



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

**PRODUTOS COMERCIAIS COMO ATENUANTES DO ESTRESSE
HÍDRICO NA CULTURA DO MILHO**

RODOLFO DOS SANTOS BARBOSA

POMBAL- PB

2022

RODOLFO DOS SANTOS BARBOSA

**PRODUTOS COMERCIAIS COMO ATENUANTES DO ESTRESSE
HÍDRICO NA CULTURA DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à coordenação do curso de Agronomia da Universidade Federal de Campina Grande, campus Pombal, como um dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. D. Sc. Josinaldo Lopes Araujo Rocha

POMBAL- PB

2022

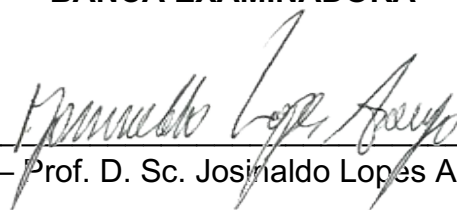
RODOLFO DOS SANTOS BARBOSA

**PRODUTOS COMERCIAIS COMO ATENUANTES DO ESTRESSE
HÍDRICO NA CULTURA DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de curso
apresentado à coordenação do curso de
Agronomia da Universidade Federal de
Campina Grande, campus Pombal,
como um dos requisitos para obtenção
do grau de Bacharel em Agronomia.

Apresentada em: 24/03/2022

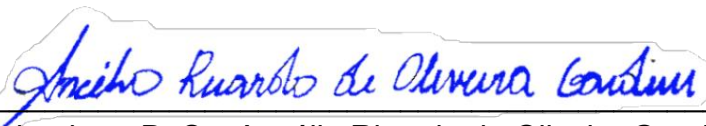
BANCA EXAMINADORA



Orientador – Prof. D. Sc. Josinaldo Lopes Araújo Rocha
(UFCG/CCTA)



Examinador – M. Sc. Francisco Jean da Silva Paiva
(UFCG/PPGEA)



Examinador – D. Sc. Ancélio Ricardo de Oliveira Gondim
(UFCG/CCTA)

POMBAL- PB

2022

B238p Barbosa, Rodolfo dos Santos.

Produtos comerciais como atenuantes do estresse hídrico na cultura do milho / Rodolfo dos Santos Barbosa. – Pombal, 2022.
50 f. il. color

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) –
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e
Tecnologia Agroalimentar, 2022.

“Orientação: Prof. Dr. Josinaldo Lopes Araujo Rocha”.
Referências.

1. Cultura do milho. 2. Estresse hídrico. 3. Produção agrícola. I.
Rocha, Josinaldo Lopes Araujo. II. Título.

CDU 633.15(043)

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai Francisco Barbosa Filho (Assis Barbosa) e minha mãe Maria Gracineide Souza dos Santos (Cilene) que me incentivaram/incentivam acreditaram/acreditam no meu potencial;

Ao meu orientador, Josinaldo Lopes Araújo Rocha por toda paciência e conhecimento transferido, pela excelente experiência em ter sido seu orientando;
À Empresa Vitamais® Agropecuária LTDA, representada pelo sócio, o Sr. Ricardo César Carlos Rocha, pela concessão da bolsa de estudos de graduação e pelo financiamento da pesquisa.

Aos membros do grupo de pesquisa, Francisco Macelo, Leandro Nunes e Vitor Manuel e meus amigos (as), Kaikí Nogueira, Francileide Lima, Elizeneudo Nogueira, Rafael Silva pela parceria e condução do experimento.

A toda minha família por terem acreditado em mim e me dar forças diariamente para poder chegar até o fim do curso, meus irmãos, Pablo Barbosa e Diogenes Barbosa, os meus tios e tias, Ediberto Farias, Alberto Barbosa, José Airton e Lourdinha Barbosa.

Aos membros da comunidade onde moro (Tourão), por todo o apoio e parceria sempre que precisei e todos os (as) meus amigos (as) de minha cidade, em especial meu primo Eduardo Santos que estava/está ao meu lado desde quando éramos crianças.

Aos meus amigos de estudo que hoje considero como irmãos, Kaikí Nogueira, Elizeneudo Nogueira, Francileide Lima e Paloma Domingues, vou levar todos em minha lembrança e espero um dia reencontra-los.

Aos amigos integrantes da “casa agro”, os quais considero como uma família e faziam esquecer um pouco da distância da minha família biológica, Kaikí Nogueira, Elizeneudo Nogueira, Francileide Lima, Janielio Oliveira, Micaela Coelho, Paloma Domingues, Rafael Silva, Francisco Macelo, Letícia Silva, Arthur

Fernandes, Carlos Roberto, Yago Rodrigues, Eduardo Nascimento e aos demais que me proporcionaram nesses cinco anos muitos momentos de alegria e apoio em momentos difíceis;

A todas as pessoas que passaram por minha vida nesse período que estive em Pombal-PB, que me ajudaram e estiveram do meu lado em muitos momentos, meus sinceros agradecimentos a cada um.

A todo o corpo docente da UFCG, aos técnicos e terceirizados desta instituição, cada um de vocês foram importantes e peças fundamentais na minha formação. Um agradecimento especial aos funcionários da Fazenda Experimental que me ajudaram na condução do experimento.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

O milho é uma das culturas de maior expressividade do agronegócio brasileiro e mundial em função de sua versatilidade de uso, tanto na alimentação humana quanto na alimentação animal. No semiárido brasileiro, a produtividade do milho é ainda baixa em comparação com outras regiões do país, devido a não adoção de novas tecnologias de produção e principalmente, ao déficit hídrico. Neste trabalho, objetivou-se avaliar o potencial de produtos comerciais na atenuação do déficit hídrico na cultura do milho por meio dos seus efeitos nas trocas gasosas, crescimento, a produção e qualidade dos grãos. A pesquisa foi realizada em campo, na Fazenda Experimental do CCTA/UFCG, utilizou-se o delineamento de blocos casualizados, em parcelas subdivididas no espaço, com esquema fatorial 6×2 , sendo os tratamentos compostos pela utilização de cinco produtos comerciais (No-Nema + Azokop, Biobaci, Azokop, Arbolina e CoMO Max) mais o tratamento controle e aplicação de duas lâminas de irrigação (100% e 50% da ETc). Nas plantas foram avaliados, as trocas gasosas, eficiência do uso da água, índice de área foliar, altura de plantas, diâmetro do colmo, teores foliares de nitrogênio, peso de 1.000 grãos, peso da espiga, produtividade de grãos. As variáveis dependentes foram submetidas à análise de variância e teste de médias (LSD) ao nível de 5% de probabilidade. Sob condições de adequado suprimento de água (100% da ETc), os produtos contendo bactérias promotoras de crescimento de plantas ou Co+Mo aumentaram a taxa fotossintética do milho híbrido K9555VIP3. Sob restrição hídrica severa (50% da ETc), os produtos testados não afetaram a fotossíntese da cultura. O crescimento em altura e diâmetro do milho híbrido K9555VIP3 não foram afetados pelos produtos testados, nem sob restrição hídrica, nem sob suprimento adequado de água. Contudo, o produto arbolina aumentou o índice de área foliar. Os produtos contendo bactérias promotoras de crescimento de plantas; especialmente No-Nema (*Bacillus amyloliquefaciens*) + Azokop (*Azospirillum brasiliensis*) e Biobaci (*Bacillus subtilis*) promoveram melhoria na nutrição nitrogenada do milho com o aumento no teor de N total. Os produtos testados não interferiram na produtividade do milho, quando cultivado sob suprimento adequado de água. Quando cultivado sob restrição hídrica severa, o produto Biobaci+Nonema e Azokop podem diminuir as perdas de produtividade em decorrência do déficit hídrico.

