



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – DCIAG
CURSO ENGENHARIA AGRONÔMICA**

LORENA PEREIRA DE CARVALHO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO BIOMAPHOS EM PLANTAS DE
SORGO SOB DÉFICIT HÍDRICO**

SETE LAGOAS

2021

LORENA PEREIRA DE CARVALHO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO BIOMAPHOS EM PLANTAS DE
SORGO SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de São João Del-Rei – Campus Sete Lagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Professor Dr. Iran Dias Borges

Co-orientador: Dr. Paulo César Magalhães

SETE LAGOAS

2021

LORENA PEREIRA DE CARVALHO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO BIOMAPHOS EM PLANTAS DE
SORGO SOB DÉFICIT HÍDRICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de São João Del-Rei – Campus Sete Lagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Sete Lagoas, 16/04/2021.

Nota: _____

BANCA EXAMINADORA:

ORIENTADOR: Professor Dr. Iran Dias Borges

CO-ORIENTADOR: Dr. Paulo César Magalhães

AVALIADOR

“Seja qual for o rumo que tomarmos, nosso destino está indissoluvelmente ligado à ciência”.

- Carl Sagan

Aos meus pais Neuza Maria e Aderlânio Romeu, que apesar da humildade e do pouco estudo, sempre acreditaram na educação como o caminho para o crescimento do ser humano.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Difícil definir em palavras o quão grata estou por finalizar mais essa etapa. Gostaria de agradecer a Deus, por me dar suporte e a manter esperança. Gostaria de agradecer a minha Mãe e meu pai, por me amarem, motivarem e consolar na loucura dessa vida de universitária.

Ao meu orientador Dr. Paulo César Magalhães pela oportunidade de fazer parte dessa equipe fantástica do laboratório de estresse abiótico, pelo exemplo de ética e exemplo profissional! Obrigada por todo auxílio e apoio nesta etapa! Sem palavras, gratidão eterna!

Ao meu orientador e professor Iran Dias Borges por estar disposto a orientar-me, e por ser tão prestativo sempre, e auxiliar na minha aprendizagem. A Dr^a Cristiane Paiva, a Vitoria, e todos do laboratório de microbiologia da Embrapa Milho e Sorgo pelo suporte e disponibilização dos materiais. A Ana Paula por me ajudar sempre, ser um exemplo de motivação todos os dias. Ao Célio por me motivar e auxiliar durante todo o experimento. Ao Carlos por todo o auxílio prestado e pela motivação. Ao Gilberto por todo conhecimento prático, por todos os ensinamentos pela preocupação e zelo pelo trabalho, gratidão eterna!

Assim como agradecer aos meus irmão Gabriela que me ensinou a estudar, e ao Marcos que mesmo sem saber, me ouviu e me incentivou todos os dias. Enfim, agradeço toda a minha família por me incentivar sempre a continuar, em especial minhas tias Cleuza e Tereza. Meus agradecimentos vão também ao meu cunhado Paulo César (Paulão) por ter me levado para fazer o vestibular, me encorajar mesmo em um dia de tempestade, esse foi o estopim para começar toda essa loucura. Ao Fernando Pimenta por me dar suporte emocional, incentivar me auxiliar e dar esperanças de dias melhores.

Sou grata também a Embrapa Milho e Sorgo e ao CNPq por investir na pesquisa e assim podermos fazer um mundo com mais conhecimento. Aos meus colegas Alexon, Jhenny, Andréa, Cristiano e Luciano por me apoiarem, ensinar e auxiliar nas disciplinas da universidade.

Sou grata também a Universidade Federal de São João del Rei, por disponibilizar um curso tão conceituado com professores próximos aos alunos e dispostos a fazer muito pelo curso e pelos alunos.

Com isso, deixo todos com estima consideração e agradecimento.

RESUMO

O sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) é o quinto cereal mais importante do mundo. Ele se adapta bem a diversos ambientes, porém o aumento da escassez hídrica e a baixa disponibilidade de fósforo (P) e outros nutrientes estão entre os fatores que mais têm limitado sua produção nas regiões tropicais. O fósforo é um elemento essencial e pouco móvel no solo, assim a utilização de microrganismos solubilizadores de P, pode aumentar sua disponibilidade e diminuir os efeitos causados pela baixa disponibilidade desse nutriente, e amenizar os efeitos da seca. A inoculação por Biomaphos®, pode melhorar o crescimento vegetal, crescimento radicular e mitigar os efeitos do déficit hídrico no desenvolvimento das plantas de sorgo. O objetivo deste trabalho foi o de estudar e avaliar a ação do inoculante Biomaphos® com seus microrganismos solubilizadores de fósforo na tolerância do sorgo ao déficit hídrico. Os tratamentos deste experimento envolveram variação na dose de Biomaphos® (quatro doses: controle, 50, 100 e 200 mL. ha⁻¹) aplicado via inoculação das sementes, utilizando o genótipo do sorgo BRS 332, sensível à seca em duas condições hídricas: Irrigado e Estressado. Foi observado que o uso do inoculante Biomaphos® em plantas de sorgo proporciona melhores respostas ecofisiológicas e de produção dos grãos. Para plantas de sorgo, nas condições de com e sem imposição de déficit hídrico, a dose 100mL.ha⁻¹ do inoculante Biomaphos® é suficiente para proporcionar melhoria na eficiência fotossintética.

Palavras chave: *Sorghum bicolor*, estresse hídrico, Biomaphos®

ABSTRACT

Grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) is the fifth most important cereal in the world. It adapts well to different environments, but the increase in water scarcity and the low availability of phosphorus (P) and other nutrients are among the factors that have most limited its production in tropical regions. Phosphorus is an essential and poorly mobile element in the soil, therefore the use of P-solubilizing microorganisms can increase its availability and decrease the effects caused by drought. The objective of this study was to study and evaluate the action of the Biomaphos® inoculant with its phosphorus-solubilizing microorganisms in the tolerance of sorghum to water deficit. Inoculation by Biomaphos®, can improve plant growth, root growth and mitigate the effects of water deficit on the development of sorghum plants. The treatments of this experiment were a variation in the dose of BiomaPhos® (four doses, 0, 50, 100 and 200 mL.ha⁻¹) applied via seed inoculation, using the sorghum genotype BRS 332 susceptible to drought and two water conditions: Irrigated and Stressed. It was observed that the use of the Biomaphos® inoculant in sorghum plants provides better ecophysiological and grain production responses. For sorghum plants, with and without water deficit, the dose of 100mL.ha⁻¹ of the Biomaphos® inoculant is sufficient to improve photosynthetic efficiency.

Keywords: *Sorghum bicolor*, water stress, Biomaphos®

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO.....	1
2 - REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 - A Cultura do Sorgo no Brasil.....	3
2.2 - Relação entre o Déficit hídrico e Produtividade	4
2.3 - Características Ecofisiológicas do Sorgo	5
2.4 - Importância do P na Produção do Sorgo Granífero	6
2.5 - Microorganismos Solubilizadores de Fosfato	7
3 - MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1 - Montagem e Condução do Experimento.....	9
3.2 - Inoculação das Sementes.....	10
3.3 - Imposição do Déficit Hídrico.....	10
3.4 - Avaliações	10
3.5 - Análise dos dados.....	11
4 – RESULTADOS	12
4.1 - Análises da parte aérea das plantas	12
4.2 - Massa Seca da parte aérea e raiz	12
4.3 - Relações hídricas e fotossíntese durante à seca.	13
4.4 - Relações hídricas e fotossíntese na recuperação à seca.	15
4.5 - Produção de grãos	15
4.5- Análises morfológicas de crescimento das raízes	16
5 - DISCUSSÃO.....	18
6 - CONCLUSÃO	21
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

1 - INTRODUÇÃO

O sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], pertencente à família Poaceae, é o quinto cereal mais plantado no mundo, seguido pelo trigo, arroz, milho e cevada (FAOSTAT 2019). O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) estima que a produção mundial de sorgo 2020/21 será de 59,76 milhões de toneladas em uma área de 48,2 milhões de hectares.

O sorgo é uma gramínea classificada em quatro grupos conforme suas diferentes finalidades: granífero utilizado para produção de grãos; sacarino para silagem ou produção de açúcar e etanol; forrageiro, para pastejo de gado e silagem; e vassoura, que é utilizado na produção de vassouras artesanais.

O sorgo é uma cultura bastante utilizada na segunda safra sobretudo safrinha mais tardia, consegue ter boa produtividade em condições de menor disponibilidade de água de acordo com suas características genéticas, e combinado a natureza xerófita que torna a planta mais tolerante ao déficit hídrico (Bibi et al, 2010). De acordo com Alvim et al, (2003) além da adaptação da planta às condições climáticas do ambiente o seu potencial só é maximizado quando a fertilidade do solo está de acordo com as suas exigências nutricionais.

Apesar da sua tolerância ao déficit de água, o crescente aumento da escassez hídrica e a baixa disponibilidade de fósforo (P) vem limitando a produção dos grãos em solos de regiões tropicais (Leão et al, 2011). O fósforo atua no crescimento, desenvolvimento e na reprodução das plantas, está associado à fotossíntese, divisão celular e utilização de açúcares e amido (López-Bucio et al, 2002) e ainda exerce importante papel no processo de formação de grãos. O fósforo ainda induz o desenvolvimento radicular importante em regiões onde ocorre veranicos (Raij, 1991). O fornecimento de fósforo à raiz ocorre principalmente pelo processo de difusão, o qual depende da umidade do solo e da superfície radicular, pois é um elemento pouco móvel no solo (Gahoonia et al, 1994).

