{S/cm}$), com um medidor de condutividade digital portátil modelo CD-850. Posteriormente, os frascos foram para estufa por 1 h a 100 °C, para posterior medida da condutividade total (CT, $\mu\text{S/cm}$). O sensor foi lavado entre cada leitura com água deionizada. Com os resultados obtidos calculou-se a taxa de extravasamento de eletrólitos em porcentagem.

3.6.Densidade de esporos

A densidade de esporos foi avaliada utilizando a técnica de peneiramento úmido (GERDEMANN; NICHOLSON, 1963). Para a extração de esporos, foi coletado amostras de 100 g de solo e, posteriormente, misturadas com água em becker e trituradas. Logo após, a amostra foi colocada em tubo tipo falcon com água na centrífuga a 3000 rpm, durante 3 minutos. Em seguida, a água foi dispensada e adicionada uma solução de sacarose a 50% e recolocada na centrífuga por mais 2 minutos. Na sequência, foi despejado o líquido que contém os esporos em 4 tipos de peneira com as malhas de 710, 425, 53 e 2 mm/ μ m para a lavagem dessa amostra, seguido de armazenamento em recipiente até a análise, procedimento que utilizou placa canelada para a contagem do número de esporos através da lupa óptica (4x).

3.7 Colonização Micorrízica

Para determinação da colonização radicular, frações de aproximadamente 1g de raízes das plantas de cada tratamento foram separadas e conservadas em solução alcoólica 50%. Para estimativa da colonização radicular por FMA, as raízes foram despigmentadas pelo método de Koskey e Gemma (1989), modificado. Para isso, pesou-se 0,4g das raízes que foram imersas em KOH (2%), e levadas para estufa a 90 °C, por 60 minutos.

Após retirada da estufa, as raízes foram lavadas com água destilada e transferidas para uma solução de HCl (1%) por 5 minutos. Posteriormente, retirou-se o HCl e foi adicionado o corante azul de tripano (0,05%) em lactoglicerol (PHILLIPS; HEYMAN, 1970). Foram confeccionadas lâminas para microscopia com fragmentos das raízes, para visualização das estruturas e percentual de colonização radicular avaliado em microscópio óptico com aumento de 200 vezes, de acordo com McGonigle et al. (1990). A eficiência simbiótica da colonização micorrizica foi realizada de acordo com Angelini (2012), em microscópio Leica DM500, com câmera Leica LCC 50.

3.8 Características biométricas

Antes da separação das plantas em caule folhas e raízes, foi obtido o comprimento do caule com auxílio de régua. Em seguida, os caules, folhas e raízes foram secados em estufa a 65 °C, com circulação de ar forçada até massa constante, para determinação da massa de cada planta separadamente.

3.9. Análise estatística

Os dados numéricos foram avaliados estatisticamente, mediante a análise de variância, testando as médias pelo teste Tukey (5%), utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Pigmentos fotossintéticos

A clorofila é um dos pigmentos mais importantes encontrado nas plantas. É essencial para a fotossíntese, pois captam energia luminosa que será convertida em energia química necessária para a realização do processo fotossintético (ZHANG et al., 2018; HUANG et al., 2020). Portanto, o conteúdo de clorofila é um índice importante para a avaliação da intensidade fotossintética, eficiência e estresse ambiental (YANG et al., 2014).

Os efeitos do déficit hídrico sobre os pigmentos vegetais (clorofilas e carotenoides) podem causar distúrbios no equilíbrio osmótico, como perda de água, diminuição da turgescência e redução crescimento, levando à degradação da clorofila *a*, pigmento importante para a realização da fotossíntese (MARQUES, 2011). Além disso, a redução da concentração de pigmentos fotossintéticos causada pelo déficit hídrico leva a um aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), resultando na peroxidação lipídica.

Diversos estudos têm demonstrado que a inoculação com FMA podem aumentar consideravelmente o teor de clorofila em plantas que se encontram sob déficit hídrico (MANOHARAN et al., 2010; HE et al., 2017; AL-ARJANI et al., 2020; ZHANG et al., 2020). No presente estudo, os teores de clorofila *a* (Figura 1A) tiveram interação entre os fatores inoculação e tratamento hídrico no período de restrição hídrica. Plantas irrigadas (80% da CC) e inoculadas com *G. margarita* mostraram um melhor comportamento que as demais plantas (24,15 $\mu\text{g cm}^{-2}$).

No déficit moderado (60 % da CC) os tratamentos de inoculação não diferiram entre si, no qual plantas não inoculadas alcançaram o valor de 17,54 $\mu\text{g cm}^{-2}$ e plantas inoculadas com *G. margarita* e *G. gigante* valores de 13,29 $\mu\text{g cm}^{-2}$ e 17,45 $\mu\text{g cm}^{-2}$, respectivamente. O mesmo comportamento do déficit moderado foi observado no severo (40 % da CC), em que plantas sem inoculação atingiram o valor de 23,39 $\mu\text{g cm}^{-2}$, plantas inoculadas com o FMA *G. margarita* obteve valor de 20,76 $\mu\text{g cm}^{-2}$ e as inoculadas com *G. gigantea* valor de 20,43 $\mu\text{g cm}^{-2}$.

Quando comparados os teores de clorofila *a* entre os tratamentos hídricos (Figura 1A), observa-se que em plantas controle não houve diferença nos teores do pigmento entre os três

níveis de estresse hídrico. Para o tratamento de plantas inoculadas com *G. margarita* observou-se teores mais altos de clorofila *a* no tratamento irrigado ($24,15 \mu\text{g cm}^{-2}$) e déficit severo ($20,76 \mu\text{g cm}^{-2}$). Já para plantas inoculadas com *G. gigantea*, os valores não tiveram diferença entre os tratamentos hídricos, sendo $13,16 \mu\text{g cm}^{-2}$ no tratamento irrigado e $17,45 \mu\text{g cm}^{-2}$ e $20,43 \mu\text{g cm}^{-2}$ nos tratamentos de déficit moderado e severo, respectivamente (Figura 1A).

Para o teor de clorofila *b* (Figura 1B), foi notada diferença apenas entre os tratamentos hídricos, mostrando que na situação de déficit severo (40% da CC), as plantas produziram maior quantidade do pigmento. Este mesmo comportamento pode ser observado para os teores de carotenoides (Figura 1C), em que plantas sob déficit severo produziram maior teor de carotenoides.

Marques (2011) explica que plantas produzem mais carotenoides e clorofila *b* sob condições de estresse por serem pigmentos fotoprotetores e com isto evitam a foto-oxidação da clorofila *a* durante a fotossíntese, afirmação confirmada no presente estudo, em que os teores de clorofila *b* e carotenoides foi maior em plantas sob estresse severo. O estresse hídrico pode causar degradação do pigmento, regulando positivamente a atividade da clorofilase e negativamente a atividade de enzimas envolvidas na biossíntese da clorofila, afetando diretamente a fluorescência da clorofila e a fotossíntese líquida, reduzindo a produtividade das culturas (DALAL; TRIPATHY, 2012).