Palavras-chave: *Zea mays*, estresse hídrico, produção, eficiência hídrica.

ABSTRACT

Corn is one of the most expressive crops in Brazilian and world agribusiness due to its versatility of use, both in human and animal feed. In the Brazilian semi-arid region, corn productivity is still low compared to other regions of the country, due to the non-adoption of new production technologies and mainly due to the water deficit. In this work, the objective was to evaluate the potential of commercial products in the attenuation of the water deficit in the corn crop through their effects on gas exchange, growth, production and grain quality. The research was carried out in the field, at the Experimental Farm of the CCTA/UFCG, using a randomized block design, in subdivided plots in space, with a 6 × 2 factorial scheme, with the treatments consisting of the use of five commercial products (No. Nema + Azokop, Biobaci, Azokop, Arbolina and CoMO Max) plus the control treatment and application of two irrigation depths (100% and 50% ETc). In plants, gas exchange, water use efficiency, leaf area index, plant height, stem diameter, leaf nitrogen content, weight of 1.000 grains, ear weight, grain yield were evaluated. The dependent variables were submitted to analysis of variance and test of means (LSD) at the 5% probability level. Under conditions of adequate water supply (100% of ETc), products containing plant growth-promoting bacteria or Co+Mo increased the photosynthetic rate of hybrid corn K9555VIP3. Under severe water restriction (50% of ETc), the tested products did not affect the photosynthesis of the crop. The growth in height and diameter of hybrid corn K9555VIP3 were not affected by the tested products, neither under water restriction nor under adequate water supply. However, the arboline product increased the leaf area index. Products containing plant growth promoting bacteria; especially No-Nema (*Bacillus amyloliquefaciens*) + Azokop (*Azospirillum brasiliensis*) and Biobaci (*Bacillus subtilis*) promoted improvement in corn nitrogen nutrition with the increase in total N content. The tested products did not interfere with corn productivity, when grown under adequate water supply. When cultivated under severe water restriction, Biobaci+Nonema and Azokop products can reduce productivity losses due to water deficit.

Keywords: *Zea mays*, water stress, production, water efficiency.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 Efeitos do estresse hídrico sobre as plantas.....	12
2.2 Nanopartículas e Arbolina em plantas	14
2.3 Microrganismos como atenuantes do estresse hídrico	14
2.4 Molibdênio e cobalto nas plantas.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Localização da área experimental.....	17
3.2 Tratamentos e delineamento experimental	19
3.3 Preparo do solo, semeadura e adubação	20
3.4 Aplicação dos tratamentos	22
3.5 Manejo das lâminas de irrigação.....	23
3.6 Controle fitossanitário	25
3.7 Variáveis avaliadas	25
3.8. Análises estatísticas.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Trocas gasosas.....	29
4.2 Crescimento e teores foliares de N	33
4.3 Produção e qualidade dos grãos.....	36
5. CONCLUSÃO	42
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dados climatológicos de temperatura (A) e umidade relativa (B) do ar durante o período experimental no campo. Fonte: (AGRITEMPO, 2019).	18
Figura 2. Esquema ilustrativo da área experimental mostrando as parcelas (lâminas de irrigação) e as subparcelas (produtos). L1 e L2 correspondem às lâminas de irrigação (L1 = 100% da Etc; L2 = 50% da ETC).	20
Figura 3. Implantação do experimento na fazenda experimental da UFCG, localizada no município de São domingos-PB. Fertilizantes utilizados na adubação de fundação (A), adubação de Fundação (B).	21
Figura 4. Aplicação dos tratamentos foliares em diferentes estádios fenológicos da cultura do milho.	23
Figura 5. Avaliação de trocas gasosas (A) e avaliação do índice de área foliar (IAF) (B).....	26
Figura 6. Avaliação do diâmetro do caule (A) e altura da planta (B).	27
Figura 7. Colheita do milho. Quantidade de fileiras de grãos na espiga (A), colheita manual das espigas (B).	28
Figura 8. Concentração intercelular de CO ₂ (C _i) (8A e 8B), taxa de transpiração (E) (8C e 8D), condutância estomática (G _s) (8E e 8F), taxa fotossintética (8G e 8H) e eficiência do uso da água (EUA) (8I e 8J) em função da aplicação de lâminas de irrigação (50% e 100%) respectivamente e aplicação de produtos como atenuantes do estresse hídrico na cultura do milho (híbrido K9555VIP3). Colunas identificadas com letras diferentes indica diferença significativa ao nível de 5% pelo teste LSD. Colunas marcadas com (*) indica diferença significativa entre as lâminas de irrigação para um mesmo produto de acordo com o teste LSD. C1= controle, C2= CoMo MAX, P1= No-Nema + Azokop, P2= Biobaci, P3= Azokop, P4= Arbolina.....	30
Figura 9. Correlações entre as variáveis de trocas gasosas em milho híbrido K9555VIP3 em função dos tratamentos com microrganismos e estimulantes do milho em condições de déficit hídrico (50% da ETC) e condições ótimas de irrigação (100% da ETC).....	32
Figura 10. Características de crescimento e teor foliar de N em função da aplicação de lâminas de irrigação (50% e 100%) respectivamente e aplicação de produtos como atenuantes do estresse hídrico na cultura do milho (híbrido K9555VIP3). Colunas identificadas com letras diferentes indica diferença significativa ao nível de 5% pelo teste LSD. Colunas marcadas com (*) indica diferença significativa entre as lâminas de irrigação para um mesmo produto de acordo com o teste LSD. C1= controle, C2= CoMo MAX, P1= No-Nema + Azokop, P2= Biobaci, P3= Azokop, P4= Arbolina.	34
Figura 11. Características de produção do milho híbrido K9555VIP3 em função da aplicação de lâminas de irrigação (50% e 100%) respectivamente e aplicação de produtos como atenuantes do estresse hídrico. Colunas identificadas com letras diferentes indica diferença significativa ao nível de 5% pelo teste LSD. Colunas marcadas com (*) indica diferença significativa entre as lâminas de irrigação para um mesmo tratamento (produtos) de acordo com o teste LSD. C1= controle, C2= CoMo MAX, P1= No-Nema + Azokop, P2= Biobaci, P3= Azokop, P4= Arbolina.....	38
Figura 12. Teor (A e B) e acúmulo de proteínas (C e D) em grãos de milho híbrido K9555VIP3 em função da aplicação de lâminas de irrigação (50% e 100%) respectivamente e aplicação de produtos como atenuantes do estresse hídrico. Colunas identificadas com letras diferentes indica diferença significativa ao nível	

de 5% pelo teste LSD. Colunas marcadas com (*) indica diferença significativa entre as lâminas de irrigação para um mesmo tratamento (produtos) de acordo com o teste LSD. C2= CoMo MAX, P1= No-Nema + Azokop, P2= Biobaci, P3= Azokop, P4= Arbolina..... 40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo na camada de 0-20 cm do solo PLANOSSOLO HÁPLICO utilizado no experimento.	18
Tabela 2. Descrição dos tratamentos correspondentes às subparcelas.	19
Tabela 3. Valores de Kc utilizados no experimento durante o ciclo da cultura do milho.....	24