Uma opção viável e econômica que vem crescendo a aceitação entre os agricultores é a utilização de microorganismos solubilizadores de fósforo. Esta é uma boa alternativa para amenizar a limitação do nutriente, pois eles aumentam a eficiência dos fosfatos nos solos e reduzem os custos de produção (Gadd., 1999; Withelaw, 2000). A adição de inoculantes contendo esses microrganismos aumentam a liberação de P na rizosfera por meio da produção de ácidos orgânicos, enriquecendo o solo nutricionalmente (Owen et

al, 2015). Assim, a Embrapa Milho e Sorgo lançou recentemente o Biomaphos® uma tecnologia desenvolvida para a solubilização de fósforo por meio de microorganismos. Ele é composto por cepas de BRM 119 (*Bacillus megaterium*) e BRM 2084 (*Bacillus subtilis*) que aumentam a disponibilidade de fósforo para a planta.

De acordo com o fabricante há potencial de aplicação do produto para diversas culturas, porém ainda não há estudos disponíveis que demonstram a eficiência do Biomaphos® para a cultura do sorgo. Apesar do produto estar disponível no mercado há apenas um ano, ele foi utilizado principalmente em milho e soja com excelentes resultados (Oliveira et al, 2020). Se comprovada a sua eficiência no sorgo e outras culturas agrícolas do Brasil, o inoculante poderá contribuir efetivamente para a redução da excessiva dependência de fertilizantes fosfatados importados.

Dentro deste contexto o objetivo desta pesquisa foi o de estudar e avaliar a ação do inoculante Biomaphos® com seus microrganismos solubilizadores de fósforo na tolerância do sorgo ao déficit hídrico.

2 - REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 - A Cultura do Sorgo no Brasil

O sorgo foi introduzido no Brasil no início do século XX (Duarte, 2015), ele pode ser cultivado em quase todo território nacional devido às suas altas taxas fotossintéticas, rusticidade e tolerância à seca. Em regiões quentes como o semiárido, a cultura pode ser de grande utilidade pois suas características xerofíticas proporcionam melhor adaptabilidade onde culturas como o milho não conseguem atingir o máximo em produtividade de grãos (Molina et al, 2000).

Tabosa et al, (2002) ressaltam a importância do cultivo de plantas xerófilas no semiárido nordestino como meta fundamental para o aproveitamento da região devido às suas dificuldades climáticas. Conhecido por ser considerado o substituto do milho, com características nutricionais semelhantes, o sorgo vem aumentando sua importância na região nordeste, em áreas onde a seca é mais frequente. Nestas situações, ele apresenta boa tolerância ao déficit hídrico, e o seu uso vem sendo recomendado para a alimentação animal em rações balanceadas para bovinos, suínos e aves, podendo ainda ser utilizado na alimentação humana (Pitombeira et al, 2004).

Para a safra brasileira 2020/21, a previsão é de 2,6 milhões de toneladas produzidas, 4,8% maior que a safra anterior, em uma área de 840,5 mil hectares, incremento de 0,6%, e uma produtividade estimada de 3.116 kg/ha, aumento de 4,2% em relação ao ano anterior. Os fatores que podem resultar no crescimento da área são, o aumento do cultivo na região Nordeste, por ser originário da África, de um clima bem semelhante, ou até mais severo do que o semiárido nordestino (CONAB 2021). O Levantamento Sistemático da Produção Agrícola realizado pelo IBGE (Fig. 1), mostra que o Sudeste e o Centro Oeste, foram as regiões brasileiras que mais se destacaram em relação a área plantada.

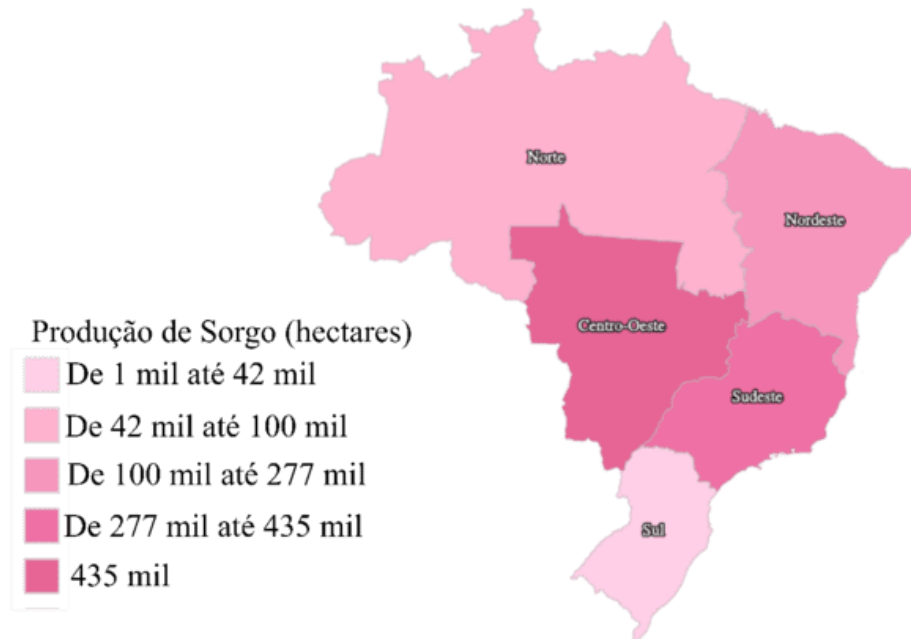


Figura 1- Mapa de produção do sorgo no Brasil

Fonte: IBGE- O Levantamento Sistemático da Produção Agrícola-2021

2.2 - Relação entre o Déficit hídrico e Produtividade

O estágio fenológico da planta e o ambiente são os dois principais fatores a serem observados quando se considera avaliar os efeitos do déficit hídrico na produtividade de uma lavoura, além é claro das condições tecnológicas do produtor que podem afetar o rendimento da colheita. Antes do plantio é necessário selecionar genótipos com características que melhor se adaptem à região para obter melhores rendimentos (Vanderlip,1993).

O florescimento é o estágio crítico para avaliar a produtividade de uma cultura, pois ela envolve a polinização e fertilização, assim qualquer tipo de estresse, especialmente o hídrico sofrido neste momento afetará diretamente o desenvolvimento e a maturação dos grãos. Nessa fase ocorre a polinização que irá definir a quantidade e qualidade dos grãos. A diferenciação floral do sorgo é afetada principalmente pelo fotoperíodo, condições hídricas e pela temperatura do ar (Magalhães et al, 2010).

De acordo com Fillipou, (2011), é comum observar nas plantas em condição de estresse hídrico a indução e a acumulação de osmólitos, como prolina, polióis e açúcares, para melhorar o seu potencial osmótico, isso aumenta o grau de osmoproteção durante períodos de déficit hídrico por via de estabilização de estruturas subcelulares, com isso a quantidade de fotoassimilados fica disponível em menor quantidade para o enchimento

dos grãos. A produtividade depende principalmente do número de grãos polinizados e desenvolvidos, para isso é necessária uma determinada quantidade de fotoassimilados (açúcares) produzidos e disponíveis para translocação (Durães et al, 2005).

2.3 - Características Ecofisiológicas do Sorgo

O sorgo é uma planta que apresenta metabolismo C4, resposta fotoperiódica típica de dia curto e de altas taxas fotossintéticas. A grande maioria dos materiais genéticos de sorgo necessitam de temperaturas superiores a 21°C para um bom crescimento e desenvolvimento. Além de tolerar o déficit de água e o excesso de umidade no solo, o sorgo pode ser cultivado numa ampla faixa de condições de solo (Magalhães et al, 2010).

Os fatores limitantes para o desenvolvimento adequado do sorgo são a temperatura fora da faixa ideal, déficit hídrico e nutricional, pois eles afetam a taxa de expansão das folhas e altura das plantas, principalmente os genótipos mais sensíveis ao fotoperíodo. Salienta-se, no entanto, que as respostas fotoperiódicas são verificadas apenas nos materiais forrageiros, uma vez que os graníferos já foram melhorados para a insensibilidade ao fotoperíodo. A falta de água é uma das causas mais comuns de redução da área foliar e está associada com a expansão das células. Esses efeitos variam de acordo com fatores ambientais, estágio de desenvolvimento da cultura e a duração do estresse (Magalhães et al, 2010).

Em relação aos efeitos adversos do clima como déficit de pressão de vapor, água e a velocidade do vento, o sorgo possui um Kc (coeficiente de cultura basal) baixo para se desenvolver quando comparado com outros cereais, e seu período mais crítico à falta de água ocorre durante o florescimento. A falta de água no solo nessa fase reduz o número de sementes da panícula e atrasa o ciclo do sorgo (Doorenbos & Pruitt, 1977). Para a cultura do milho, os valores apresentados para o Kc médio na fase intermediária do ciclo da cultura variam entre 1,05 a 1,20 e, para o sorgo, de 1,00 a 1,15, porém esses valores variam de acordo com a umidade relativa do ar e velocidade do vento (Allen et al, 1998).

Condições de estresse hídrico podem resultar num aumento do número de estômatos, porém de tamanho reduzido (Silva; Alquini & Cavallet, 2005). De acordo com Lino, (2011) em estudos realizados com restrição hídrica, os resultados mostraram alta incidência de estômatos de menor tamanho. A diminuição no tamanho dos estômatos é um evento importante para regulação das trocas gasosas já que as plantas que possuem

estômatos menores possuem maior eficiência do uso da água ocasionando uma menor perda hídrica durante a transpiração (Melo et al, 2007).

2.4 - Importância do P na Produção do Sorgo Granífero

É necessário que todos os nutrientes essenciais estejam em quantidades adequadas ou em condições que favoreçam sua disponibilidade para absorção, pois sua deficiência é o fator limitante que pode causar alterações no metabolismo vegetal. Cada nutriente tem sua função definida no metabolismo das plantas (Taiz & Zeiger, 2004).