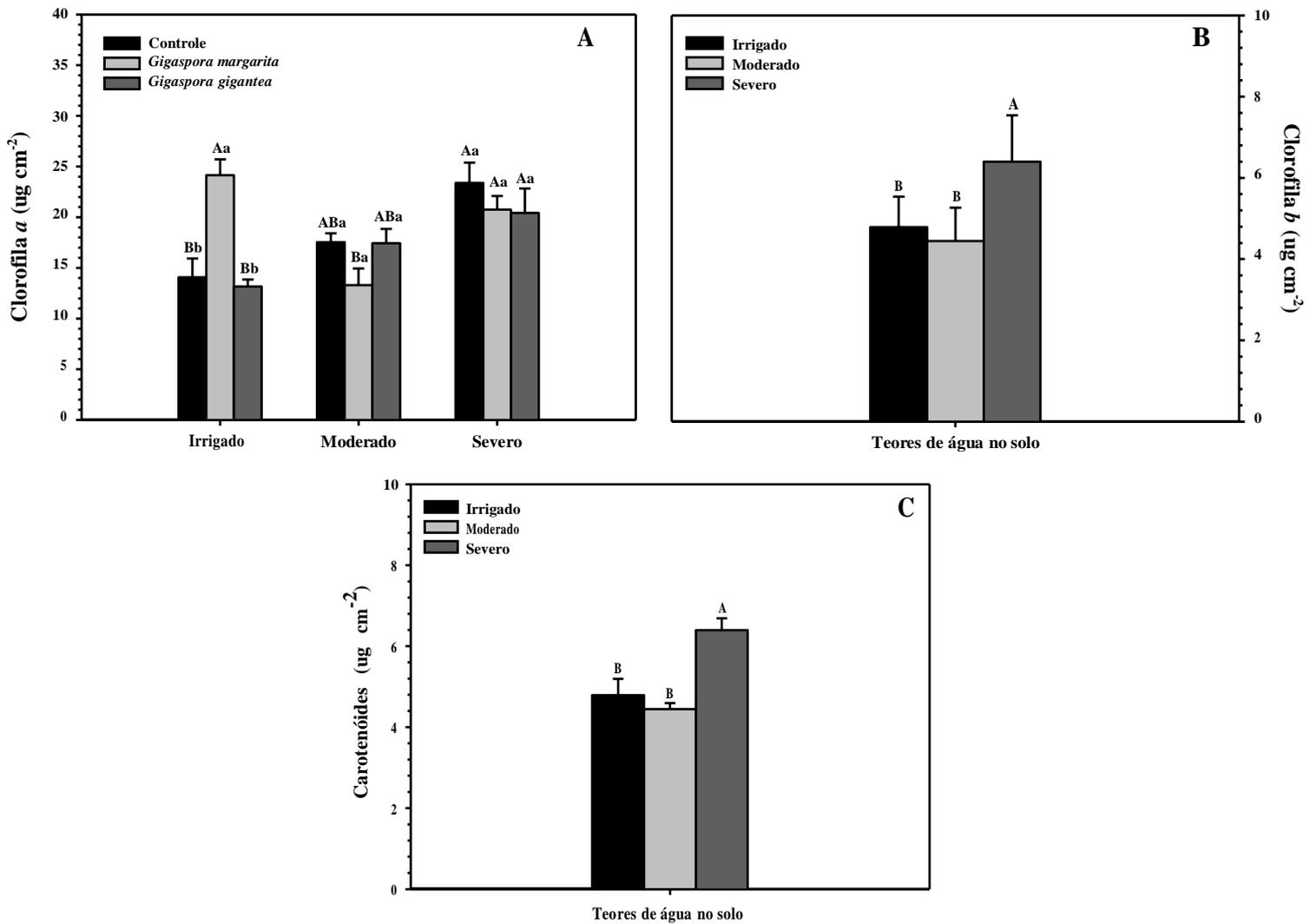


Figura 1 – Teores de clorofila *a* (A), clorofila *b* (B) e carotenóides (C) de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* durante o período de déficit hídrico. Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos hídricos e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Após a reirrigação, apenas os dados de clorofila *b* e $\text{Cl } a / \text{Cl } b$ tiveram diferença nos tratamentos hídricos. Para clorofila *b* (figura 2A), as plantas que estiveram sob déficit severo foram as que obtiveram maior teor do pigmento ($6,4 \mu\text{g cm}^{-2}$), o que pode indicar maior produção do pigmento para evitar a foto-oxidação da clorofila *a* e ter melhor fotossíntese, visto que as plantas haviam passado por estresse hídrico.

Os teores de $\text{Cl } a / \text{Cl } b$ (figura 2B), foram maiores em plantas que se mantiveram sob irrigação, porém, de acordo com a estatística, os dados não diferiram entre si. Plantas do

tratamento irrigado (80% da CC) obtiveram valor médio de $2,56 \mu\text{g cm}^{-2}$, plantas do déficit moderado (60% da CC) valor médio de $2,32 \mu\text{g cm}^{-2}$ e plantas do tratamento de déficit severo (40% da CC) alcançaram valor médio de $2,23 \mu\text{g cm}^{-2}$.

Os resultados deste trabalho corroboram os de Baslam e Goicoechea (2012), que observaram que os FMA *Glomus endoradi* e *Glomus mosseae*, associados à alface (*Lactuca sativa*) tiveram maior teor de clorofila e carotenoides, após a escassez de água, sendo superior ao das plantas não inoculadas. Em plantas sob estresse hídrico, verifica-se decréscimos nos teores de clorofila, o que pode ser consequência de um estresse oxidativo, sendo, provavelmente, resultado de foto-oxidação dos pigmentos, associados à própria degradação das moléculas de clorofila.

Abd_allah et al. (2019) observaram que a inoculação com FMA em grama do deserto (*Panicum turgidum*) incrementou a síntese de clorofila e os parâmetros fotossintéticos associados. Também foi constatado em plantas de catalpa (*Catalpa bungei* C.A.Mey.) inoculadas com *Rhizophagus intraradices* em situação de estresse hídrico, incremento de clorofilas e carotenoides, além da melhoria na utilização da energia luminosa nas folhas (CHEN et al., 2020). Foi verificado que em condições irrigadas e de déficit hídrico, a síntese de clorofila em plantas inoculadas foi maior em relação as não inoculadas. Esse resultado foi atribuído a uma maior absorção de magnésio, componente estrutural central da clorofila (TADAYYON et al., 2017).

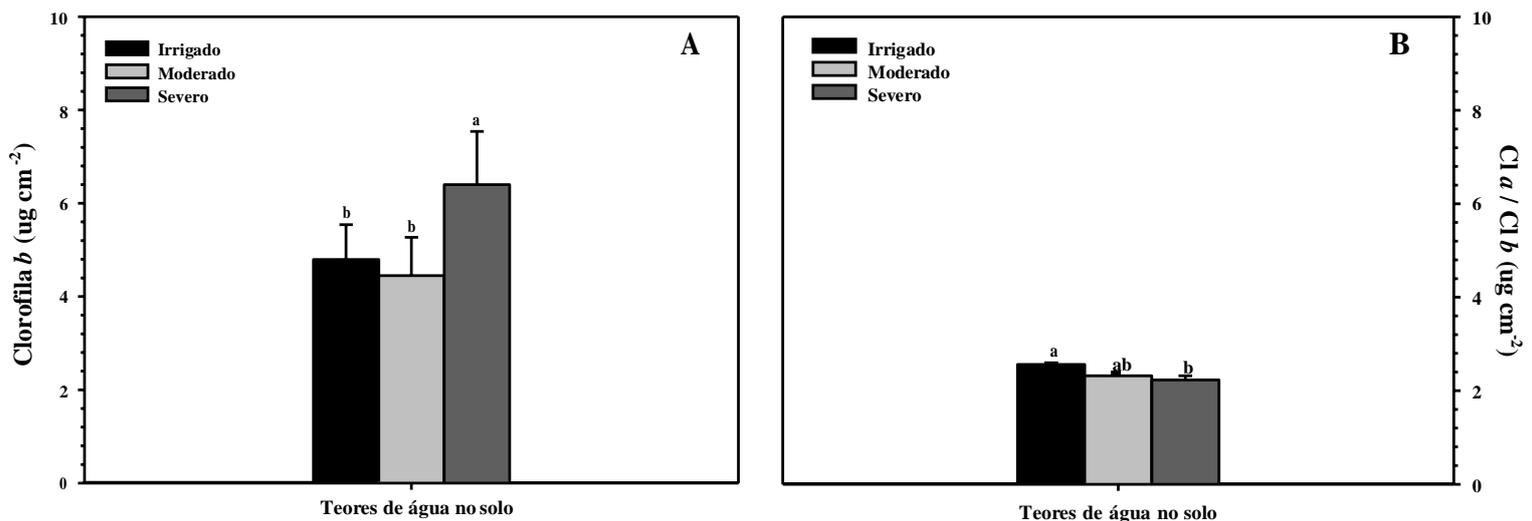


Figura 2 – Teores de clorofila *b* (A) e Cl *a* / Cl *b* (B) de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* medidos através de discos foliares saturados em DMSO após reirrigação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

4.2. Extravasamento eletrolítico

Quando se encontra em déficit hídrico, as plantas podem sofrer com o rompimento de lipídeos e proteínas de membrana e, provavelmente, mudanças nas atividades de enzimas (ZAREI e PAYMANEH, 2014). O vazamento eletrolítico é utilizado para avaliara a permeabilidade da membrana, medido através da condutividade elétrica livre e total e revela dados essenciais da saúde da membrana celular das plantas em condições estressantes (DATTA e KULKARNI, 2014).

Em plantas cultivadas sob condições de seca, a estabilidade da membrana celular é um dos parâmetros mais importantes da resposta das células vegetais e da tolerância às espécies de estresse abiótico (CHUTIPAIJIT, 2014). No presente estudo, os dados do extravasamento de eletrólitos não apresentaram diferença entre os fatores avaliados no período de déficit hídrico (Tabela 1) e após a reirrigação (Tabela 2), podendo indicar que não houve danos a membrana celular.

Tabela 1: Taxa de extravasamento de eletrólitos do tecido foliar de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* no período de restrição hídrica, em Rio Verde, GO

Taxa de extravasamento de eletrólitos do tecido foliar (%)			
	80% da CC	60% da CC	40% da CC
Controle	59,75Aa	69,03Aa	47,52Aa
<i>Gigaspora margarita</i>	56,20Aa	50,89Aa	60,47Aa
<i>Gigaspora gigantea</i>	53,43Aa	47,01Aa	48,63Aa

Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos hídrico e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Tabela 2: Taxa de extravasamento de eletrólitos do tecido foliar de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* após reirrigação, em Rio Verde, GO.