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma gramínea pertencente à família Poaceae (antiga Gramineae), originária da América Central ou México. É uma espécie que pode ser cultivada em diferentes regiões do planeta, por possuir uma diversidade de genótipos que possibilita grande adaptabilidade a climas tropicais, subtropicais e temperados (DUARTE et al., 2016).

O milho está entre os cereais mais produzidos, consumidos e exportados no mundo devido à sua ampla aplicação na alimentação humana e animal, e em indústrias com diferentes níveis tecnológicos (FAO, 2020). No Brasil o volume da produção de milho foi estimado em 252,3 milhões de toneladas na safra 2020/2021 (CONAB, 2021).

A precipitação na região semiárida brasileira sempre ocorre variabilidade no tempo e espaço, juntamente com o baixo índice pluviométrico, faz com que ocorra veranicos, ocasionando conseqüentemente a “seca” (CORREIA,2011). Quando isso acontece pode ocorrer o estresse hídrico nas plantas, que é um dos fatores que mais contribuem para a diminuição do crescimento e produtividade do milho. O déficit hídrico ocorre quando o conteúdo de água no tecido ou na célula vegetal está abaixo do conteúdo de máxima hidratação, e após longo prazo de estresse, a água na planta não é recuperada, causando fechamento dos estômatos, aceleração da senescência e abscisão das folhas (XU et al., 2018) e, por conseguinte decréscimo na produção.

O uso de produtos biológicos como atenuantes do estresse hídrico nas culturas, pode contribuir para aumentar a eficiência do uso da água pelas plantas especialmente aqueles contendo microrganismos na sua composição (LIN et al., 2018; MATOS et al., 2019; ZAREI et al., 2019), denominados genericamente de bactérias promotoras de crescimento de plantas.

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), que interagem com as raízes das plantas, têm a capacidade de aumentar a produtividade e conferir as plantas características de imunidade e tolerância induzida por fatores abióticos, como salinidade e a seca (LIMA e al., 2019). Tais benefícios que esses microrganismos podem conferir aos vegetais, revelam uma interação evolutiva entre plantas e microrganismos (FERREIRA et al., 2014; FILGUEIRAS & MENESES, 2015).

Outros produtos comerciais que estão sendo testados como atenuantes, são os a base de cobalto (Co) e molibdênio (Mo). O molibdênio está ligado diretamente com a redução de nitrato e a fixação de nitrogênio, principalmente quando a fonte de N for primariamente nitrato ou se a planta depender da fixação de nitrogênio (TAIZ; ZAIGUER, 2017). Sendo assim, em condições em que a planta está sob estresse hídrico, em que a absorção de N é diminuída devido a quantidade de nitrogênio que entra em contato com as raízes da planta, refletindo assim na deficiência deste nutriente (ZUFFO et al., 2021), com isso a utilização do Mo pode mitigar esses efeitos. Por sua vez, o Co faz parte da cobalamina, essencial para microrganismos fixadores de nitrogênio, com isso a falta desse elemento pode afetar o desenvolvimento desses microrganismos (TAIZ; ZEIGER, 2017). O cobalto contribui com a ativação de enzimas de rotas secundárias, fazendo parte da síntese do ácido chiquímico, tendo como produto final o triptofano, resultando em auxina que contribui para o desenvolvimento do sistema radicular e brotações (SANTOS, 2017).

Assim, o entendimento das interações entre microrganismos e plantas em ambientes com déficits hídricos pode proporcionar o desenvolvimento de novas tecnologias que mitiguem os efeitos adversos desse tipo de estresse, aumentando a produtividade das culturas agrícolas. Por outro lado, estudos com essa temática são escassos e precisam ser ampliados de forma a gerar mais informações acerca destas interações sob clima semiárido, região onde foi conduzido o trabalho.

Nesse sentido, objetivou-se avaliar a influência de produtos comerciais como atenuantes do estresse hídrico no milho híbrido K9555VIP3 sobre as trocas gasosas, crescimento, produção e qualidade de grãos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Efeitos do estresse hídrico sobre as plantas

Embora as plantas estejam sujeitas a muitos tipos de estresses abióticos, o estresse hídrico pela seca se destaca por ser comum nos ecossistemas e por ocasionar sérias disfunções fisiológicas nas plantas (TAIZ et al., 2017). O déficit hídrico causa decréscimo de turgor das células, que é essencial nos processos metabólicos, além de causar alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas,

refletindo no transporte e na absorção e no transporte de água e nutrientes pelas mesmas (MONTEIRO et al., 2014).

Dentre os efeitos ocasionados pela deficiência hídrica na célula vegetal, destaca-se a desidratação, seguido por redução do potencial hídrico e da resistência hidráulica nos vasos do xilema. Os efeitos secundários são a diminuição expansão foliar, atividades celulares e metabólicas, fechamento estomático, inibição fotossintética, abscisão foliar, cessando o crescimento da planta (TAIZ et al., 2017).

Ao diminuir sua área foliar, a capacidade de competição por luz fica limitada, diminuindo a taxa fotossintética, o que resulta na aceleração da taxa de senescência das folhas, inibição das ramificações, assim como no retardamento do crescimento e desenvolvimento da planta, ocasionando uma redução significativa na produtividade (SANTOS et al., 2018).

Para ter sucesso, as plantas têm múltiplos mecanismos para responder e se adaptar a condições ambientais adversas (MADABULA et al., 2016), pois sob condições de estresse hídrico otimizam a morfologia, fisiologia e metabolismo de seus órgãos e células, com a finalidade de maximizar a produtividade (LISAR et al., 2016).

De acordo com Lisar et al. (2016), a tolerância ao estresse na planta é dividida em duas categorias: a) tolerância ao estresse e b) prevenção de estresse. Prevenir ou evitar a seca é a capacidade da planta de manter um alto potencial de água nos tecidos, normalmente, é alcançado por meio de alterações morfológicas na planta, tais como redução da condutância estomática, diminuição da área foliar, desenvolvimento de extensos sistemas radiculares e aumento da razão entre a raiz e a parte aérea. Enquanto a tolerância à seca é a estabilidade de uma planta para manter suas funções normais mesmo com baixos potenciais de água nos tecidos, é alcançada por mecanismos fisiológicos, bioquímicos e moleculares específicos de células e tecidos, que incluem expressão gênica específica e acúmulo de proteínas específicas, como é o caso do ácido abscísico (ABA), citocinina, ácido giberélico, auxina, ácido salicílico, etileno, entre outros (TAIZ et al., 2017).