O fósforo é um elemento essencial, aumenta a eficiência do uso do nitrogênio e quando absorvido adequadamente favorece a formação de novos tecidos. O fósforo se une as cadeias carbonadas elevando o índice de área foliar e longevidade das folhas que estão fotossinteticamente ativas, ele aumenta o uso da radiação solar, eleva o acúmulo de matéria seca e da produção de grãos (Jorge & Gonzalez, 1997; Taiz & Zeiger, 2004). Na planta, encontra-se na forma de DNA (ácido desoxirribonucleico), RNA (ácidos ribonucleicos), polímeros de nucleotídeos, ésteres, fósforo inorgânico (Pi) e ATP (Malavolta et al, 1997).

Os solos brasileiros possuem alto grau de intemperismo fazendo com que haja um baixo conteúdo de fósforo disponível para as plantas, em consequência do material de origem e da forte interação do fósforo com o solo. Essa baixa disponibilidade acaba resultando nas altas doses de aplicação de adubação fosfatada, (Raij, 1991). De acordo com Pavinato et al, (2020) o fósforo aplicado sucessivamente nos solos brasileiros, principalmente em regiões produtoras de grãos, desde a década de 60, promoveu um acúmulo excessivo desse elemento (Fig. 2). O solo absorveu muito desse fósforo, de forma não disponível para a planta, devido a esse grande estoque é necessário aplicá-lo cada vez em menor quantidade, reduzindo seu uso na adubação, aliado a práticas de solubilização principalmente através de microorganismos, afim de disponibiliza-lo para absorção pelas plantas.

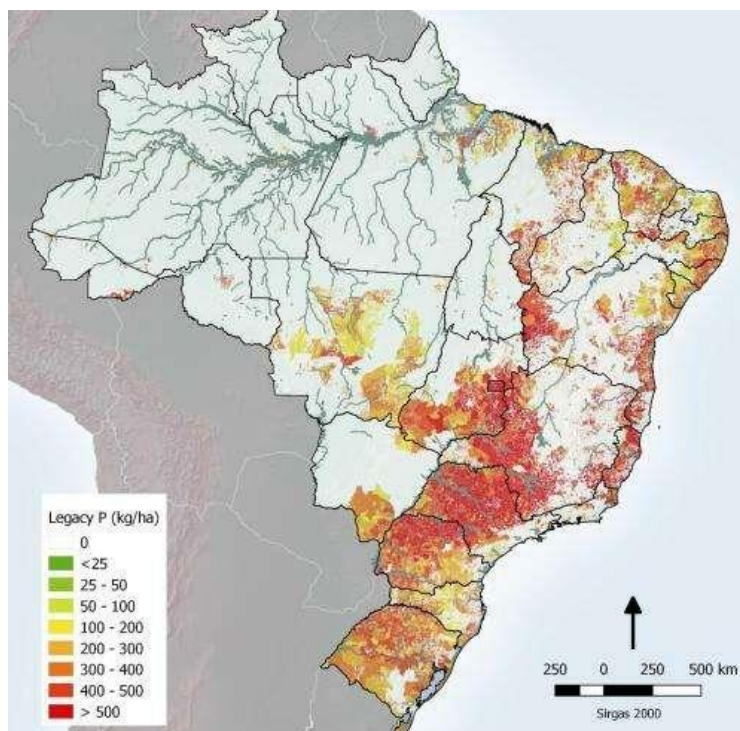


Figura 2: Teor de fósforo (mg P kg^{-1}) acumulado nos solos do Brasil, no período de 1960 a 2016. Fonte: Pavinato *et al* (2020).

A disponibilidade do fósforo e da água estão diretamente relacionados com o metabolismo fotossintético e como consequência a produtividade. Uma redução na reciclagem de fósforo entre citoplasma e estroma (Foyer, 1988), causado pela diminuição da absorção de fósforo ocasionado por uma restrição hídrica no solo (Novais & Smyth, 1999; Santos et al, 2006) pode levar a uma redução no consumo ou na produção de ATP e NADPH, e assim diminuir a regeneração da ribulose-1,5-bifosfato (Azcón – Bieto, 1983).

2.5 - Microorganismos Solubilizadores de Fosfato

A microbiota do solo desempenha papel fundamental no ciclo bioquímico e geoquímico do solo, eles estão envolvidos diretamente nos processos de solubilização e mineralização de nutrientes (Richardson, 2000). Para melhorar esse processo nos últimos anos, vários inoculantes foram patenteados, principalmente os que possuem isolados de bactérias promotoras de crescimento de plantas (PGPB) e microrganismos solubilizadores de fósforo (MSP). Seus efeitos benéficos foram diversamente relatados principalmente no processo de disponibilização de nutrientes essenciais, como o

nitrogênio, fósforo e potássio (Batista et al, 2018; Jochum et al., 2019; Oliveira et al, 2017).

Dentre as bactérias que possuem grande potencial na solubilização de fosfatos, destacam-se as dos gêneros *Rhizobium* (Sridevi & Mallaiiah, 2009), *Agrobacterium*, *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Erwinia* (Verma & Ladha, 2001; Garg et al, 2001), *Paenibacillus* (Wang et al, 2012) e *Bacillus* (Silva Filho & Vidor, 2000). Os *Bacillus* possuem alta capacidade de formar endósporos, permitindo que se adaptem a condições abióticas extremas, como temperatura, pH, radiação, dessecação, luz ultravioleta ou exposição a pesticidas (Bahadir et al, 2018).

A solubilização do fósforo inorgânico (Pi) pelos microorganismos ocorre principalmente por meio da excreção de ácidos orgânicos (lático, glicólico, cítrico, málico, oxálico e etc.) e seus prótons associados, que atuam diretamente na dissolução dos fosfatos, ou quelando os cátions que acompanham o ânion fosfato. Para serem absorvidos pelas plantas, essas formas orgânicas de fosfato são mineralizadas por microrganismos produtores de enzimas denominadas fosfatases e fitases, que catalisam a hidrólise de ésteres e anidridos de H_3PO_4 (Richardson, 2000).

A Embrapa Milho e Sorgo em parceria com a empresa Bioma desenvolveu recentemente, o Biomaphos® uma tecnologia que permite aumentar a eficiência de uso do fósforo pelas plantas, através de microrganismos solubilizadores de fosfatos. Ele é composto por cepas de BRM 119 (*Bacillus megaterium*) e BRM 2084 (*Bacillus subtilis*). As bactérias presentes no inoculante quando utilizado de forma correta se multiplicam e colonizam a rizosfera da planta iniciando a produção de ácidos orgânico e enzimas. Assim, o processo é iniciado pela dissolução do fósforo ligado aos hidróxidos de ferro $Fe(OH)^3$ e alumínio $Al(OH)^3$, silicatos de alumínio (Al_2SiO_5) e carbonatos de cálcio ($CaCO_3$) deixando-o disponível para a absorção e assimilação pela planta (Nahas, 2002). De acordo com pesquisas realizadas pelo grupo de Microbiologia do Solo da Embrapa Milho e Sorgo, a adubação do milho inoculado com o Biomaphos®, resultou em aumentos significativos na produtividade, mesmo com a redução da adubação fosfatada, o que pode diminuir gastos com fertilizantes importados (Oliveira et al, 2020).

Avaliar o desempenho do inoculante na produção do sorgo granífero sob déficit hídrico é inovador, e de grande importância, pois, se comprovada a sua eficiência para a cultura, o inoculante poderá auxiliar o cultivo do sorgo em regiões com baixa precipitação anual, e com alto estoque de fósforo disponível no solo, além de melhorar a produção e reduzir os danos ambientais e econômicos causados pela adubação fosfatada.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Montagem e Condução do Experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas - MG, Brasil, situada nas coordenadas geográficas: 19°28' S, 44°15'08'' W, e altitude média de 732 m. Foi utilizado um híbrido de sorgo granífero BRS 332 pertencente ao programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo, o qual é considerado sensível à seca (Batista et al., 2017). A semeadura foi realizada em vasos plásticos com capacidade de 20 kg, contendo Latossolo Vermelho Distrófico Típico textura média e seguiu as recomendações de correção de acordo com a análise química do solo, conforme descritas na (Tabela 1).

Foram plantadas cinco sementes por vaso, e após a germinação, na fase de desenvolvimento vegetativo V3 (três folhas completamente expandidas), de acordo com a escala fenológica proposta por (Ritchie et al, 1986), foi realizado o desbaste, deixando apenas duas plantas por vaso.

Tabela 1: Resultados da análise química do solo

pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	MO	P-Rem
H ₂ O	mg/dm ³		cmolc/dm ³				dag/kg	mg/L
5.12	85.1	250	8.19	0.51	0	6.2	5.04	34.1

Fonte: Laboratório de solos da UFV adaptada pela autora

De acordo com o resultado da análise do solo, foram aplicados 300 kg.ha⁻¹ de um fertilizante com formulação 8-28-16 de NPK na adubação de plantio. A adubação nitrogenada de cobertura foi aplicada 45 dias após a emergência das plantas, no estágio V6, com aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N (ureia) para todos os tratamentos.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) com um fatorial 4 x 2, constituído por quatro doses do inoculantes de Biomaphos® comercial: T1(sem inoculação), T2 (50mL.ha⁻¹), T3 (100mL.ha⁻¹) e T4 (200mL.ha⁻¹) e duas condições hídricas contrastantes (irrigado e déficit hídrico), com sete repetições.

3.2 - Inoculação das Sementes

Para a inoculação das sementes, utilizou-se um padrão de 8.000 g. ha⁻¹ de sementes de sorgo. Foi pesado 100 g e calculado a proporção de Biomaphos® para cada tratamento. A dose de inoculante utilizada em T2 foi de 50 mL. ha⁻¹ (equivalente a 0,625 mL do inoculante). A inoculação em T3 foi de 100 mL ha⁻¹ (equivalente a 1,25 mL do inoculante). E para T4 foi utilizado 200 mL ha⁻¹ (equivalente a 2,5 mL do inoculante). As sementes foram inoculadas com auxílio de uma pipeta volumétrica, acompanhando a dose calculada para cada tratamento. Após a aplicação do inoculante, foi utilizado o fixador Bioma Fix (1g/1,25mL de Biomaphos®), para a aderência do produto as sementes nas seguintes doses:

T1: Controle (Sem inoculação)

T2: 0,5g de Bioma Fix para 0,625 mL de Biomaphos®

T3: 1g de Bioma Fix para 1,25 mL de Biomaphos®

T4: 2g de Bioma Fix para 2,5 mL de Biomaphos®

3.3 - Imposição do Déficit Hídrico

O déficit hídrico foi imposto quando as plantas atingiram o estágio de pré-florescimento. O período de estresse hídrico foi de 15 dias. Nesta condição, a tensão de água no solo foi reduzida para -138 KPa, que corresponde a 50% da água disponível no solo. Por outro lado, os tratamentos irrigados permaneceram sob esta condição, mantendo-se na capacidade de campo. Os cálculos de reposição de água foram realizados em função da curva de retenção de água do solo.