Taxa de extravasamento de eletrólitos do tecido foliar (%)			
	80% da CC	60% da CC	40% da CC
Controle	53,97Aa	49,69Aa	51,80Aab
<i>Gigaspora margarita</i>	45,52Aa	56,86Aa	49,90Ab
<i>Gigaspora gigantea</i>	61,80ABa	48,57Ba	69,51Aa

Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos hídrico e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

4.3. Densidade de esporos

A restrição hídrica no solo induz a germinação dos esporos que ali se encontram, por que as raízes, quando se encontram em déficit hídrico, liberam moléculas que estimulam a expansão das hifas, em contrapartida os fungos liberam sinais que induzem a simbiose na planta e estes micro-organismos, que associados à planta manifestam mecanismos de adaptação como a elevação da esporulação, pois após o estabelecimento da simbiose, novos esporos são formados, dando continuidade ao ciclo simbiótico (BARROS, 2018).

A densidade de esporos (Figura 3), no presente estudo, obteve interação entre os fatores. No tratamento irrigado (80 % da CC), plantas inoculadas com *G. gigantea* apresentaram maior valor médio de esporos (99,33 esporos/100 g de solo), porém não diferiu das inoculadas com *G. margarita* (92,66 esporos/100 g de solo). O menor valor médio foi para plantas não inoculadas (82,33 esporos/100 g de solo).

Para o tratamento do déficit moderado (60 % da CC), plantas inoculadas com ambos os FMA não diferiram entre si, obtendo os valores médios de 103,33 esporos/100 g de solo do *G. margarita* e 104 esporos/100 g de solo do *G. gigantea*. Os tratamentos inoculados foram maiores e diferiram das plantas não inoculadas (64,33 esporos/100 g de solo) (Figura 3). Os dados obtidos no déficit severo (40% da CC) demonstram o mesmo comportamento observado no déficit moderado, em que plantas inoculadas com os fungos não diferiram entre si, tendo o *G. margarita* alcançado o valor médio de 114,33 esporos/100 g de solo e *G. gigantea* valor médio de 98,66 esporos/100 g de solo, porém foram maiores do que plantas do tratamento controle (76 esporos/100 g de solo).

Levando em consideração os três tratamentos de inoculação dentro de cada nível de tratamento hídrico (80, 60, 40% da CC), as plantas não inoculadas não diferiam entre os três níveis de déficit. Este comportamento pode ser observado para as plantas inoculadas com os FMA *G. margarita* e *G. gigantea*. Neste estudo observa-se que a densidade de esporos (Figura 3) em plantas do tratamento controle (sem inoculação) tiveram menor número de esporos no solo em todas as condições hídricas (irrigado, moderado e déficit), enquanto plantas inoculadas com *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* proporcionaram maior número de esporos em condição de déficit moderado (60 % da CC) e severo (40% da CC), mostrando maior formação de esporos.

Uma resposta positiva do FMA em relação às plantas de amendoim foi observada por Coscolin et al. (2019), em relação ao número de esporos, os valores foram maiores nos tratamentos inoculados e conforme a deficiência hídrica aumentou, houve também um aumento

do número de esporos. Para as plantas, a presença dos FMA altera seu metabolismo e síntese proteica, o que promove aumento no crescimento, produção de hormônios vegetais e proteção contra os estresses abióticos, como déficit hídrico e estresse salinidade (GILL et al., 2016).

Em plantas de melancia (*Citrullus lanatus*) inoculadas com *Glomus vesiform* houve uma colonização superior à de plantas não inoculadas, tanto em condições irrigadas como em déficit severo (MO et al., 2016), resultado que corrobora como deste trabalho, mostrando que a planta busca o auxílio do FMA do solo, visto que se beneficia como simbiose em situações de estresse.

Este benefício se dá após o estabelecimento da simbiose. As hifas que são formadas após a germinação dos esporos proporcionam um sistema radicular maior para a planta e a taxa de absorção de água aumenta, portanto, a condutância estomática é mantida, ou seja, os estômatos ficam mais abertos e, com isso, aumenta a absorção e o maior potencial de fixação de CO₂ e representa a produção em massa de fotossimilados, que são a fonte de energia das plantas (MATHUR et al., 2018).

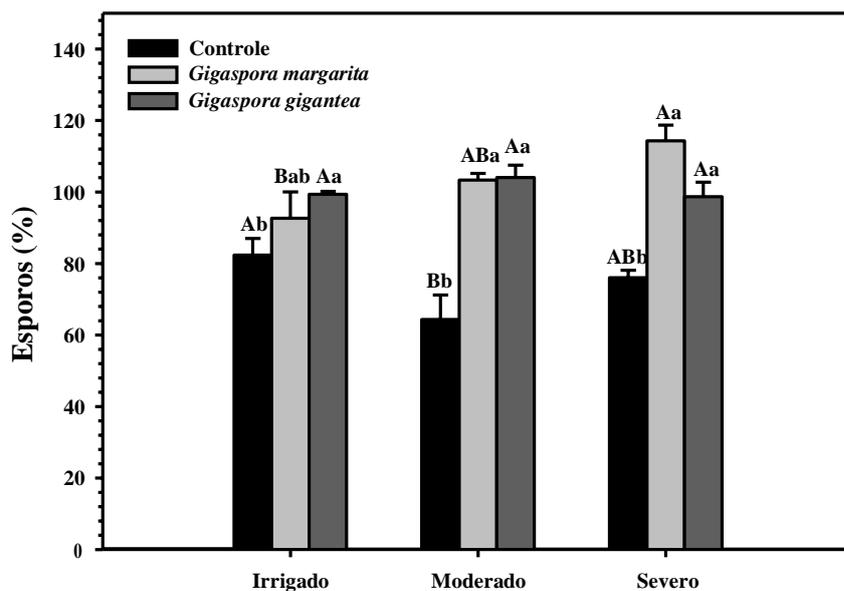


Figura 3 - Densidade de esporos em plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea*. Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos hídricos e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

4.4. Colonização micorrízica

A raiz é a primeira parte da planta a ser afetada pela falta de água e é através das células corticais da raiz que o FMA penetra. A partir daí que são formadas estruturas como arbúsculos e vesículas (SMITH; SMITH, 2011). Esta conexão desenvolve-se inicialmente por meio do

reconhecimento mútuo de sinais químicos entre fungos e plantas (BARROS, 2018). Portanto, pelo aparecimento de hifas, vesículas e arbúsculos, pode-se observar a compatibilidade e simbiose entre as espécies (KIRIACHEK, 2009; PEREIRA et al., 2012; CAVALCANTE et al., 2013). A taxa de colonização de fungos micorrízicos reflete o grau de infecção e afinidade entre os FMA e a planta hospedeira

Em plantas de melancia (*Citrullus lanatus*) inoculadas com *Glomus vesiform* houve uma colonização superior à de plantas não inoculadas, tanto em condições irrigadas como em déficit severo (MO et al., 2016), resultado que corrobora com o deste trabalho, mostrando que a planta busca o auxílio do FMA do solo, visto que se beneficia com a simbiose em situações de estresse. No presente estudo, a colonização micorrízica no período de restrição hídrica (Figura 4A) apresentou diferença entre os fatores. Para o tratamento irrigado (80% da CC), apesar das plantas inoculadas com o FMA *G. gigantea* tiveram resultados superiores as demais plantas, de acordo com a estatística não houve diferença entre os tratamentos de inoculação.

Em relação a condição de déficit moderado (60% da CC), a maior colonização ocorreu para ambos os FMA, tendo *G. margarita* valor médio de 16,66% e *G. margarita* valor médio de 15,33%. Além disso, as plantas inoculadas foram diferentes e apresentaram valores maiores do que plantas não inoculadas (4,33%). Os dados do déficit severo (40% da CC) demonstram que apesar de parecer que os tratamentos inoculados foram maiores, segunda a estatística, não houve diferença entre os três tratamentos de inoculação para esse nível de déficit hídrico.

Os valores alcançados foram 8, 10 e 13,66% para plantas controle, *G. margarita* e *G. gigantea*, respectivamente. As imagens das raízes capturadas em lâminas microscópicas demonstram a colonização micorrízica pelos FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* FMA pela presença de arbúsculos (Figura 5). Nas amostras avaliadas, não foi possível localizar as estruturas de vesículas.

A conexão entre FMA e plantas em ambientes sob déficit hídrico pode levar ao aumento do crescimento e da produtividade, o que também está relacionado à regulação bioquímica e mudança da relação da água nas plantas (MIRANSARI, 2010). Outros fatores relacionados à colonização micorrízica também podem levar à resistência ao déficit de água, como alterações na elasticidade foliar, crescimento do potencial hídrico e regulação da transpiração.