2.2 Nanopartículas e Arbolina em plantas

Segundo Muller (2011), nanomateriais são definidos como materiais com uma dimensão na nanoescala entre 1 e 100 nanômetro (nm), estes apresentam características físico-químicas que os diferem de objetos maiores de mesma composição química.

No campo a nanotecnologia pode ter uma grande importância na nutrição e na proteção de plantas contra estresses abióticos (CHHIPA, 2017; LV et al., 2020; SHARMA; DEWANJEE; KOLE, 2016; ZAHEDI; KARIMI; SILVA, 2020; ZHAO, L. et al., 2020).

A Arbolina é obtida a partir de matéria-prima renovável, o qual já foram realizadas pesquisas, porém quando esses estudos envolvem todo um ciclo de uma cultura, é necessário que se tenha uma maior exploração em relação a concentração aplicada, até mesmo para que não ocorra fitotoxidez, ou que essa quantidade aplicada não seja suficiente para todo o ciclo da planta (BUTRUILLE, 2021).

O produto comercial contendo a arbolina é denominado Arbolin Biogenesis® Beta e foi introduzido no mercado recentemente (2021) pela empresa detentora dos direitos de patente, a Krilltech. Desta forma, não se tem divulgadas informações técnicas sobre a composição do produto.

2.3 Microrganismos como atenuantes do estresse hídrico

Alguns estudos apontam que microrganismos benéficos podem melhorar o desempenho de plantas sob condições de estresse e, conseqüentemente, aumentar a produtividade das culturas (PINTER et al., 2017; NAZIR et al., 2018; TIWARI et al., 2019). Nesse contexto, bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) surgem como uma alternativa sustentável capaz de amenizar os efeitos negativos de estresse hídrico de plantas.

As BPCV são microrganismos que colonizam a rizosfera e/ou tecidos internos da planta (endofíticas) e promovem direta ou indiretamente o seu crescimento. Essas bactérias podem produzir fitohormônios e substâncias osmorreguladoras, que levam à proteção e ao aumento do sistema radicular, e, conseqüentemente, a uma maior absorção de água e nutrientes do solo (TIWARI et al., 2019; SHETEIWY et al., 2020).

De acordo com Kasim et al. (2013), as interações de BPCV com raízes de plantas podem aumentar, nas plantas, a expressão gênica relacionada com o estresse hídrico e, conseqüentemente, promover tolerância à esta condição. Shereiwy et al. (2020) observaram *Bacillus amyloliquefaciens* aumentaram a tolerância da soja ao estresse hídrico pela melhora no ajustamento osmótico devido ao maior acúmulo de solutos orgânicos, quando comparadas com as plantas sob estresse hídrico e não inoculadas.

Bactérias do gênero *Bacillus* são promissoras candidatas para serem usadas como inoculantes microbianos devido a sua capacidade em amenizar ou eliminar os efeitos nocivos do estresse salino, hídrico e oxidativo, regular as características morfofisiológicas e bioquímicas das plantas promovendo o seu crescimento e desenvolvimento (GHYSELINCK et al., 2013; PINTER et al., 2017; TIWARI et al., 2019). Dentre os mecanismos diretos utilizados pelas por essas bactérias, estão a produção de fitormônios, produção de enzimas e disponibilização de nutrientes, ao passo que os indiretos compreendem o controle biológico de fitopatógenos e a resistência sistêmica induzida (SAINI et al., 2015; VARMA et al., 2017; NAZIR et al., 2018).

Rizobactérias também são caracterizadas por colonizarem o ambiente radicular, realizam a mineralização da matéria orgânica e aumentam a disponibilidade de nutrientes por meio da conversão de formas insolúveis e disponíveis para as plantas, como a solubilização de fosfatos através da produção fosfatases ou ácidos orgânicos, solubilização de K, fixação de N pelas bactérias diazotróficas e aumento da solubilidade de micronutrientes, como a produção de sideróforos para a quelação de Fe (KAUSHAL & WANI, 2016).

Na cultura do milho, alguns trabalhos já desenvolvidos atestaram os efeitos positivos da BPCV, tanto em condições de suprimento adequado de água quanto em condições de déficit hídrico (PICAZEVICZ et al., 2017; LIMA et al., 2019; FERREIRA et al., 2020; MACHADO et al., 2020; MARQUES et al., 2020; BOLETA et al., 2020). Neste sentido, Lima et al. (2019) observaram que

a inoculação do milho com *Bacillus subtilis*, sob déficit hídrico, aumentou o teor de água nas folhas favorecendo a taxa fotossintética da cultura. Marques et al. (2020) concluíram que a inoculação do milho com diferentes estirpes de *Azospirillum brasiliense*, sob déficit hídrico (50% da ETc) favoreceu o crescimento vegetal, absorção de nutrientes e mitigou os efeitos do déficit hídrico

no desenvolvimento das plantas de milho. Em outro trabalho, Pereira et al. (2020) cultivaram milho sob três regimes hídricos (80%, 60% e 40% da ETc) e inocularam na cultura diversas BPCV. Os autores concluíram que os bioinoculantes testados aumentaram a biomassa da parte aérea e a eficiência do uso de fósforo e N por plantas de milho.

O milho é uma das culturas que mais extraem nutrientes do solo durante seu ciclo, fato que contribui para elevar os custos de produção com a aquisição de fertilizantes, os quais podem representar mais de 30% dos custos totais com a cultura (IMEA, 2021). Desta forma, além do potencial de mitigar os efeitos negativos do déficit hídrico, algumas BPCV podem contribuir também com a nutrição nitrogenada de gramíneas como o milho (FERREIRA et al., 2020) pela fixação biológica, ou aumentar a solubilidade de formas insolúveis de fósforo no solo e assim suprir às necessidades nutricionais da cultura (VASANTHI et al., 2018; FOMINA & SKOROCHOD, 2020). Este fato é particularmente relevante, tendo em vista que o Brasil apresenta grande dependência pela aquisição de fertilizantes de outros países como a China, Estados Unidos, Canadá, especialmente em relação aos fertilizantes fosfatados e potássicos (LOPES & GUILHERME, 2007; SANTOS et al., 2016).

Com base no exposto, a aplicação de BPCV no solo visa estimular os mecanismos fisiológicos de aclimação vegetal, sendo processo dependente do meio, para que as respostas sejam maximizadas ou minimizadas. Portanto, a associação de plantas, como o milho, com BPCV pode levar ao aumento de produtividade, reduzir os custos de produção, aumentar a segurança alimentar e reduzir o uso de agroquímicos, contribuindo para uma agricultura mais sustentável.