O teor de água no solo foi monitorado diariamente nos períodos da manhã e tarde (09h00 e 15h00), com auxílio de sensores de umidade modelo GB Reader N1535 (Measurement Engineering, Australia) instalados no centro de cada parcela (vaso) a uma profundidade de 10 cm. Todos os vasos foram mantidos em capacidade de campo (CC) (tensão de água no solo de -18 kPa) durante o período que antecedeu a imposição do estresse.

3.4 - Avaliações

Durante o período de imposição do estresse hídrico foram realizadas duas avaliações uma no estresse máximo (14 dias após a imposição da restrição hídrica) e outra na recuperação (7 dias após o término da restrição hídrica). Foi analisada a condutância estomática utilizando um leitor de condutância estomática portátil Leaf Porometer (Decagon Pullman, USA). A Fluorescência da clorofila por meio de um fluorímetro portátil Pocket PEA chlorophyll fluorimeter (Hansatech United Kingdom). O Teor relativo de clorofila foi determinado através de um clorofilômetro portátil, Soil plant analysis development (SPAD) (Minolta SPAD 502 Osaka, Japan). O potencial hídrico foliar foi determinado por meio de uma bomba de pressão tipo Shollander no período da manhã. Foi analisada a área foliar por meio de um leitor de área foliar (LI-3100C, Nebraska, USA). Matéria seca das plantas oriundas da área foliar, foram acondicionadas em sacolas de papel e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 65°C, durante 72 horas, para obter a massa seca.

Na colheita foi avaliado a altura final das plantas utilizando uma régua graduada e os componentes de produção (massa de 100 grãos e massa total de grãos em (g)). A umidade dos grãos foi corrigida para o padrão recomendado de 13%.

Finalmente foi avaliado a morfologia do sistema radicular, utilizando o sistema de análise de imagens WinRhizo Pro 2007a (Regent Instruments, Sainte-Foy, QC, Canadá) acoplado a um scanner profissional (Epson, Expression 10000 XL, Epson America, Inc., USA) equipado com unidade de luz adicional (TPU). Foram determinadas as seguintes características: comprimento de raiz (cm), área de superfície de raiz (cm²), Em seguida as raízes foram armazenadas em sacos de papel e transportadas para uma estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até obtenção de massa constante.

3.5 - Análise dos dados

Os resultados obtidos, foram submetidos à análise de variância estatística e ao teste de comparação de médias pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$), utilizando o software estatístico SISVAR - Sistema de Análise de Variância (Ferreira 2010). Foi utilizado o ambiente e desenvolvimento JUPYTER LAB (2.2.6) e linguagem de programação PHYTON 3 para confecção dos gráficos.

4 - RESULTADOS

4.1 - Análises da parte aérea das plantas

A altura final determinada na fase de maturação dos grãos, mostrou que as plantas de sorgo em condição de seca e inoculadas com os tratamentos T3 e T4 (100 e 200 mL.ha⁻¹) aumentaram a altura em 7,6 % e 13,3 % respectivamente, quando comparadas ao T1 (controle) (Fig. 3).

A área foliar e massa seca foram determinadas após a colheita. Os tratamentos T3 e T4 (100 e 200 mL.ha⁻¹) para área foliar, resultaram num aumento de 26% e 23,5% respectivamente, quando comparados ao tratamento sem inoculação (Fig. 3b). O déficit hídrico reduziu a altura, área foliar das plantas de sorgo quando comparado às plantas na condição irrigada ($p \leq 0.05$) (Fig. 3). Já na condição irrigada não houve diferença entre os inoculantes para altura final e área foliar ($p \leq 0,05$) (Fig. 3ab).

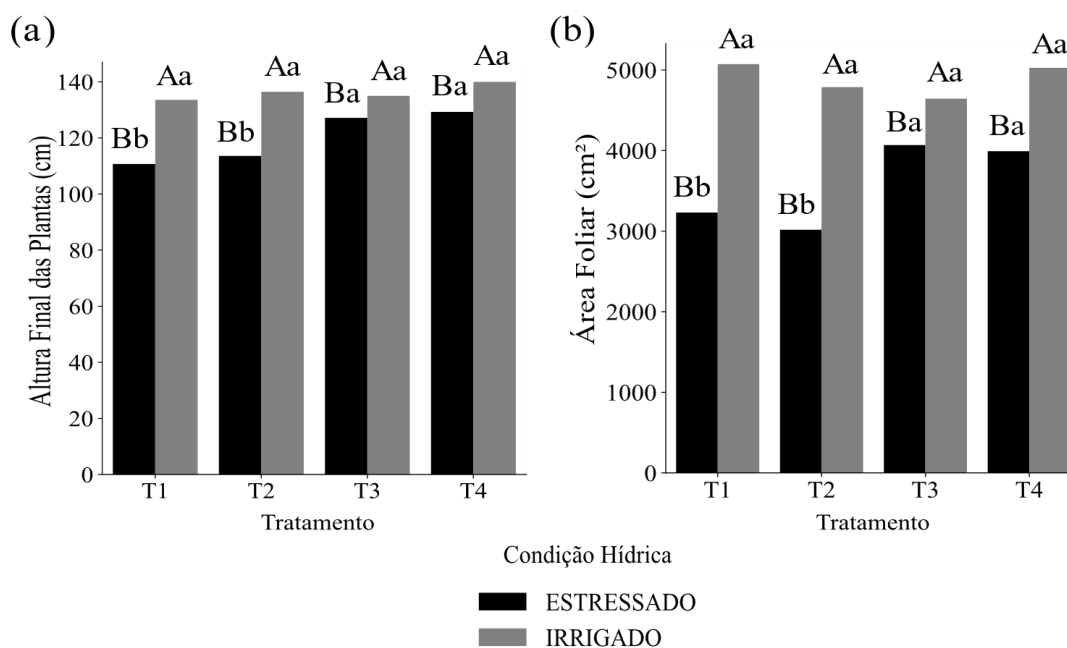


Figura 3 - Altura final das plantas (a), Área foliar (b) de plantas de sorgo inoculadas com Biomaphos® em condição irrigada e sob déficit hídrico. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade ($p \leq 0.05$). Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de uma mesma condição. Letras maiúsculas comparam os mesmos tratamentos nas duas condições hídricas.

4.2 - Massa seca da parte aérea e raiz

A massa seca da parte aérea e massa seca das raízes foram determinadas após a colheita. O déficit hídrico causou redução da massa seca da raiz e parte aérea das plantas

de sorgo quando comparado às plantas na condição irrigada ($p \leq 0.05$) (Fig. 4). A massa seca da parte aérea aumentou em 11,7 % no T3 (100mL.ha⁻¹), quando comparado ao tratamento sob restrição hídrica e sem inoculação (Fig. 4a). A massa seca da parte aérea aumentou 13,0% no tratamento T2 (50 mL. ha⁻¹) e 12,6 % no tratamento T4 (200 mL.ha⁻¹) comparado ao tratamento sem inoculação e condição irrigada (Fig. 4a).

Os tratamentos T3 e T4 (100 e 200 mL.ha⁻¹) em condição de estresse obtiveram um aumento de 16,5% e 17% de massa seca da raiz em comparação ao tratamento sem inoculação (Fig. 4b).

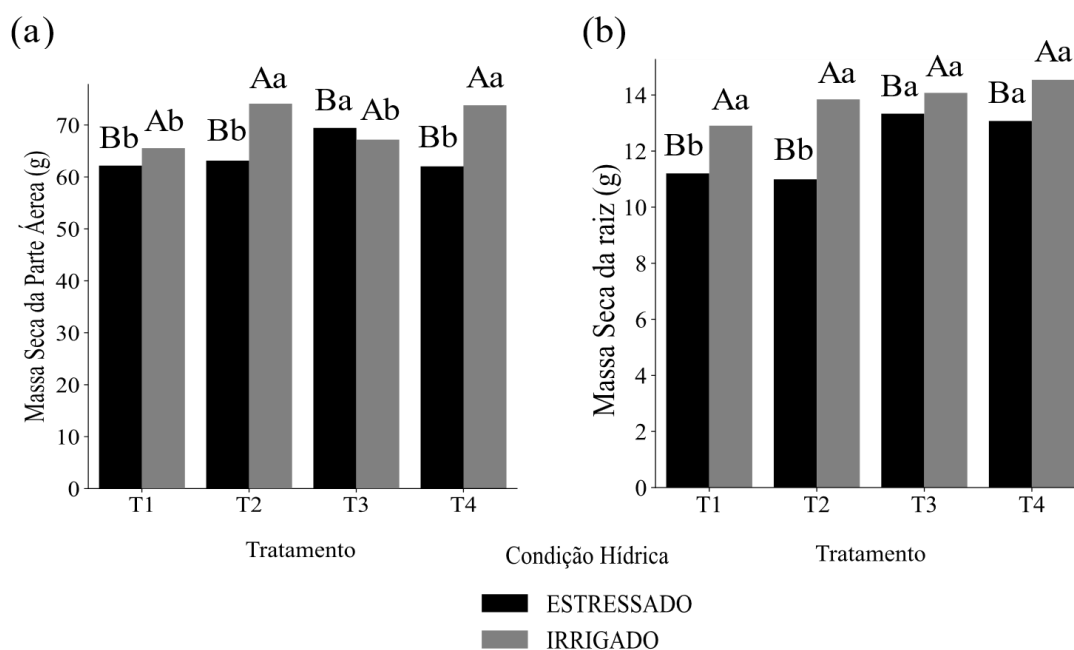


Figura 4 - Massa seca da parte aérea (a), Massa seca da raiz (b) de plantas de sorgo inoculadas com Biomaphos® em condição irrigada e sob déficit hídrico. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade ($p \leq 0.05$). Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de uma mesma condição. Letras maiúsculas comparam os mesmos tratamentos nas duas condições hídricas.