Entretanto, a resposta dos FMA ao estresse hídrico pode variar de acordo com a resiliência de cada espécie ao déficit hídrico. Chen et al. (2014) observaram que a colonização micorrízica em *Amorpha fruticosa* por *Funneliformis mosseae* e *F. constrictum* foi maior em plantas sob déficit do que em plantas sob irrigação. Outros estudos (LIU et al., 2015; JI et al.,

2019; HUANG et al., 2020) demonstram que as condições de restrição hídrica não afetaram a taxa de colonização micorrízica. Isso demonstra que a taxa de colonização depende, além de fatores do ambiente externo, dos fungos e das espécies vegetais a serem colonizadas (GOLUBKINA et al., 2020).

O maior resultado de colonização no presente estudo, que ocorreu sob condições severas de déficit (40% da CC), indica a necessidade da micorrização que a planta tem em situações de estresse. Já os tratamentos sob déficit moderado e sob condições de irrigação tiveram menores níveis de colonização. A melhor colonização está de acordo com a densidade de esporos que para plantas inoculadas foi superior no déficit severo.

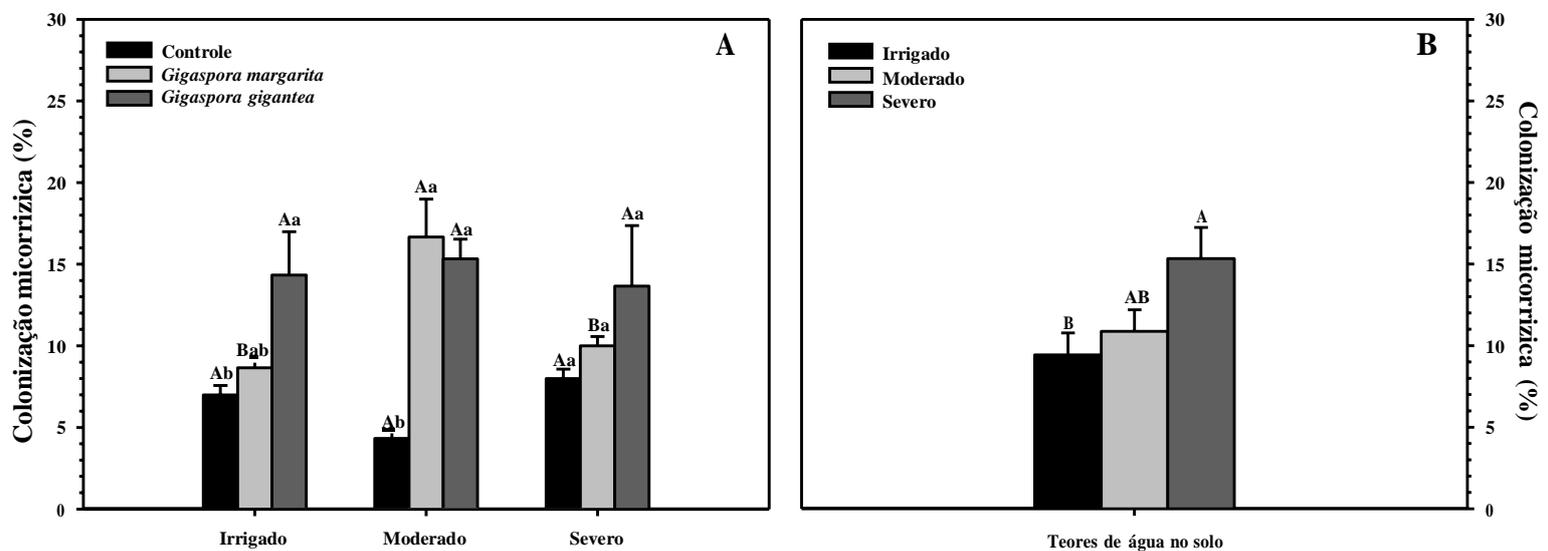


Figura 4 - Porcentagem de colonização micorrízica de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* no período de déficit hídrico (A) e após a reirrigação (B). Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos hídrico e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).



Figura 5 - Imagem do córtex radicular de plantas de soja indicando colonização dos fungos micorrízicos arbusculares nativos do solo (A), *Gigaspora margarita* (B) e *Gigaspora gigantea* (C). Ar = arbúsculos.

4.5. Parâmetros biométricos

Uma boa colonização micorrízica favorece as plantas em situação de estresse. O crescimento das plantas depende da fotossíntese, que é a conversão da energia luminosa em energia química e quanto maior for a interceptação da luz pelas plantas, maior será o acúmulo de biomassa e de fotoassimilados (HEERDEN et al., 2010). Portanto, após a inoculação com FMA, espera-se uma maior absorção de água e nutrientes e, posteriormente, uma promoção no crescimento das plantas, que pode ocorrer devido à intrusão da rede micelial e à produção de glomalina. Estes fatores melhoram a estrutura do solo e, conseqüentemente, a relação hídrica (HASHIM et al., 2018).

Alguns estudos demonstraram que a inoculação com FMA colabora a longo prazo para o incremento no crescimento de plantas. Ajala et al. (2016) constataram que a altura, diâmetro, número de folhas e a massa seca das plantas de pinhão manso foram positivamente influenciados pela inoculação com um misto de FMA constituído por *Glomus clarum*, *Gigaspora margarita*, *Scutellospora heterogama* e *Gigaspora calospora*. Além disso, a inoculação com FMA juntamente com a aplicação de fertilizantes podem não apenas aumentar a biomassa da planta e seu rendimento, mas também economizar muito fertilizante (HODGE et al., 2010).

A altura das plantas no período de déficit hídrico (figura 6A) teve diferença apenas entre os tratamentos de inoculação, em que plantas inoculadas com o FMA *Gigaspora gigantea* apresentaram maior valor, não diferindo de plantas não inoculadas. Plantas do tratamento inoculado com o FMA *Gigaspora margarita* tiveram menor valor médio de altura.

Após a reirrigação, os dados de altura se diferiram isoladamente para os fatores de inoculação e hídrico. Em relação aos tratamentos hídricos (Figura 6B), as plantas em déficit severo (40% da CC) cresceram menos, mas não diferiram das plantas controle. Já plantas em condições de estresse moderado (60% da CC) tiveram melhor crescimento do que as plantas em condições irrigadas.

Foi observado nesse estudo que além das plantas controle, as inoculadas com *Gigaspora gigantea* apresentaram crescimento maior, que pode se associar ao aumento da clorofila *a*, indicando maior captação de luz e um possível aumento de fotossimilados. Em um estudo recente realizado por Soares (2012) foi demonstrado incremento na biomassa seca da parte aérea de plantas de jenipapo inoculadas com *Claroideoglossum etunicatum*.

Resultado similar também foi visto por Schiavo et al. (2018), em que plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) inoculadas com *Gigaspora albida* apresentaram um incremento da massa seca das plantas, comparado às inoculadas com *Gigaspora margarita* e sem inoculação. O mesmo ocorreu em plantas de teca (*Tectona grandis*) inoculadas com FMA, cuja biomassa seca da raiz e parte aérea foi maior do que em plantas não inoculadas (RODRIGUES et al., 2018).