2.4 Molibdênio e cobalto nas plantas

Embora o molibdênio (Mo) seja o micronutriente menos exigido pelas plantas, sua carência no solo pode acarretar ineficácia da adubação nitrogenada, diminuindo a fixação biológica e a assimilação de N, devido à baixa atividade das enzimas envolvidas nestes processos (TAIZ et al., 2017). Portanto, as deficiências de Mo geralmente assemelham-se aos sintomas de carência de N, tais como, clorose generalizada em folhas mais velhas e, clorose malhada e

eventualmente, necrose (escaldadura) devido ao acúmulo de nitrato nas folhas (MA et al., 2021).

O cobalto (Co), embora não seja um elemento essencial a todas as espécies vegetais, é um elemento benéfico e fundamental no processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) (GERICÓ, et al., 2020). Os efeitos benéficos do suprimento de Co nas plantas têm sido associados à sua essencialidade aos rizóbios simbióticos que habitam nódulos de plantas e precisam de vitamina B₁₂ (cobalamina) para a atividade de várias enzimas envolvidas na fixação de nitrogênio.

Neste sentido, o Co é um componente estrutural da vitamina B₁₂ a qual é precursora da leg-hemoglobina, que por sua vez, impede a inativação da enzima nitrogenase por falta de oxigênio, outros efeitos benéficos relatados incluem retardo da senescência foliar por meio da inibição da biossíntese de etileno e aumento da resistência à seca em sementes (LANGE et al., 2016).

Nos processos de FBN Co e o Mo são fundamentais, uma vez que, em condições de baixa disponibilidade hídrica as plantas podem absorver menor quantidade de nutrientes como o N (VURUKONDA et al., 2016). Devido a este déficit de água, a absorção de N é limitada pela quantidade de N que entra em contato com as raízes, o que pode refletir em deficiência deste elemento mesmo sob alta concentração no solo (WANG et al., 2017). Além disso, o déficit hídrico altera a atividade das enzimas do metabolismo do N, e a taxa de crescimento do milho. Pesquisas recentes demonstram a dedicação especial que deve ser conferida ao Co e ao Mo, que contribuem de modo indireto no processo de FBN mitigando os efeitos do estresse hídrico (GERICÓ, et al., 2020; MA et al., 2021).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental

A pesquisa foi desenvolvida em campo, a condução do experimento foi realizada no período de julho a outubro de 2021, na Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón, pertencente ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar – CCTA da UFCG, localizada na mesorregião do Sertão Paraibano e microrregião de Sousa, no município de São Domingos – Paraíba. O clima, segundo a classificação de Köppen adaptada ao Brasil, é do tipo tropical semiárido (Bsh), com temperatura média anual superior a 26,7 °C e

precipitação pluviométrica média anual de 872 mm (COELHO & SONCIN, 1982). Os dados climatológicos para o período do experimento foram coletados no sistema de monitoramento agrometeorológico Agritempo (AGRITEMPO, 2019). Durante a condução do experimento a precipitação foi de 0 mm.

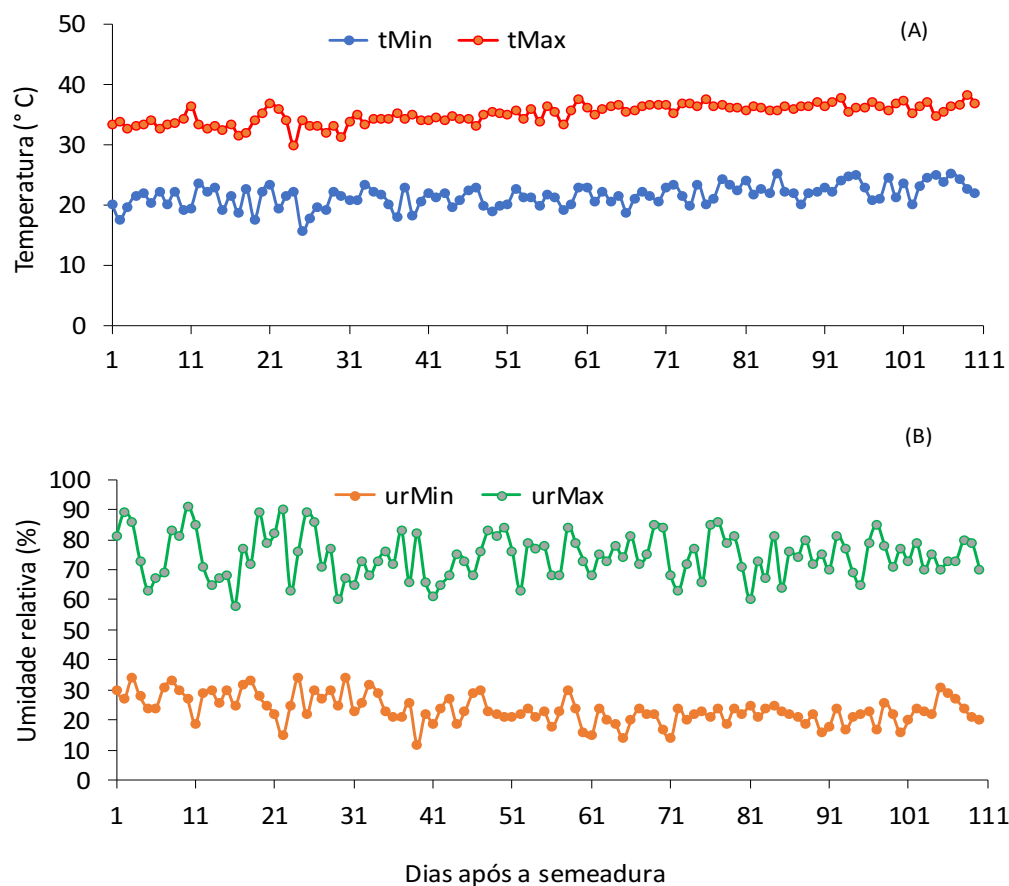


Figura 1. Dados climatológicos de temperatura (A) e umidade relativa (B) do ar durante o período experimental no campo. Fonte: (AGRITEMPO, 2019).

Antes da instalação do experimento, foi coletada uma amostra composta de solo da área, a partir de 15 amostras simples obtidas aleatoriamente na camada de 0 a 20 cm para a posterior caracterização inicial (Tabela 1). Após a coleta o solo, foi analisado quanto aos atributos químicos e físicos no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas do CCTA/UFCG, conforme metodologia descrita em Embrapa (2011).

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo na camada de 0-20 cm do solo PLANOSSOLO HÁPLICO utilizado no experimento.