4.3 - Relações hídricas e fotossíntese durante à seca.

No último dia de restrição hídrica, todas as plantas que estavam em condição de déficit hídrico, apresentaram redução no potencial hídrico foliar em relação àquelas que permaneceram com irrigação no nível de capacidade de campo, independente do tratamento (Fig. 5a). A inoculação por Biomaphos® aumentou a condutância estomática

do sorgo no último dia de imposição do estresse hídrico, os tratamentos T3 e T4 (100 e 200 mL.ha⁻¹), se sobressaíram quando comparado ao controle (Fig. 5b).

O déficit hídrico no final do estresse, reduziu de forma significativa os teores relativos de clorofila dos tratamentos sob condição de estresse comparado aos irrigados, porém não houve diferença estatística entre os tratamentos que continham doses de inoculante. (Fig. 5c). A relação Fv/Fm, que representa a eficiência quântica do fotossistema II, apresentou baixo índice nos tratamentos T1 e T2 (0mL e 50mL.ha⁻¹) estressados. Foi observado também, que o déficit hídrico promoveu uma redução na fluorescência da clorofila, causando danos ao fotossistema II dos mesmos (Fig. 5d).

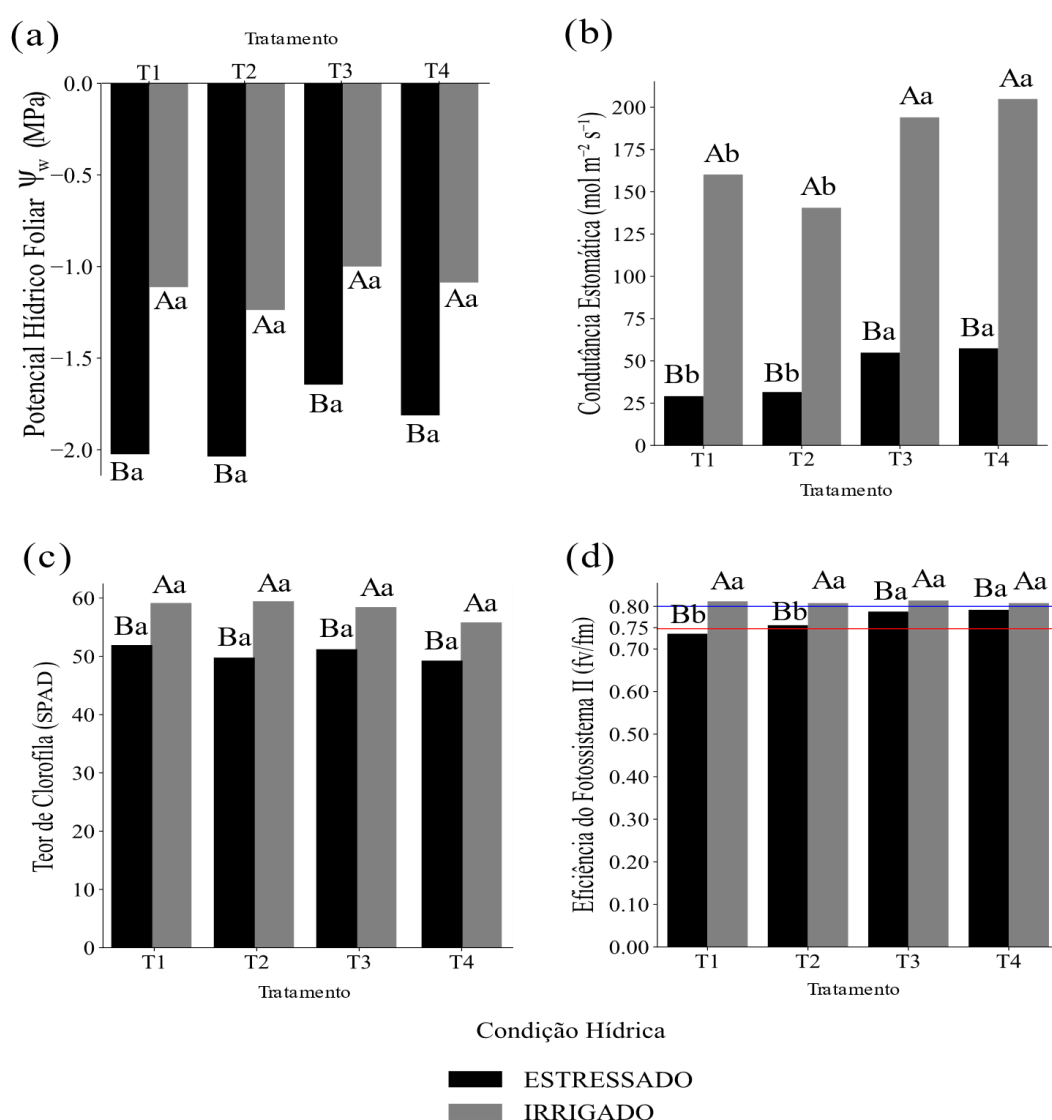


Figura 5 - Potencial Hídrico (a); Condutância Estomática (b); Teor relativo de Clorofila (c), Relação Fv/Fm (d) de plantas de sorgo inoculadas com Biomaphos® em condição irrigada e sob déficit hídrico. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade ($p \leq 0.05$). Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de uma mesma condição. Letras maiúsculas comparam os mesmos tratamentos nas duas condições hídricas.

4.4 - Relações hídricas e fotossíntese na recuperação à seca.

Na análise de recuperação do estresse hídrico, foi observado o restabelecimento do potencial hídrico (Fig. 6a), e relação Fv/Fm (Fig. 6b) em todos os tratamentos, indicando que houve a recuperação das plantas aos danos causados pelo déficit hídrico. Apesar de não haver diferenças estatísticas, o tratamento T3 (100mL.ha⁻¹) em condição de estresse obteve menor média de potencial hídrico evidenciando uma melhor hidratação foliar, e maior média na relação Fv/Fm, demonstrando que foi o tratamento que obteve melhor tendência de recuperação.

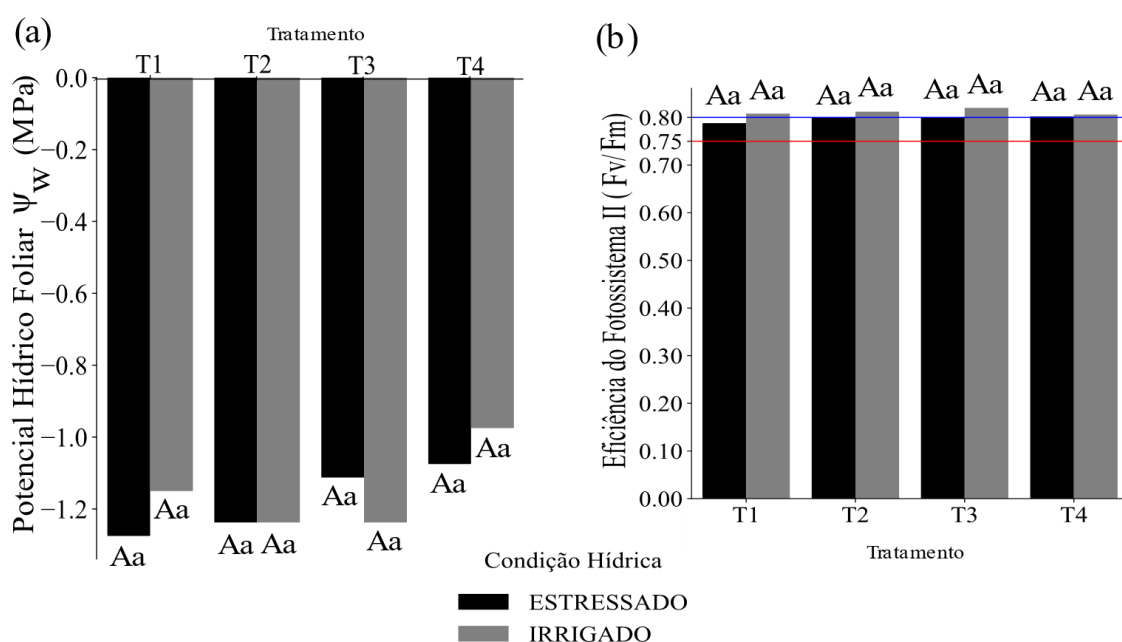


Figura 6 - Potencial Hídrico (a); Relação Fv/Fm (b) de plantas de sorgo inoculadas com Biomaphos® em condição irrigada e sob déficit hídrico. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade ($p \leq 0.05$). Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de uma mesma condição. Letras maiúsculas comparam os mesmos tratamentos nas duas condições hídricas.

4.5 - Produção de grãos

Os tratamentos irrigados apresentaram maiores médias de produção de grãos do que os estressados. Os tratamentos T3 e T4 (100 e 200 mL. ha⁻¹) sob déficit hídrico apresentaram maiores massa total dos grãos (Fig. 7a) e massa de 100 grãos (Fig. 7b). A massa de 100

grãos foi maior nos tratamentos T3 e T4 (100 e 200 mL. ha⁻¹) em condição de estresse hídrico, e menor em T1 (controle) sob irrigação.