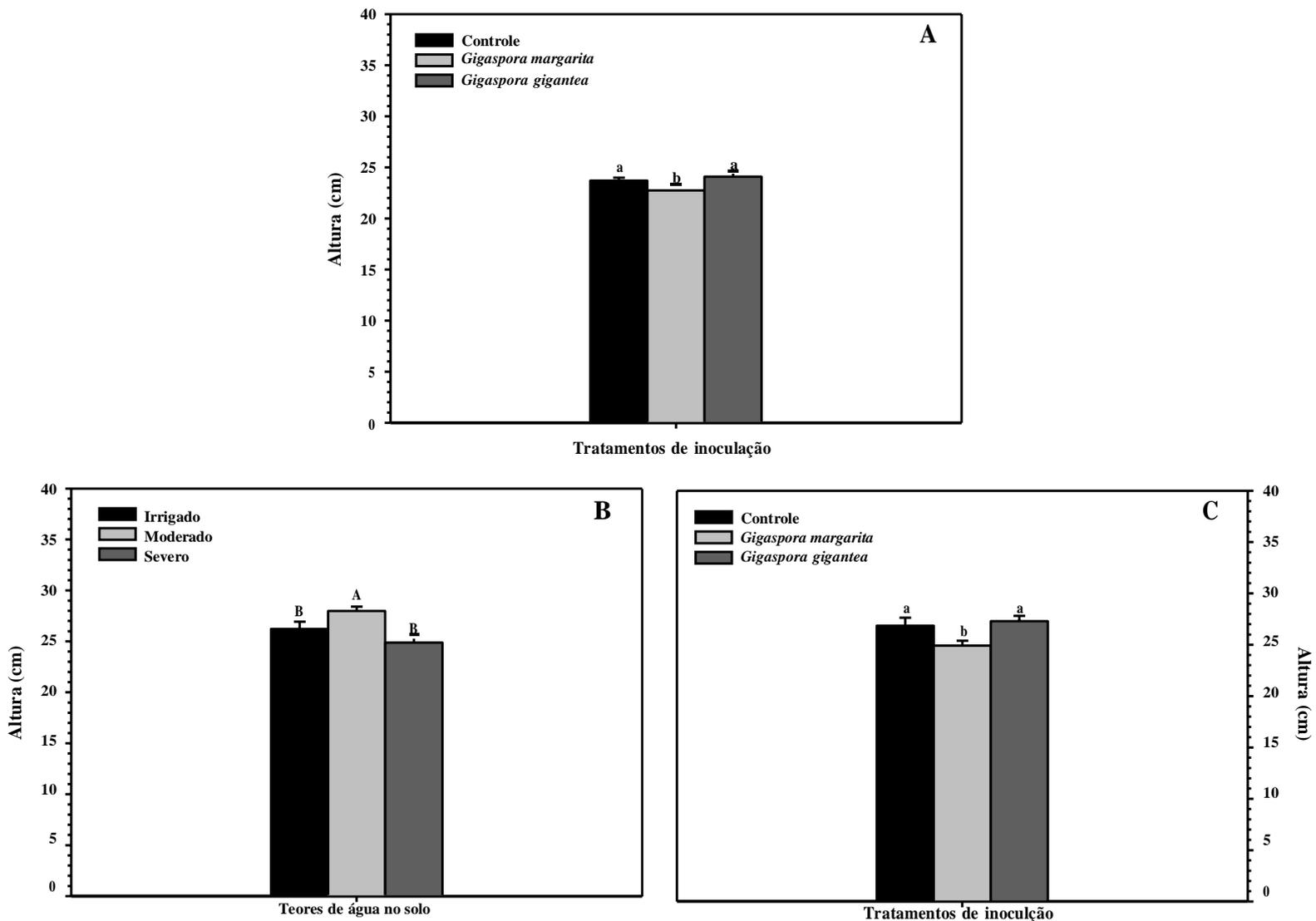


Figura 6- Altura de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea* no período de déficit hídrico (A) e após a reirrigação (B e C). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

A massa seca da parte aérea no período de déficit (Figura 7A) apresentou diferença entre os fatores, as plantas não inoculadas e inoculadas com *Gigaspora gigantea* mostraram maior peso em relação as plantas inoculadas com *Gigaspora margarita*. Para a massa seca de raiz (Figura 7B), foi notada diferença apenas no tratamento hídrico, mostrando que plantas em condições de estresse severo (40% da CC) tiveram um maior peso em relação as demais.

Após a reirrigação, a massa seca da parte aérea (Figura 7C) apresentou diferença entre os fatores. No tratamento hídrico irrigado (80% da CC), não houve diferença entre os tratamentos de inoculação. As plantas sem inoculação alcançaram média de 8,79 g, plantas inoculadas com *G. margarita* alcançaram 7,36 g e as inoculadas com *G. gigantea* 8,96 g.

No tratamento hídrico moderado (60% da CC) e severo (40% da CC), o mesmo comportamento de plantas que estavam sob irrigação de 80% da CC foi observado. Não houve diferença entre os tratamentos de inoculação. Plantas do tratamento controle também não apresentaram diferença quando se compara os dados para os três níveis de irrigação. Essa mesma resposta também é observada para as plantas inoculadas com ambos os FMA (*G. margarita* e *G. gigantea*). O peso seco da raiz não apresentou diferença após a reirrigação.

O maior peso seco de raiz (Figura 7B) pode ser observado no déficit severo, o que pode indicar maior volume radicular. Essa resposta demonstra que a planta estava buscando maior volume radicular para que pudesse absorver maior conteúdo de água e nutrientes. Corroborando com esse dado, Jin et al. (2015) explicam que como mecanismo de resposta ao déficit hídrico, a planta promove o aumento do sistema radicular, para possuir melhores condições de absorção de água, porém limita o crescimento da parte aérea, o que pode ser observado neste trabalho pois, a altura das plantas (Figura 6) não sofreu tantas alterações no déficit e na reirrigação, colaborando com a afirmação de que a planta estaria investindo no seu sistema radicular.

O peso seco da parte aérea após a reirrigação (Figura 7C) em plantas controle foi menor no déficit severo, demonstrando que o déficit hídrico afeta a área foliar das plantas. Essa resposta pode ocorrer pela diminuição do turgor e perda das folhas na tentativa de evitar maior transpiração. A redução da área foliar da planta sob estresse hídrico visa reduzir a transpiração e proteger as plantas de potenciais danos oxidativos causados por área superficial de luz menor, porém essas mudanças quase sempre significam menor produção de biomassa (CHEN et al., 2010).

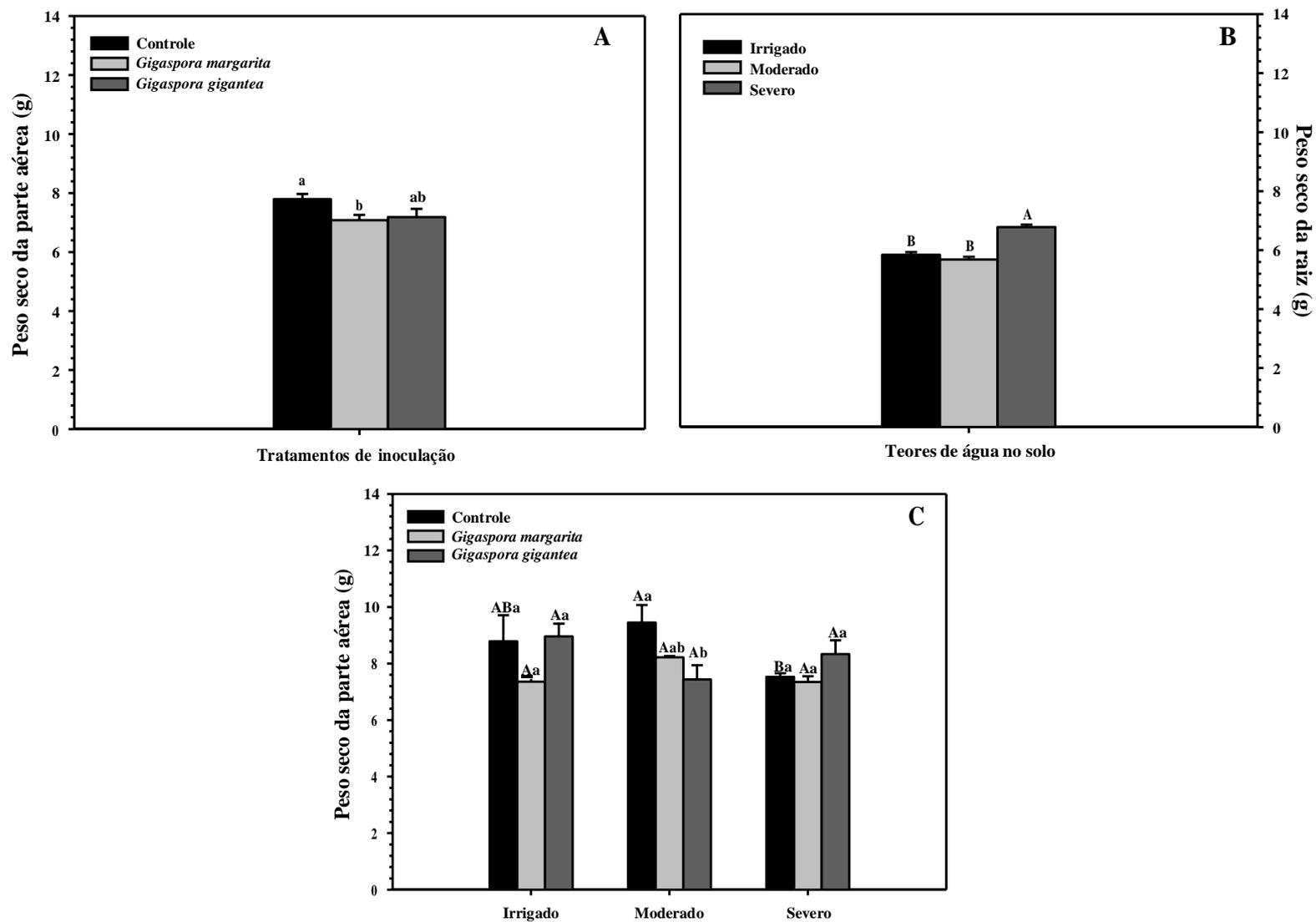


Figura 7 - Peso seco da parte aérea no período de déficit hídrico (A), peso seco da raiz no período de déficit hídrico (B) e peso seco da parte aérea após a reirrigação (C) de plantas de soja inoculadas com os FMA *Gigaspora margarita* e *Gigaspora gigantea*. Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas entre os tratamentos hídricos e minúsculas entre os tratamentos de inoculação, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

5. CONCLUSÕES

- A inoculação com os FMA maximizou os parâmetros biométricos após os períodos de déficit hídrico e reirrigação.
- A inoculação influenciou positivamente no aumento da tolerância das plantas ao déficit hídrico.
- As inoculações com FMA auxiliaram as plantas a tolerar à deficiência hídrica, destacando o fungo *Gigaspora gigantea*, que possibilitou os melhores resultados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AALIPOUR, H.; NIKBAKHT, A.; ETEMADI, N.; REJALI, F.; SOLEIMANI, M. Biochemical response and interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria during establishment and stimulating growth of Arizona cypress (*Cupressus arizonica* G.) under drought stress. *Scientia Horticulturae*, v. 261, n. 108923, 8p., 2019.