Atributos químicos	Valor	Atributos físicos	Valor
pH (CaCl ₂)	6,20	Areia (g kg ⁻¹)	444
P (mg kg ⁻¹)	291	Silte (g kg ⁻¹)	353

K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,19	Argila (g kg ⁻¹)	203
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,54	Ds (g cm ⁻³)	1,36
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	5,80	Dp (g cm ⁻³)	2,59
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	3,40	Pt (m ³ m ⁻³)	0,47
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	2,30	CC (%)	12,87
M.O. (g kg ⁻¹)	6,40	PMP (%)	5,29
V (%)	83,0	AD (%)	7,58
PST (%)	4,10	-	-

P, K⁺ e Na⁺: Extrator Mehlich⁻¹; H⁺+Al⁺³: Extrator acetato de Ca⁺² 0,5 mol/L a pH 7; Ca⁺², Mg⁺²: Extrator KCl 1mol L⁻¹; Ds = Densidade do solo; Dp = Densidade de partícula; Pt = Porosidade total; Mo = Matéria orgânica; V (%) = valor de saturação por bases (100 × SB / CTC); PST (%) = Porcentagem de sódio trocável (100 × Na⁺/CTC). CC = capacidade de campo; PPM = Ponto de murcha permanente; AD = água disponível.

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento utilizado foi blocos casualizados, em parcelas subdivididas no espaço, com esquema fatorial 6 x 2, sendo os tratamentos compostos pela utilização de cinco produtos comerciais (No-Nema + Azokop, Biobaci, Azokop, Arbolina e CoMO Max) mais o tratamento controle e aplicação de duas lâminas de irrigação (100% e 50% da ETc). Onde as parcelas foram constituídas pelas duas lâminas de irrigação e as subparcelas corresponderam à seis tratamentos referentes aos produtos à base de bactérias promotoras do crescimento vegetal, Co+Mo ou Arbolina e o controle, como descritos na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2. Descrição dos tratamentos correspondentes às subparcelas.

Tratamentos	Descrição	Aplicação
C1	Sem aplicação de produtos	-
C2	CoMo (0,6g/L de Co e 20g/L de Mo)	CoMo MAX, 1 L/ha no V3 e no V5 (foliar)
P1	No-Nema (A) + Azokop (B)	1 L de A e 3 L de B/ha (7 dias após emergência)
P2	Biobaci	4 L/ha (7 dias após emergência)
P3	Azokop	4 L/ha (7 dias após emergência)
P4	Arbolina	50 mL/ha via foliar (1ª aplicação em V3, 2ª aplicação aos 15 dia após a

		1ª e a 3ª aplicação aos 15 dias após a 2ª aplicação)
--	--	--

Fonte: Autor, 2022.

Os tratamentos foram alocados em quatro blocos (quatro repetições), cada um contendo duas parcelas (lâminas de irrigação) e cada parcela contendo seis subparcelas, totalizando 12 subparcelas em cada bloco ou 48 subparcelas no experimento como um todo.

As plantas foram cultivadas no espaçamento de 0,2 m x 1,0 m, ou seja, um estande estimado em 5 plantas por metro. As parcelas e as subparcelas tiveram espaçamento entre si de 1,0 m. Cada bloco foi separado um do outro de 2,0m (Figura 2). A subparcela foi constituída por cinco linhas de cultivo medindo 4,0m x 4,0m, enquanto a parcela útil para fins de obtenção de dados, foi constituída pelas três linhas centrais medindo 2,0m de comprimento, perfazendo um total estimado de 30 plantas.

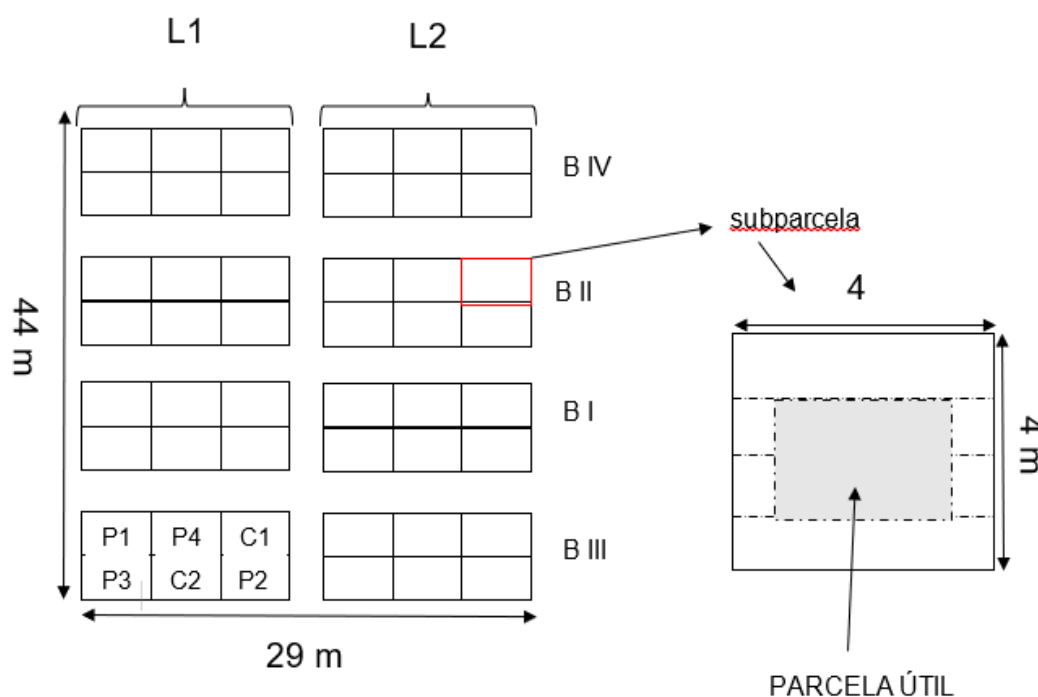


Figura 2. Esquema ilustrativo da área experimental mostrando as parcelas (lâminas de irrigação) e as subparcelas (produtos). L1 e L2 correspondem às lâminas de irrigação (L1 = 100% da Etc; L2 = 50% da ETC).

3.3 Preparo do solo, semeadura e adubação

O preparo do solo foi constituído pela realização de duas gradagens, sendo a primeira pesada e a segunda leve antes da semeadura, objetivando a

desagregação e nivelamento do solo, posteriormente efetuou-se a abertura dos sulcos para o plantio.

A semeadura foi realizada em 09/07/2021, utilizando-se sementes da cultivar de milho híbrido K9555VIP3, é um híbrido com a finalidade de produção de grãos e silagem, tem uma boa tolerância a doenças e pragas. O semeio foi realizado manualmente, um dia após a adubação de plantio (08/07/2021) colocando uma semente por cova.

A adubação básica de plantio e de cobertura foi realizada de acordo com as recomendações do Manual de Recomendação de Adubação para o Estado de Pernambuco (CAVALCANTE, 2008), a partir da interpretação da análise de solo da área do experimento. Na adubação de plantio foram aplicados por hectare, 30 kg de N, 60 kg de P_2O_5 , 45 kg de K_2O e 24 kg de S na forma de sulfato de magnésio (Figura 3A e 3B). Nas adubações de cobertura com nitrogênio (N) e potássio (K) foram aplicados por hectare, 50 kg de N no estágio V4 e 45 kg de K_2O , 1 kg de B e 2 kg de Zn no estágio V6. As fontes de nutrientes utilizadas foram ureia (45% de N), cloreto de potássio (58% de K_2O), superfosfato simples (18% de P_2O_5), sulfato de magnésio (9% de Mg e 12% de S), ácido bórico (17% de B) e sulfato de zinco (20% de Zn). As adubações de cobertura foram realizadas via fertirrigação.