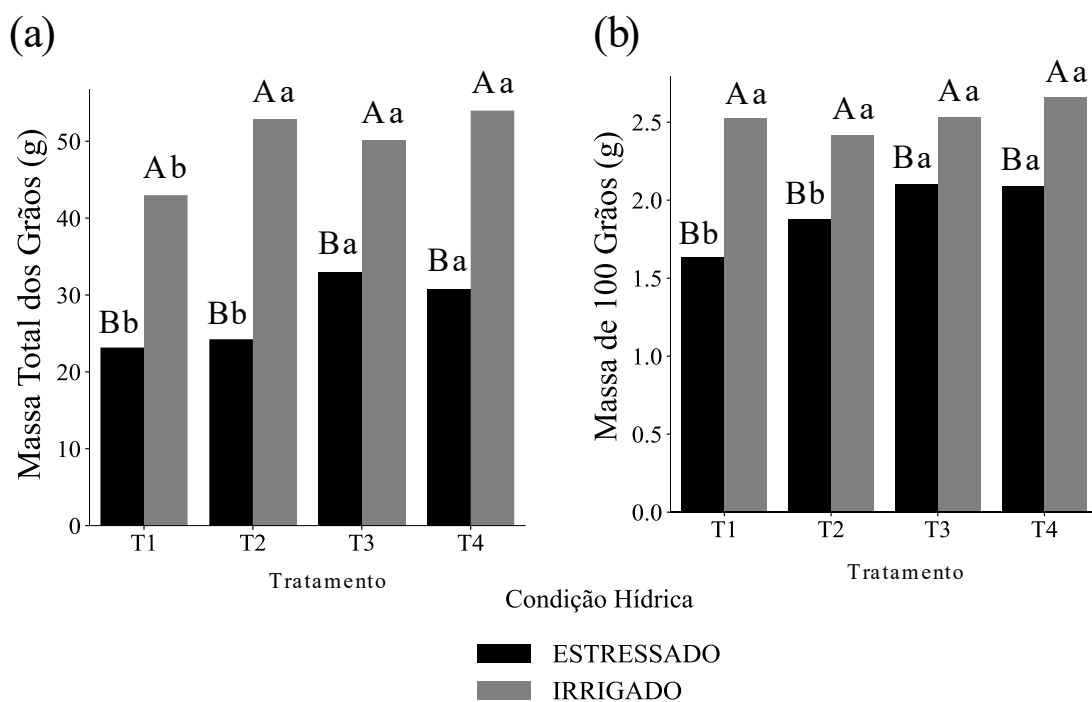


Figura 7- Massa total dos grãos (a); Massa de 100 grãos (b) de plantas de sorgo inoculadas com Biomaphos® em condição irrigada e sob déficit hídrico. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade ($p \leq 0.05$). Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro de uma mesma condição. Letras maiúsculas comparam os mesmos tratamentos nas duas condições hídricas.

4.5- Análises morfológicas de crescimento das raízes

Os resultados da morfologia do sistema radicular, na condição de déficit hídrico, mostraram que os tratamentos T3 e T4 (100 e 200 mL.ha⁻¹) proporcionaram um melhor crescimento e área radicular (Figs.8ab), comparado ao tratamento de não inoculação (T1). Na condição irrigada sobressaíram os tratamentos T2 e T4 (50 e 200 mL.ha⁻¹) em comparação aos demais nas mesmas condições. Isso indica que as raízes nesses tratamentos exploraram mais o solo em busca de nutrientes comparado com o T1 (sem inoculação) e mesma condição hídrica.

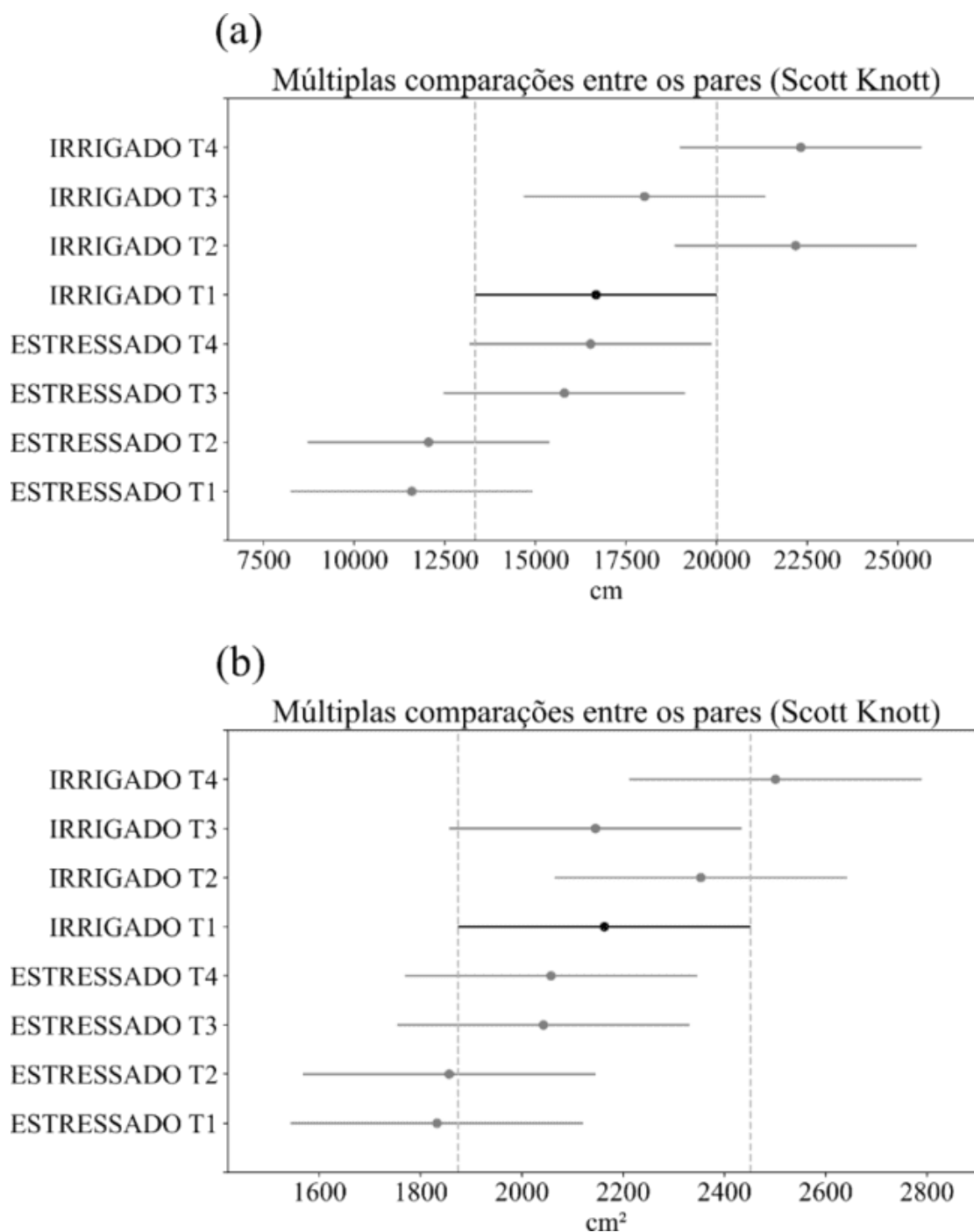


Figura 8 – Comparações múltiplas entre pares inoculados por Biomaphos® em plantas de sorgo em condição irrigada e sob estresse hídrico. Comprimento (a), Área superficial da raiz (b). Todos os tratamentos foram comparados ao tratamento Irrigado T1. Cada valor indica a média do tratamento $\pm \sigma$. Médias dentro do intervalo entre linhas não diferem do tratamento T1 pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade ($p \leq 0.05$).

5 - DISCUSSÃO

A inoculação das plantas de sorgo com o Biomaphos® proporcionou tolerância à seca quando submetidas ao déficit hídrico severo no pré-florescimento, além de promover melhorias fisiológicas nas plantas irrigadas. Gagné – Bourque et al, 2015; Ryu et al, 2003 relataram em seus estudos que os microorganismos do gênero *Bacillus*, demonstraram atenuar vários danos ocasionados por estresses abióticos como à seca. Na presente pesquisa também foi observado que os tratamentos submetidos a condição irrigada, apresentaram maior desenvolvimento e produtividade das plantas de sorgo, corroborando com estudos realizados por Souza et al, (2021), que verificaram maior produtividade das plantas de milho ao serem inoculadas com cepas do gênero *Bacillus*. Estes ganhos podem ser justificados devido ao aumento da condutância estomática promovida pelas bactérias na condição irrigada (Figura 5b), o que permitiu maior influxo de CO₂ nas câmaras subestomáticas e um aumento na taxa fotossintética, resultando no aumento da massa total de grãos (Figura 7a).

A diminuição no crescimento é uma resposta comum da maioria das plantas ao estresse hídrico. A água, é necessária para o crescimento das células, é um elemento essencial para a manutenção da turgescência, o déficit hídrico causa redução da produção da área foliar, do fechamento dos estômatos, da aceleração da senescência e da abscisão das folhas (Dale, 1988). Em outros trabalhos reportados na literatura, foi observado que a inoculação com microorganismos do gênero *Bacillus* podem aumentar o crescimento e a biomassa das plantas com e sem estresse abiótico (De Lima et al, 2019; Vurukonda et al, 2016; Ryu et al, 2003). No presente estudo, o resultado similar nas plantas estressadas foi observado, sobressaindo os tratamentos T3 (100mL.ha⁻¹) e T4 (200mL.ha⁻¹) que contém as maiores doses do inoculante solubilizador de fosfatos. O impacto do aumento do teor de fósforo no solo sobre o desenvolvimento de plantas é reconhecido em diversas culturas (Meirelles et al,1998), o que corrobora com as afirmativas anteriores.