ABD_ALLAH, E. F.; HASHEM, A.; ALQARAWI, A. A.; BAHKALI, A H.; ALWHIBI, M. S. Enhancing growth performance and systemic acquired resistance of medicinal plant *Sesbania sesban* (L.) Merrill using arbuscular mycorrhizal fungi under salt stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 22, n. 3, p. 274-283, 2016.

AJALA, M. C; AQUINO, N. F.; HORBACH, M. A.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Efeito da inoculação com FMA no crescimento inicial de mudas de pinhão manso de três procedências. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 15, n. 1, p. 43-47, 2016.

AL-ARJANI, A. B. F.; HASHEM, A.; ABD_ALLAH, E. F. Arbuscular mycorrhizal fungi modulates dynamics tolerance expression to mitigate drought stress in *Ephedra foliata* Boiss. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 27, n. 1, p. 380–394, 2020.

AMIRI, R.; NIKBAKHT, A.; ETEMADI, N. Alleviation of drought stress on rose geranium [*Pelargonium graveolens* (L.) Herit.] in terms of antioxidant activity and secondary metabolites by mycorrhizal inoculation. *Scientia Horticulturae*, v. 197, p. 373–380, 2015.

ANGELINI, G. A. R.; JÚNIOR, O. J. S; SILVA, E. M. R. Seleção de fungos micorrízicos arbusculares e ectomicorrízicos para simbioses eficientes com *Acacia mangium* wild. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, n. 6, p. 3529. 2013.

- ANSARI, O.; CHOGAZARDI, H.R.; SHARIFZADEH, F.; NAZARLI, H. Seed reserve utilization and seedling growth of treated seeds of mountain rye (*Secale montanum*) as affected by drought stress. *Cercetări Agronomice în Moldova*, v.45, p. 43-48, 2012.
- APROSOJA/GO - Associação dos Produtores de Soja e Milho, Aprosoja Comunicação, Goiânia, 2019 Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/comunicacao/blog/2019/02/06/quebra-de-quase-20-da-safra-de-soja-gera-perdas-de-r-21-bilhoes-em-goias/>. Acessado em: 22 de junho de 2021.
- ARTHIKALA, M.-K.; MONTIEL, J.; NAVA, N.; SANTANA, O.; SÁNCHEZ-LÓPEZ, R.; CÁRDENAS, L.; QUINTO, C. PvRbohB negatively regulates *Rhizophagus irregularis* colonization in *Phaseolus vulgaris*. *Plant and Cell Physiology*, v. 54, n. 8, p. 1391–1402, 2013.
- BARROS, J. M. T. M. Fungos Micorrízicos em mudas de *Jatropha curcas* l. submetidas a estresse hídrico. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2018.
- BASLAM, M.; GOICOECHEA, N. Drought stress improved the capacity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) for inducing the accumulation of antioxidant compounds in 64 lettuce leaves. *Mycorrhiza*, v. 22, n. 5, p. 347-359, 2012.
- BEGUM, N.; AHANGER, M. A.; ZHANG, L. AMF inoculation and phosphorus supplementation alleviates drought induced growth and photosynthetic decline in *Nicotiana tabacum* by up-regulating antioxidant metabolism and osmolyte accumulation. *Environmental and Experimental Botany*, v. 176, n. 104088, 16 p., 2020.
- CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. *Microbiologia do solo*. 2º ed. Piracicaba/SP: Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2016.
- CAVALCANTE, U. M. T; GOTO, B. T.; MAIA, L. C. Aspectos da simbiose micorrízica arbuscular. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, v. 5, p. 180-208, 2013.
- CHEN, J. W.; ZHANG, Q.; LI X. S.; CAO, K. F. Gas exchange and hydraulics in seedlings of *Hevea brasiliensis* during water stress and recovery. *Tree Physiology*. v. 30, n. 7, p. 876-85, 2010.

CHEN, W.; MENG, P.; FENG, H.; WANG, C. Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on growth and physiological performance of *Catalpa bungei* C.A.Mey. under drought stress. *Forests*, v. 11, n. 10, p. 1117, 2020.

CHUTIPAIJIT, S. Changes in physiological and antioxidant activity of indica rice seedlings in response to mannitol-induced osmotic stress. *Chilean Journal of Agricultural Research*, v. 76, n. 4, p. 455–462, 2016.

COMTRADE - United Nations Commodity Trade Statistics Database. Statistics Division. Disponível em: < <http://comtrade.un.org/db/>>. Acesso em: 10 de julho de 2019

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.8 – Safra 2020, n. 3- Terceiro levantamento, p. 1-86, 2020.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.8 – Safra 2021, n. 10 – Decimo levantamento, p. 1-110, 2021.

COSCOLIN, R. B. S Associação de fungos micorrízicos no cultivo do amendoim sob deficiência hídrica. *ADROFIB – Bauru – SP* v. 1 ano 1, p. 85, abril 2019. <Disponível em: <https://revistas.fibbauru.br/agrofib/article/view/385/346>> Acesso em: 16 julho 2020.

DALAL, V. K.; TRIPATHY, B. C. Modulation of chlorophyll biosynthesis by water stress in rice seedlings during chloroplast biogenesis. *Plant, Cell & Environment*, v. 35, n. 9, 2012.

DATTA, P.; KULKARNI, M. Arbuscular mycorrhizal colonization enhances biochemical status in and mitigates adverse salt effect on two legumes. *Notulae Science Biology*, v. 6, n. 3, p. 381–393, 2014.

DEEBA, F.; PANDEY, A.; RANJAN, S.; MISHRA, A.; SINGH, R.; SHARMA, Y.; SHIRKE, P.; PANDEY, V. Physiological and proteomic responses of cotton (*Gossypium herbaceum* L.) to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 53, p. 6–18, 2012.

DETOMINI, E.R.; DOURADO NETO, D.; FRIZZONE, J.A.; DOHERTY, A.; MEINKE, H.; REICHARDT, K.; DIAS, C.T.S.; FIGUEIREDO, M.G. Stochastic model for simulating maize yield. *Transactions of the Asabe*, v.55, n.3, p. 1107-1120, 2012.

ELDAKAK M.; MILAD S. I. M.; NAWAR A. I.; ROHILA J. S. Proteomics: a biotechnology tool for crop improvement. *Frontiers in Plant Science*, v. 4, p.1–12, 2013.

ELDAKAK M.; MILAD S. I. M.; NAWAR A. I.; ROHILA J. S. Proteomics: a biotechnology tool for crop improvement. *Frontiers in Plant Science*, v. 4, p.1–12, 2013.

EMBRAPA SOJA. Historia da soja. Disponível em: <
<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/historia>> Acesso em: 05 de Agosto de 2021.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FITA, A.; RODRÍGUEZ-BURRUEZO, A.; BOSCAIU, M.; PROHENS, J.; VICENTE, O. Breeding and domesticating crops adapted to drought and salinity: A new paradigm for increasing food production. *Frontiers in Plant Science*, v. 6, p. 978, 2015.

FOLLI-PEREIRA, M. S.; MEIRA-HADDAD, L. S.; BAZZOLI, D. M. S.; KASUYA, M. C. M. Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, p. 1083-1091, 2012.

FOYER, C. H.; LAM, H-M.; NGUYEN, H. T.; SIDDIQUE, K. H. M.; VARSHNEY, R. K.; COLMER, T. D.; COWLING, W.; BRAMLEY, H.; MORI, T. A.; HODGSON, J. M.; COOPER, J. W.; MILLER, A. J.; KUNERT, K.; VOSTER, J.; CULLIS, C.; OZGA, J. A.; WAHLQVIST, M. L.; LIANG, Y.; SHOU, H.; SHI, K.; YU, J.; FODOR, N.; KAISER, B. N.; WONG, F-L.; VALLIYODAN, B.; CONSIDINE, M. J. Neglecting legumes has compromised human health and sustainable food production. *Natures Plants*, v. 2, n. 16112, 10p., 2016.

FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A.; PÁDUA, G.P.; LORINI, I.; HENNING, F.A. Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 82p. (Embrapa Soja, Documentos, 380).