Figura 3. Implantação do experimento na fazenda experimental da UFCG, localizada no município de São domingos-PB. Fertilizantes utilizados na adubação de fundação (A), adubação de Fundação (B).

3.4 Aplicação dos tratamentos

Nos tratamentos P1, P2 e P3 os produtos foram diluídos em água de acordo com as dosagens descritas na Tabela 2 e posteriormente aplicados em dose única. Para atender as dosagens indicadas, cada parcela de 16 m² recebeu 6,4 mL de cada produto (ou combinação, no caso do P1) que foram diluídos em 1.250 mL de água.

No tratamento C2, foi aplicado 1,6 mL por parcela do produto CoMo max que foi diluído em 1.000 mL de água para aplicação com pulverizado costal. No tratamento com arbolina (P4), 0,8 mL do produto foi diluído em 10 L de água para a aplicação de 1L por parcela de 16 m² (0,08 mL/parcela).

Os tratamentos P1, P2 e P3 foram aplicados sete dias após a emergência. No tratamento C2 (CoMo MAX) o produto foi aplicado via foliar, nos estádios vegetativos, V4 e V5. No tratamento P4 (arbolina), foram realizadas três aplicações via foliar, sendo a primeira no estádio V4 e a segunda e a terceira, aos 15 e 30 dias após a aplicação da primeira, respectivamente.

O tratamento P1 foi constituído pela mistura de 3 L/ha do produto No – Nema + 1L/ha do produto Azokop. Nos tratamentos C2, P2 e P3 foram aplicados a dose de 4 L/ha de cada um destes produtos. No tratamento P4 foram aplicados 50 ml/ha do produto Arbolina via foliar. A dose de 4 L/ha de cada tratamento corresponde a 6,4 mL por subparcela (16 m²) os quais foram diluídos em 4,0 L de água para aplicação nas subparcelas, ou seja, 0,4 mL/m² ou 4.000 mL/ha. No tratamento C1, foi adotado o mesmo procedimento, mas utilizando – se apenas água sem qualquer produto. Em todas as aplicações foram utilizados uma barreira feita de isopor para evitar a deriva do produto para a outra parcela (Figura 4)



Figura 4. Aplicação dos tratamentos foliares em diferentes estádios fenológicos da cultura do milho.

3.5 Manejo das lâminas de irrigação

As plantas foram irrigadas por gotejamento, com gotejadores espaçados de 0,20 m. Após a emergência e padronização do número de plantas por subparcela, as plantas foram irrigadas seguindo os diferentes níveis de lâminas de água.

A irrigação total necessária (ITN) foi calculada pela equação 1:

$$ITN = \frac{(Cc - Pm) \times Z \times Ds \times f}{10} \dots \dots \dots (1)$$

Em que:

ITN - Corresponde a lâmina total inicial de água a ser aplicada em mm;

Cc – Umidade do solo correspondente a capacidade de campo, %;

Pm – Umidade do solo correspondente ao ponto de murcha, % ;

Z-profundidade efetiva do sistema radicular do milho (30 cm);

Densidade do solo, g/cm³, e;

f – Fator de disponibilidade de água para a cultura do milho (0,5).

O controle do volume de água fornecido em cada lâmina foi realizado diariamente, em horário padronizado pela manhã, de acordo com a razão da vazão dos gotejadores pelo tempo para atingir as proporções da evaporação de referência (ETc). Quando atingido o intervalo de tempo referente a cada volume das lâminas (100% e 50%), foram desligadas as fitas de gotejadores, correspondentes a lâmina que estava realizando a irrigação e depois foi ligado a outra lâmina e esperado dar o tempo correspondente. A lâmina de irrigação

correspondente a 100% foi obtida por meio do cálculo da ET_c , conforme (JESEN, 1968), equação 2:

$$ET_c = K_c \times ET_o \dots\dots\dots (2)$$

Em que:

ET_c - Evapotranspiração da cultura, mm/dia;

ET_o - Evaporação de referência, mm/dia, e;

K_c - Coeficiente de cultura (adimensional).

Os valores de K_c adotados para o milho se deu em função das suas fases fenológicas, e os valores diários da ET_o foram obtidos de acordo com o modelo FAO Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Durante a condução do experimento os dados meteorológicos foram obtidos da estação meteorológica automática do município de São Gonçalo, Paraíba, por ser a mais próxima ao local do experimento, através do site (SISDAGRO, 2020).

Tabela 3. Valores de K_c utilizados no experimento durante o ciclo da cultura do milho.

Fase	Valor de K_c
Inicial	0,13
Fase vegetativa	0,55
Florescimento	1,00
Fase reprodutiva	1,20
Fase final	0,90

Fonte: Autor, 2022.

O volume da irrigação total necessária (ITN) de cada lâmina foi obtido de acordo com (MANTOVANI et al., 2009), através da equação 3:

$$ITN = IRN/Ea \text{ (mm)} \dots\dots\dots (3)$$

Em que:

ITN= Irrigação total necessária (mm);

IRN= Irrigação real necessária (mm);

Ea= Eficiência da aplicação (0,90).

O fornecimento diário das lâminas de irrigação foi realizado por meio do tempo de irrigação considerando as características do sistema de cultivo e do sistema de irrigação conforme a equação 4:

$$T_i = \frac{E_{to} \cdot K_c \cdot A}{E_a \cdot n \cdot q} \dots\dots\dots (4)$$

Em que:

T_i - tempo de irrigação (horas);

E_{To} - evaporação de referência (mm/dia);

K_c - coeficiente de cultura (adimensional);

A - área ocupada por uma planta (m²);

n - número de gotejadores por planta;

q - vazão do gotejador, (L/h) e;

E_a – eficiência da aplicação (0,90).

3.6 Controle fitossanitário

Para evitar qualquer interferência de produtos químicos fitossanitários sobre a ação dos produtos contendo bactérias promotoras do crescimento vegetal, que foram testados, o controle de plantas daninhas foi realizado mecanicamente, de forma manual e, ou com o uso de enxadas manuais. Não houve necessidade para realizar do controle de pragas e doenças, devido a variedade utilizada ser resistente a pragas e doença, assim não ocorrendo dano o bastante para entrar com o manejo.

3.7 Variáveis avaliadas

Na fase de surgimento da inflorescência feminina (cabelo), o qual ocorreu 56 dias após o plantio, foram realizadas medições das trocas gasosas, diâmetro do caule e altura de planta. Nesta ocasião foram avaliadas a fotossíntese (A) (μmol m⁻² s⁻¹), a condutância estomática (g_s) (mol m⁻² s⁻¹), a taxa de transpiração (E) (mmol de H₂O m⁻² s⁻¹), a concentração intercelular de CO₂ (C_i) e a eficiência do uso da água (EUA) com analisador de gás no infravermelho (IRGA) LCpro' (*Analytical Development*, Kings Lynn, UK) com fonte de luz constante de 2.000 pmol de fótons e concentração de CO₂ ambiente (Figura 5A). Para realização das leituras, das 7h00min às 9h00min da manhã, foram utilizadas a folha

diagnóstica, ou seja, a folha oposta a espiga (MALAVOLTA et al., 1997). Os valores de EUA foram estimados pela razão entre a taxa fotossintética e a taxa de transpiração ($EUA = A/E$).