Assim como no presente trabalho (Andreote et al, 2010; Manzoor et al, 2017) observaram que a microbiota do solo é uma estrutura muito dinâmica e influenciada pelos fatores do ambiente, isso permite uma constante interação entre a planta e as bactérias inoculadas formando associações que proporcionam o aumento da biomassa da planta. O tratamento T3 (100mL.ha⁻¹) obteve maior massa seca da parte aérea com restrição hídrica. Os resultados da massa seca das raízes indicaram uma maior média nos tratamentos T3

(100mL.ha⁻¹) e T4 (200mL.ha⁻¹) em condição de seca. A inoculação do milho com microorganismos solubilizadores de fosfato do gênero *Bacillus*, incluindo o *Bacillus megaterium*, permitiu ganhos significativos de produtividade da matéria seca e acúmulo de fósforo nas plantas (Oliveira et al, 2013).

Um dos maiores danos desencadeados pelo déficit hídrico consiste em diminuir o potencial hídrico foliar (Ψ_w) (Flexas et al, 2006), causando uma maior desidratação dos tecidos vegetais em relação as plantas irrigadas em capacidade de campo, porém no presente trabalho não foi verificado para o potencial hídrico foliar, diferenças significativas entre os tratamentos com a presença de Biomaphos®. De acordo com o trabalho realizado por De Lima et al, (2019), apenas com a aplicação de *B. subtilis*, foi observado que, o feijoeiro e o milho inoculado, sob estresse hídrico apresentaram um melhor aproveitamento do uso da água, em relação às plantas não inoculadas. Isto foi possível pela correlação com o aumento da condutância estomática, o que por sinal foi observado nesse estudo.

As trocas gasosas das plantas submetidas ao déficit hídrico, apresentaram reduções significativas que podem ser observadas no parâmetro de condutância estomática. Os tratamentos T3 (100mL.ha⁻¹) e T4 (200mL.ha⁻¹) apresentaram uma condutância estomática maior que T1 (controle) e T2 (50mL.ha⁻¹), esta resposta está em concordância com a literatura para plantas submetidas à seca, onde o fechamento estomático é uma resposta crucial para a sobrevivência do organismo, já que limita a perda de água para atmosfera e com isso, também diminui a taxa de absorção de CO₂, o que por sua vez, diminui as taxas fotossintéticas (Osakabe et al, 2014).

O teor relativo de clorofila foi superior nas plantas irrigadas, em comparação com as plantas sob déficit hídrico. Em relação aos tratamentos com Biomaphos®, não houve diferenças significativas no teor relativo de clorofila. Evans, 1989; Lambers et al, 2008 relataram que o conteúdo de clorofila nas folhas está diretamente relacionado com a concentração de nitrogênio na planta, e nesta pesquisa, o teor de nitrogênio foi similar em todos os tratamentos. Em estudos realizados por Magalhães et al., (2009), o teor relativo de clorofila em linhagens de milho contrastantes quanto a tolerância à seca, não resultaram em diferenças significativas no ambiente estressado e irrigado entre as linhagens, porém, a média dos ambientes irrigados revelaram superioridade significativa no teor de clorofila.

Na relação Fv/Fm, foi observado o quanto as plantas submetidas ao déficit hídrico estavam estressadas. Os tratamentos com doses maiores do inoculante apresentaram um

maior rendimento máximo do fotossistema II em relação aos tratamentos T1 (0mL) e T2 (50mL.ha⁻¹), compreendendo desta forma, que houve danos no fotossistema II, uma vez que os resultados estavam abaixo de 0,75, o que pode ter ocasionado danos na integridade da atividade da plastoquinona (Samaniego-Gámez et al, 2016).

Em relação a recuperação das plantas ao estresse hídrico, em todos os tratamentos houve redução do potencial hídrico e aumento da relação Fv/Fm. De acordo com trabalho de Vieira et al, (2016), mecanismos de inativação e recuperação fisiológica envolvidos na tolerância à dessecação de *Pitcairnia lanuginosa*, após a reidratação, foram ativados com a retomada da fotossíntese e condutância estomática. As plantas readquiriram a capacidade de usar a água com maior eficiência em níveis similares aos tratamentos irrigados, aspecto comum em plantas xerófitas adaptadas para a vida em condições de seca.

A inoculação com Biomaphos® nas plantas de sorgo sob restrição hídrica, resultou em aumentos significativos na massa total dos grãos de 44,1% em T3 (100 mL ha⁻¹), e 32,8% em T4 (200 mL ha⁻¹) em comparação com o tratamento sem inoculação, em relação a massa de 100 grãos houve aumento de 28,6 % em T4 (200mL.ha⁻¹), e 28,0% em T3 (100mL.ha⁻¹) em comparação ao tratamento controle (sem inoculação).

Nos tratamentos irrigados houve diferenças significativas na massa total dos grãos, resultando em aumentos de 21,5% em T2 (50mL.ha⁻¹), 14,6% em T3 (100mL.ha⁻¹), e 23% em T4 (200mL.ha⁻¹) em comparação ao tratamento controle (sem inoculação). Breedt et al., (2017), inoculando cepas de microrganismos solubilizadores de fosfato em milho, incluindo *Bacillus*, aplicadas como tratamentos de sementes, relataram incremento de 24 e 34% na produtividade de grãos. Oliveira et al, (2020) em experimentos com inoculação do Biomaphos® em milho, relataram incremento de produtividade que variaram entre 1,8 e 29,4%, com média de 8,9%, esses dados corroboram com os resultados obtidos no presente trabalho.

A presente pesquisa mostrou aumento na variável comprimento e área superficial do sistema radicular para os tratamentos T3 (100mL.ha⁻¹) e T4 (200mL.ha⁻¹) sob restrição hídrica e T2 (50mL.ha⁻¹) e T4 (200mL.ha⁻¹) em condição irrigada. De acordo com Albuquerque, (2018); Martins et al, (2018) e Gamez et al, (2019), algumas espécies de *Bacillus* possuem potencial para promoção de crescimento e biomassa do sistema radicular, permitindo desta forma, sugerir que o crescimento ocorrido na raiz teve como um dos objetivos, aumentar a capacidade de obtenção de água e fixação no solo.

Em relação a hipótese de que este inoculante pode auxiliar as plantas de sorgo, em adquirir tolerância ao déficit hídrico. Os resultados da interação do Biomaphos® com as plantas e a condição do ambiente, indicam efeito positivo no crescimento e na produção do sorgo com a inoculação em ambas as condições de estudo, justificando o uso deste inoculante.

6 - CONCLUSÃO

O uso do solubilizador de fósforo Biomaphos®. mitiga o efeito da restrição hídrica em plantas de sorgo.

O inoculante Biomaphos® proporciona melhores respostas ecofisiológicas e de produção dos grãos em plantas de sorgo.

Para plantas de sorgo, independentemente se com ou sem imposição de déficit hídrico, a dose 100mL.ha⁻¹ do inoculante Biomaphos® é suficiente para proporcionar melhoria na eficiência fotossintética.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. A. C. **Potencial de *Bacillus spp.* no controle de estresses biótico e abiótico e na promoção de crescimento de tomateiro.** Repositório institucional UNESP, 2018 – Tese (Doutorado)

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).

ALVIM, M.J.; BROTEL, M. A.; REZENDE, H.; XAVIER, D.F. **Avaliação sob pastejo do potencial forrageiro de gramíneas do gênero *Cynodon*,** sob níveis de nitrogênio e potássio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 47-54, 2003.

ANDREOTE, F. D.; ROCHA, U. N. da; ARAÚJO, W. L.; AZEVEDO, J. L.; OVERBEEK, L. S. van. **Effect of Bacterial Inoculation, Plant Genotype and Developmental Stage on Root Associated and Endophytic Bacterial Communities in Potato (*Solanum Tuberosum*).** *Antonie van Leeuwenhoek*, v. 97, n. 4, p. 389–399, 1 maio 2010.

AZCÓN-BIETO, J. **Inhibition of photosynthesis by carbohydrates in wheat leaves.** *Plant Physiology*, Rockville, v.73, p.681-686, 1983.

BAHADIR,P.S.; LIAQAT,F.; ELTEM,R. (2018). **Plant growth promoting properties of solubilizing *Bacillus* species isolated from the Aegean region of Turkey.** *Turk J Bot.* 42,183-196. doi:10.3906/bot-1706-51

BATISTA BD, LACAVA PT, FERRARI A, TEIXERA-SILVA NS, BONATELLI ML, TSUÍ S, MONDOLIN M, KITAJAMA EW, PEREIRA JO, AZEVEDO JL, QUECINE MC (2018). **Triagem de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas de origem tropical multifacetada e avaliação da capacidade de colonização do milho e soja.** *Microbiol Res* 206: 33–42.

BIBI, A.; SADAQAT, H. A.; AKRAM, H. M.; MOHAMMED, M. I. **Physiological markers for screening sorghum (*Sorghum bicolor*) germplasm under water stress condition.** *International Journal of Agriculture & Biology*, v.12, p. 1815-1820, 2010.

BREEDT, G.; LABUSCHAGNE, N.; COUTINHO, T. A. **Seed treatment with selected plant growth-promoting rhizobacteria increases maize yield in the field.** *Annals of Applied Biology*, v. 171, n. 2, p. 229-236, 2017.

CONAB. **Safra Brasileira de Grãos.** Boletim de grãos março. FEDERAL BRASIL 9 mar. 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra/gaos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 22 mar. 2021

DALE, J.E. **The Control of Leaf Expansion.** *Annual Review in Plant Physiology*, v.39, 267-95, 1988.

DE LIMA, B. C. et al. ***Bacillus subtilis* ameliorates water stress tolerance in maize and common bean.** *Journal of Plant Interactions*, v. 14, n. 1, p. 432-439, 2019.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. (Irrigation and drainage paper, 24).

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; OLIVEIRA, A. C. **Índice de colheita genético e as possibilidades da genética fisiológica para melhoramento do rendimento do milho**. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, v.1, n.1, p. 33-40, 2002.