FREITAS, M. C. M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. *Enciclopédia Biosfera Científica Conhecimento*, v. 7, n.12, p.1-12, 2011.

GAZZONI, D. L. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. *Ciência e cultura*, v. 70, n. 3, 2018.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, n.46, p.235- 244, 1963.

GERLACH N, SCHMITZ J, POLATAJKO A, SCHLÜTER U, FAHNENSTICH H, WITT S, FERNIE AR, UROIC K, SCHOLZ U, SONNEWALD U, BUCHER M. An integrated functional approach to dissect systemic responses in maize to arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Plant, Cell & Environment*. v. 38, n. 8, p. 1591-1612, 2015.

GILL, S. S.; GILL, R.; TRIVEDI, D. K.; ANJUM, N. A.; SHARMA, K. K.; ANSARI, M. W.; ANSARI, A. A.; JOHRI, A. K.; PRASAD, R.; PEREIRA, E.; VARMA, A.; TUTEJA, N. *Piriformospora indica*: Potential and Significance in Plant Stress Tolerance. *Frontiers in Microbiology*, v. 22, n. 7, p. 332, 2016.

GOLUBKINA, N.; LOGVINENKO, L.; NOVITSKY, M.; ZAMANA, S.; SOKOLOV, S.; MOLCHANOVA, A.; SHEVCHUK, O.; SEKARA, A.; TALLARITA, A.; CARUSO, G. Yield, essential oil and quality performances of *Artemisia dracuncululus*, *Hyssopus officinalis* and *Lavandula angustifolia* as affected by arbuscular mycorrhizal fungi under organic management. *Plants*, v. 9, n. 3, p. 375, 2020.

HAMEED, A.; WU, Q.-S.; ABD-ALLAH, E. F.; HASHEM, A.; KUMAR, A.; LONE, H. A.; AHMAD, P. Role of am fungi in alleviating drought stress in plants. In: M. Miransari (ed.), *Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses*, p. 55-75, 2014.

HART, M.; EHRET, D. L.; KRUMBEIN, A.; LEUNG, C.; MURCH, S.; TURI, C.; HOLSTE EK, HOLL KD, ZAHAWI RA, KOBE R. Reduced above ground tree growth associated with higher arbuscular mycorrhizal fungal diversity in tropical forest restoration. *Ecology and Evolution*. v. 6, n. 20, p. 7253–7262, 2016.

HASHEM, A.; ALQARAWI, A. A.; RADHAKRISHNAN, R.; AL-ARJANI, A. F.; ALDEHAISH, H. A.; EGAMBERDIEVA, D.; ABD ALLAH, E. F. Arbuscular mycorrhizal fungi regulate the oxidative system, hormones and ionic equilibrium to trigger salt stress tolerance in *Cucumis sativus* L. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 25, n. 6, p. 1102-1114, 2018.

HE, F.; SHENG, M.; TANG, M. Effects of *Rhizophagus irregularis* on photosynthesis and antioxidative enzymatic system in *Robinia pseudoacacia* L. under drought stress. *Frontiers in Plant Science*, v. 8, n. 183, 14 p., 2017.

HEERDEN, P. D. R. Van; DONALDSON, R. A.; WATT, D. A.; SINGELS, A. Biomass accumulation in sugarcane: unravelling the factors underpinning reduced growth phenomena. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 61, n. 11, p. 2877-2887, 2010.

HODGE, A.; HELGASON, T.; FITTER, A. H. Nutritional ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. *Fungal Ecology*. V. 3, p. 267-273, 2010.

HOLSTE, E. K.; HOLL, K. D.; ZAHAWI, R. A.; KOBE, R. Reduced above ground tree growth associated with higher arbuscular mycorrhizal fungal diversity in tropical forest restoration. *Ecology and Evolution*, v. 6, n. 20, p. 7253–7262, 2016.

HUANG, D.; MA, M.; WANG, Q.; ZHANG, M.; JING, G.; LI, C.; MA, F. Arbuscular mycorrhizal fungi increased apple drought resistance by regulating genes in the MAPK pathway. *Plant Physiology Biochemistry*, v. 149, n. 1, p. 245-255, 2020.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – janeiro 2020. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>>. Acesso em 22 de junho de 2021.

IFAG - Instituto para o Fortalecimento da Agropecuária de Goiás. 1º Levantamento de Plantio da Safra de Soja 2019/2020.

JALONEN, R.; TIMONEN, S.; SIERRA, J.; NYGREN, P. Arbuscular mycorrhizal symbioses in a cut-and-carry forage production system of legume tree *Gliricidia sepium* and fodder grass *Dichanthium aristatum*. *Agroforest Systems*, v.87, n.2, p.319-330, 2013.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal – flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant Disease Report*, v. 48, 1964. p. 692.

JI, L.; TAN, W.; CHEN, X. Arbuscular mycorrhizal mycelial networks and glomalin-related soil protein increase soil aggregation in Calcaric Regosol under well-watered and drought stress conditions. *Soil and Tillage Research*, v. 185, p. 1–8, 2019.

JIN, K.; SHEN, J.; ASHTON, R. W.; WHITE, R. P.; DODD, I. C.; PARRY, M. A. J.; WHALLEY, W. R. Wheat root growth responses to horizontal stratification of fertiliser in a water-limited environment. *Plant and Soil*, v. 386, n. 1-2, p. 77–88, 2015.

KHALVATI, A.; BARTHA-DIMA, B.; DUPIGNY, A.; SCHRÖDER, P. Arbuscular mycorrhizal association is beneficial for growth and detoxification of xenobiotics of barley under drought stress. *Journal of Soils and Sediments*, v. 10, n. 1, p. 54–64, 2009.

KIRIACHEK, S. G.; AZEVEDO, L. C. B. de; PERES, L. E. P.; LAMBAIS, M. R. Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 33, n. 1, p. 1-16, 2009.

KOSKEY, R. E.; GEMMA, J. N. A modified procedure for staining roots to detect micorrizas. *Mycological Research*. v.92, n. 4, p. 486-505, 1989.

LISAR, S. Y. S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M. M.; RAHMAN, I. M. M. Water stress in plants: causes, effects and responses. In: RAHMAN, I. M. M. (Ed.). *Water Stress*. Rijeka: Intech, cap. 1, v. 1, p. 1-14, 2012.

LIU, T.; SHENG, M.; WANG, C. Y.; CHEN, H.; LI, Z.; TANG, M. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, water status, and photosynthesis of hybrid poplar under drought stress and recovery. *Photosynthetica*, v. 53, p. 250–258, 2015.

MACHADO, A. T. Construção histórica do melhoramento genético de plantas: do convencional ao participativo. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 9, n. 1, p.35-50, 2014.

MACLEAN, A. M.; BRAVO, A.; HARRISON, M. J. Plant signaling and metabolic pathways enabling arbuscular mycorrhizal symbiosis. *The Plant Cell*, v. 29, n. 10, p. 2319–2335, 2017.

MANOHARAN, P. T.; SHANMUGAIAH, V.; BALASUBRAMANIAN, N.; GOMATHINAYAGAM, S.; SHARMA, M. P.; MUTHUCHELIAN, K. Influence of AM fungi on the growth and physiological status of *Erythrina variegata* Linn. grown under different water stress conditions. *European Journal of Soil Biology*, v. 46, n. 2, p. 151–156, 2010.

MARIANO, F. M. Precipitações pluviárias e a cultura da soja em Goiás. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, v. 9, n. 1, p. 121-134, 2010.

MARQUES, R. P.; FREIRE, C. S.; NASCIMENTO, H. H. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Relações hídricas e produção de pigmentos fotossintéticos em mudas de *Eugenia uniflora* L. sob condições de salinidade. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 4, n. 3, p. 497-509, 2011.

MATHUR, S.; SHARMA, M. P.; JAJOO, A. Improved photosynthetic efficacy of maize (*Zea mays*) plants with Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) under high temperature stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, v. 180, p. 149–154, 2018.

McGONIGLE, T. P.; MILLER, M. H.; EVANS, D. G.; FARCHILD, G. L.; SWAN, J. A. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, v. 115, n. 3, p. 495.1990.

MIRANSARI, M. Contribution of arbuscular mycorrhizal symbiosis to plant growth under different types of soil stress. *Plant Biology*, v. 12, n. 4, p. 563–569, 2010.

MO, Y.; WANG, Y.; YANG, R.; ZHENG, J.; LIU, C.; LI, H.; MA, J.; ZHANG, Y.; WEI, C.; ZHANG, X. Regulation of Plant Growth, Photosynthesis, Antioxidation and Osmosis by an Arbuscular Mycorrhizal Fungus in Watermelon Seedlings under Well-Watered and Drought Conditions. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, n. 644, 2016.

MONA, S. A.; HASHEM, A.; ABD_ALLAH, E. F.; ALQARAWI, A. A.; SOLIMAN, D. W. K.; WIRTH, S.; EGAMBERDIEVA, D. Increased resistance of drought by *Trichoderma harzianum* fungal treatment correlates with increased secondary metabolites and proline content. *Journal of Integrative Agriculture*, v. 16, n. 8, p. 1751-1757, 2017.

O'DONOGHUE, E. J.; HANSEN, J.; STALLINGS, D. USDA Agricultural Projections to 2026. *World Agricultural Outlook Board*, U.S. Department of Agriculture, pp 1-106, 2017.

PEREIRA, M. S. F. Fungo micorrízico arbuscular e glicina betaína aumentam a tolerância de pinhão-mansão em condições de estresse abiótico. 152f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 2012.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, v. 55, n. 1, p. 158-161. 1970.

RECCHIA, G. H.; KONZEN, E. R.; CASSIERI, F.; CALDAS, D. G. G.; TSAI, S. M. A simbiose micorrízica arbuscular leva à regulação diferencial de genes responsivos à seca em células radiculares específicas de tecido de feijão comum. *Frontiers in Microbiology*, v. 9, n. 1339, 2018.

REN, A. T.; ZHU, Y.; CHEN, Y. L.; REN, H. X.; LI, J. Y.; ABBOTT, L. K.; XIONG, Y. C. Arbuscular mycorrhizal fungus alters root-sourced signal (abscisic acid) for better drought acclimation in *Zea mays* L. seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, v. 167, n. 103824, 10 p., 2019.

RIVERO, J.; GAMIR, R.A.; POZO, M.J.; FLORS, V. Metabolic transition in mycorrhizal tomato roots. *Frontiers in Microbiology*, v.6, n. 598, p.1-13, 2015.

RIZVI, R.; IQBAL, J.; MAHMOOD, I.; ANSARI, R.A. Comparative efficacy of different arbuscular-mycorrhizal fungal spp. (AMF) on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *e-Journal of Science and Technology*, v.1, n.10, p. 13-26, 2015.

RODRIGUES, L. A.; BARROSO, D. G.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. Fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e na nutrição mineral de mudas de *Tectona grandis* L F. *Ciência Florestal*, v. 28, n. 1, p. 25-34, 2018.

RYDLOVÁ, J.; PÜSCHEL, D. Arbuscular mycorrhiza, but not hydrogel, alleviates drought stress of ornamental plants in peat-based substrate. *Applied Soil Ecology*, v. 146, n. 103394, 8p., 2020.

SABOYA, R. C. C.; JÚNIOR, A. F. C.; MONETIRO, F. P. R.; SANTOS, G. R.; ERASMO, E. A. L.; CHAGAS, L. F. B. Fungos micorrízicos arbusculares afetando a produção de mudas de Pinhão-mansão na região Sul do Estado de Tocantins, Brasil. *Revista Ceres*, v. 59, n. 1, p. 142-146, 2012.

SANTANDER, C.; AROCA, R.; RUIZ-LOZANO, J. M.; OLAVE, J.; CARTES, P.; BORIE, F.; CORNEJO, P. Arbuscular mycorrhiza effects on plant performance under osmotic stress. *Mycorrhiza* 2017, v. 27, n. 7, p. 639–657, 2017.

SCHIAVO, J. A.; AZEVEDO, L. S.; LIMA, M. F.; OLIVEIRA, N. S.; LOPES, V. R. Crescimento inicial de cana-de-açúcar inoculada com fungos micorrízicos arbusculares e fósforo. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 41, n. 2, p. 121-130, 2018.

SCHOLANDER, P. E.; HAMMEL, H. T.; BRADSTREET, E. D.; HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants. *Science*, v. 148, n. 3668, p. 339-46, 1965.

SEPAHVAND, T.; ETEMAD, V.; MATINIZADEH, M.; SHIRVANY, A. Symbiosis of AMF with growth modulation and antioxidant capacity of Caucasian Hackberry (*Celtis Caucasica* L.) seedlings under drought stress. *Central Asian Journal Environmental Science and Technology Innovation*, v. 2, n. 1, p. 20-35, 2021.

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2016.

SMITH, S. E.; READ, D. J. *Mycorrhizal symbiosis*. 3. ed., Repr ed. Amsterdam: Elsevier/Acad. Press, 2010.

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

SOARES, C. F. S.; SOUSA, C. S.; GARRIDO, M. S.; LIMA, F. S. Fungos micorrizicos arbusculares e composto orgânico no crescimento e nutrição de mudas de jenipapeiro. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n. 1, p. 47-54, 2012.

SOHRABI, Y.; HEIDARI, G.; WEISANY, W.; GOLEZANI, K. G.; MOHAMMADI, K. Changes of antioxidative enzymes, lipid peroxidation and chlorophyll content in chickpea types colonized by different *Glomus* species under drought stress. *Symbiosis*, v. 56, n.1, p. 5-18, 2012.

TADAYYON, A.; NIKNESHAN, P.; PESSARAKLI, M. Effects of drought stress on concentration of macro- and micro-nutrients in Castor (*Ricinus communis* L.) plant. *Journal of Plant Nutrition*, v. 41, n. 3, p. 304-310, 2017.

VAN DER HEIJDEN, M. G. A.; MARTIN, F. M.; SELOSSE, M. A.; SANDERS, I. R. Mycorrhizal ecology and evolution: The past, the present, and the future. *New Phytologist*, v. 205, n. 4, p. 1406-1423, 2015.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophyll-A and chlorophyll-B, as well as total carotenoids using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal Plant Physiology*, v. 144, n. 3, p. 301–313, 1994.

WU, H. H.; ZOU, Y. N.; RAHMAN, M. M.; NI, D.; WU, Q. S. Mycorrhizas alter sucrose and proline metabolism in trifoliolate orange exposed to drought stress. *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, p. 42389, 2017.

WU, Q.S.; ZOU, Y.N. Arbuscular mycorrhizal fungi and tolerance of drought stress in plants. In *Arbuscular Mycorrhizas and Stress Tolerance of Plants*; Springer: Singapore, 2017; pp. 25–41.

YANG, Y.; HAN, X.; LIANG, Y.; GHOSH, A.; CHEN, J.; TANG, M. The combined effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and lead (Pb) stress on pb accumulation, plant growth parameters, photosynthesis, and antioxidant enzymes in *Robinia pseudoacacia* L. *PLoS ONE*, v. 10, n. 12, e0145726, 2015.

YANG, Y.; TANG, M.; SULPICE, R.; CHEN, H.; TIAN, S.; BAN, Y. H. Arbuscular mycorrhizal fungi alter fractal dimension characteristics of *Robinia pseudoacacia* L. seedlings through regulating plant growth, leaf water status, photosynthesis, and nutrient concentration under drought stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 33, p. 612–625, 2014.

ZAREI, M.; PAYMANEH, Z. Effect of salinity and arbuscular mycorrhizal fungi on growth and some physiological parameters of *Citrus jambheri*. *Archives of Agronomy and Soil Science*, v. 60, n. 7, p. 993–1004, 2014.

ZHANG, F.; WANG, P.; ZOU, Y. N.; WU, Q. S.; KUČA, K. Effects of mycorrhizal fungi on root-hair growth and hormone levels of taproot and lateral roots in trifoliolate orange under drought stress, *Archives of Agronomy and Soil Science*, v. 65, n. 9, p. 1316–1330, 2019.

ZHANG, F.; ZOU, Y. N.; WU, Q. S.; KUČA, K. Arbuscular mycorrhizas modulate root polyamine metabolism to enhance drought tolerance of trifoliolate orange. *Environmental and Experimental Botany*, v. 171, n. 103926, 32 p., 2019.

ZHANG, T.; HU, Y.; ZHANG, K.; TIAN, C.; GUO, J. Arbuscular mycorrhizal fungi improve plant growth of *Ricinus communis* by altering photosynthetic properties and increasing pigments under drought and salt stress. *Industrial Crops and Products*, v. 117, p. 13–19, 2018.

ZHANG, Y.; ZHONG, C. L.; CHEN, Y.; CHEN, Z.; JIANG, Q. B.; WU, C.; PINYOPUSARERK, K. Improving drought tolerance of *Casuarina equisetifolia* seedlings by arbuscular mycorrhizas under glasshouse conditions. *New Forest*, v. 40, p. 261–271, 2010.

ZHANG, Z.; ZHANG, J.; XU, G.; ZHOU, L.; LI, Y. Arbuscular mycorrhizal fungi improve the growth and drought tolerance of *Zenia insignis* seedlings under drought stress. *New For.* v. 50, p. 593–604, 2019.

ZOU, Y. N., SRIVASTAVA, A. K., NI, Q. D., & WU, Q. S. Disruption of mycorrhizal extraradical mycelium and changes in leaf water status and soil aggregate stability in rootbox-grown trifoliate orange. *Frontiers in microbiology*, v. 6, 2015.