EVANS, J. R. **Partitioning of Nitrogen Between and Within Leaves Grown under Different Irradiances**. Australian Journal of Plant Physiology, v. 16, n. 6, p.533- 548, 1989.

FAO - **FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS** – FAO 2019. FAOSTAT Productioncrops - <http://www.fao.org/3/a-k6276e.pdf> (Acessado em 02 de agosto de 2020 às 23:30)

FERREIRA, D.F. **Sisvar versão 5.3**. DEX/UFLA, 2010

FLEXAS J, RIBAS-CARBÓ M, BOTA J, GALMÉS J, HENKLÉ E M, MARTINEZ-CAÑELLAS S, et al. **Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO₂ concentration**, New Phytologist, 2006, vol. b 172 (pg. 73-82)

FILLIPOU. P, ANTONIOU C e FOTOPOULOS V. **Effect of drought and rewatering on the cellular status and antioxidant response of Medicago truncatula plants**. Plant Signal Behav. 2011 Feb;6(2):270-7. 2011

FOYER, C.H. **Feedback inhibition of photosynthesis through source-sink regulation in leaves**. Plant Physiology and Biochemistry, Paris, v.26, p.483-492, 1988

GAGNÉ-BOURQUE, F. et al. **Accelerated growth rate and increased drought stress resilience of the model grass *Brachypodium distachyon* colonized by *Bacillus subtilis* B26**. PLoS One, v. 10, n. 6, p. e0130456, 2015.

GAHOONIA, T. S.; RAZA, S.; NIELSEN, N. E. **Phosphorus depletion in the rhizosphere as influenced by soil moisture**. Plant and Soil, Dordrecht, v. 159, n. 2, p. 213-218, 1994

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola 2021** [S.I.:s.n.], Mapa. Disponível:<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-epecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html>. Acesso em 22 mar.2021

JOCHUM MD, MC WILLIAMS KL, BORREGO EJ, KOLOMIETS MV, NIU GH, PIERSON EA, Jo YK (2019) **Bioprospeção de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas que mitigam o estresse hídrico em gramíneas**. Front Microbiol 10: 1–9.

LAMBERS, H.; CHAPIN, F. S.; PONS T. L. **Plant Physiological Ecology**. New York, Springer, 604 p., 2008.

LINO, LEANDRO DE OLIVEIRA. **Características anatômicas e fisiológicas de genótipos de sorgo contrastante a seca**, Lavras: UFLA, 2011 (Dissertação de Mestrado).

LÓPEZ-BUCIO, J. L. et al. **Phosphate availability alters architecture and cause changes in hormone sensitivity in the Arabidopsis root system**. Plant Physiology, Waterbury, v. 129, n. 1, p. 244-256, 2002

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUÊS, J. A. S. **Ecofisiologia do Sorgo**, Versão Eletrônica Embrapa Milho e Sorgo, setembro de 2010.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 76).

MAGALHÃES, P.C.; SOUZA, T.C.; ALBUQUERQUE, P.E.P.; KARAM, D.; MAGALHÃES, M.M.; CANTÃO, F.R.O. **Caracterização ecofisiológicas de linhagens de milho submetidas a baixa disponibilidade hídrica durante o florescimento**. Revista Brasileira de Milho e Sorgo 8, p. 223-232, 2009. doi: 10.18512 / 1980-6477 / rbms.v8n3p223-232

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

MANZOOR, M.; KALEEM ABBASI, M.; SULTAN, T. **Isolation of phosphate solubilizing bacteria from maize rhizosphere and their potential for rock phosphate solubilization-mineralization and plant growth promotion**. Geomicrobiology Journal, v. 34, p. 81-95, 2017.

MEIRELLES, N.M.F.; WERNER, J.C.; ABRAMIDES, P.L.G. **Nível crítico de fósforo em capim-colonião cultivado em dois tipos de solos; Latossolo - Vermelho Escuro e Podzólico - Vermelho Amarelo**. Boletim de indústria animal, v45, n.1, p215-232,1988)

MELO, H. C. et al. **Alterações anatômicas e fisiológicas em *Setaria anceps* Stapf ex Massey e *Paspalum Paniculatum* L. sob condições de déficit hídrico**. Hoehnea. São Paulo, v. 34, n. 2, p. 145-153, 2007

NAHAS, E. **Microorganismos do solo produtores de fosfatases em diferentes sistemas agrícolas**. Bragantia, v.61, n.3, p.267-275, 2002.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.T. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

OSAKABE, Y. et al. **Response of plants to water stress**. Frontiers in plant science, v. 5, p. 86, 2014.

OLIVEIRA, C. A.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; MATTOS, B. B.; SANTOS, F. C.; OLIVEIRA M. C.; ALVES, V. M. C. **Metodologia de aplicação de microrganismos solubilizadores de fósforo em sementes visando melhor aproveitamento deste nutriente pelas plantas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 25 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 88)

OLIVEIRA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SOUSA, S.M.; LANA, U. G. P.; SANTOS, F. C.; JÚNIOR, R. V.; ALVES, V. M. C. **Viabilidade Técnica e Econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas Culturas de Milho e Soja**, Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 210)

OLIVEIRA, C. A.; SANTOS, F. C.; MARRIEL, I. E.; ALMEIDA, C. N. S.; GOMES, E. A.; MATTOS, B. B.; PASSOS, A. M. A.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; TEIXEIRA, P. C. **Adubação fosfatada organomineral com pulverização de inoculante contendo microrganismos solubilizadores**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2017. 11 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 236).

OLIVEIRA, C. A.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; COTA, L. V.; SANTOS, F. C.; TINOCO, S.M.S.; LANA, U. G. P.; OLIVEIRA M. C.; MATTOS, B.B.; ALVES, V. M. C.; RIBEIRO, V. P.; JÚNIOR, R. V. **Recomendação agrônômica de cepas de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 18 p: (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 260).

OWEN, D.; WILLIAMS, A.; GRIFFITH, G.; WITHERS, P. **Use of commercial bioinoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition**. Applied Soil Ecology, v. 86, p. 41-54, 2015.

PAVINATO, P. S.; CHERUBIN, M. R.; SOLTANGHEISH, A.; ROCHA, G. C.; CHADWICK, D. R.; JONES, D. L. **Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil**. *Sci Rep* 10, 15615 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72302-1>

PITOMBEIRA, J. B. et al. **Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de sorgo forrageiro em cinco ambientes do estado do Ceará**. Revista Ciência Agronômica, v. 33, n. 01, p. 20-24, 2004.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991.

RICHARDSON, A. E.; HADOBAS, P. A.; HAYES, J. E. **Acid phosphomonoesterase and phytase activities of wheat (*Triticum aestivum* L) roots and utilization of organic phosphorus substrates by seedlings grown in sterile culture**. Plant Cell Environmental v. 23, p. 397-405, 2000.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. **How a Corn Plant Develops**. Special Report no 48, Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1986. 21p. Special Reporter, 48

RYU, C.-M. et al. **Bacterial volatiles promote growth in Arabidopsis**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 100, n. 8, p. 4927-4932, 2003

SAMANIEGO-GÁMEZ, B. Y. et al. ***Bacillus* spp. inoculation improves photosystem II efficiency and enhances photosynthesis in pepper plants**. Chilean journal of agricultural research, v. 76, n. 4, p. 409-416, 2016

SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. **A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance.** *Biometrics*, v. 30, n. 2, p. 507-512, 1974.

SILVA FILHO GN AND VIDOR C. 2000. **Solubilização de fosfato por microrganismos na presença de fontes de carbono.** *Rev Bras Cienc Solo* 24: 311-319.

SILVA, L. M; ALQUINI, Y ; CAVALLET, V.J . **Inter-relações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal.** *Acta Bot. Bras.* [online]. 2005, vol.19, n.1, pp.183-194. ISSN 1677-941X.

SOUZA, SM, de OLIVEIRA, CA, ANDRADE, DL et al. **A inoculação de cepas de *Bacillus* tropicais aumenta a área de superfície da raiz do milho, peso seco, absorção de nutrientes e rendimento de grãos.** *J Plant Growth Regul* 40, 867–877 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>

SRIDEVI, M.; MALLAIAH, K. **Phosphate solubilization by *Rhizobium* strains.** *Indian J. Microbiol.* 2009, 49, 98–102

TABOSA, J.N.; REIS, O.V.; BRITO, A.R.M.B. et al. **Comportamento de cultivares de sorgo forrageiro em diferentes ambientes agroecológicos dos Estados de Pernambuco e Alagoas.** *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.1, n.2, p.47-58, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** Tradução Eliane Romanato Santarém et al. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

USDA- **Departamento de Agricultura dos Estados Unidos** (Acessado em 31 de julho de 2020 às 13:30) <https://www.fas.usda.gov/commodities/grain-sorghum>

VANDERLIP, R.L. 1993. **How a sorghum plant develops.** Kansas State Univ., Manhattan.

VERMA SC, LADHA JK AND TRIPATHI AK. 2001. **Evaluation of plant growth promoting and colonization ability of endophytic diazotrophs from deep water rice.** *J Biotechnol* 91: 127-141

VIEIRA EVANDRO ALVES. **Mecanismos de inativação e recuperação fisiológica envolvidos na tolerância à dessecação de *Pitcairnia lanuginosa*.** Ruiz & Pav. (Bromeliaceae), Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2016. Tese (Doutorado).

VURUKONDA, S. S. K. P. et al. **Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria.** *Microbiological research*, v. 184, p. 13-24, 2016.

WANG Y, SHI Y, LI B, SHAN C, IBRAHIM M, JABEEN A, XIE G AND SUN G. 2012. **Phosphate solubilization of *Paenibacillus polymyxa* and *Paenibacillus macerans* from mycorrhizal and non-mycorrhizal cucumber plants.** *Afr J Microbiol Res* 6: 4567-4573.

WITHELAW, M.A. **Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi.** *Advances in Agronomy*, 69:99-151, 2000.