Figura 5. Avaliação de trocas gasosas (A) e avaliação do índice de área foliar (IAF) (B).

O índice de área foliar (IAF) foi estimado utilizando-se um Ceptômetro (AccuPAR modelo LP-80) (Figura 5B). As leituras foram realizadas no intervalo de 8h00min às 11h00min. Em cada subparcela foram realizadas quatro leituras abaixo das folhas, rente ao solo, correspondente aos quatro pontos cardeais da parcela.

Foi coletado, para a análise foliar (teor de N), as folhas opostas e abaixo a espiga superior, a qual foi retirado com o aparecimento da inflorescência feminina. Após a coleta as folhas foram lavadas em água corrente e depois com água destilada, após esse procedimento foram submetidas a secagem em estufa com circulação forçada de ar, com a temperatura de 65 °C por 72 h, em seguida realizou-se a moagem das amostras em um moinho tipo WILLYE (FAQUIN, 2002).

Para a realização das avaliações do diâmetro e altura da planta foram realizadas também no período em que ocorreu o aparecimento da inflorescência

feminina na planta. O diâmetro foi medido com um paquímetro a uma altura de 0,1 m do solo (Figura 6A), já a altura da planta foi realizada com um auxílio de uma régua, medindo-se da base da planta até a inserção do pendão (Figura 6B).



Figura 6. Avaliação do diâmetro do caule (A) e altura da planta (B).

Para a obtenção dos teores de nitrogênio total nas folhas foi utilizando o método Kjeldahl (TEDESCO, 1995), utilizando-se 0,5g de material vegetal seco e moído para digestão sulfúrica e posterior destilação em microdestilador.

A avaliação da produção e qualidade dos grãos ocorreu cinco a oito dias após os grãos atingirem a maturidade fisiológica, ou seja, com grau de umidade abaixo de 15 % (base úmida). A colheita foi realizada na parcela útil de cada subparcela, coletando-se 10 espigas para fins de avaliação referente a: massa de 1.000 grãos e produtividade de grãos.

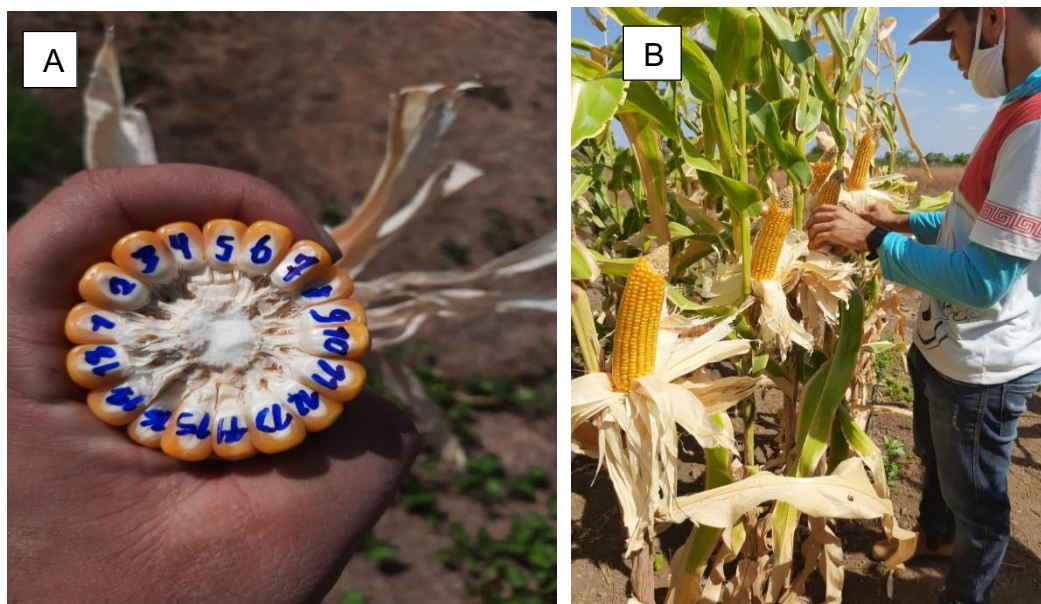


Figura 7. Colheita do milho. Quantidade de fileiras de grãos na espiga (A), colheita manual das espigas (B).

Com base no rendimento de grãos nas subparcelas de 16 m², por extrapolação para 10.000 m² foram calculadas as produtividades em kg ha⁻¹, ou seja, a partir dos pesos dos grãos obtidos da área útil foi estimado a produtividade para 1 ha. Os dados de produtividade foram corrigidos para 13% de umidade (base úmida). O grau de umidade dos grãos foi avaliado por meio do método da estufa a 105 °C por 24 horas (BRASIL, 2009). Nesta ocasião, foram determinados os teores de proteínas nos grãos utilizando-se o método Kjeldahl (TEDESCO, 1995). Para tanto, inicialmente foram determinados os teores de nitrogênio total (N) em 0,5g de grãos de moído e, posteriormente, convertendo-o em proteína bruta pelo fator de multiplicação 6,25. O rendimento de proteínas foi obtido através do produto entre o teor de proteína e o rendimento de grãos.

3.8. Análises estatísticas

As variáveis dependentes foram submetidas à análise de variância e teste de médias (LSD) ao nível de 5% de probabilidade. Para os dados de taxa fotossintética, condutância estomática e taxa de transpiração foram elaboradas curvas de correlação para verificação do grau de dependência destas variáveis. Todos os testes foram realizados utilizando-se o software SISVAR® versão 5.8.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Trocas gasosas

Sob restrição hídrica (50% da ET_o), não houve diferença significativa entre os tratamentos testados para os teores de CO_2 intercelular (Figura 8A). Os maiores valores de taxa de transpiração (Figura 8B) foram obtidos quando o utilizou-se o P2 (Biobaci) e P3 (Azokop), porém estes tratamentos só diferiram estatisticamente do tratamento C1 (controle). Neste regime hídrico (déficit hídrico), a condutância estomática e a taxa fotossintética não foram alterados pelos tratamentos testados (Figuras 8E e 8G). A maior eficiência do uso de água (Figura 8I), foi obtida no tratamento P4 (Arbolina), mas este não diferiu do tratamento P1 (No-Nema + Azokop). Comparando-se as lâminas de irrigação, de maneira geral, o déficit hídrico diminuiu a fotossíntese, transpiração e a condução estomática, resultados semelhantes foram observados por Magalhães et al. (2009), quando diferentes linhagens de milho foram submetidas a estresse hídrico ocorreu a redução dessas variáveis. Mas praticamente não alterou os valores de EUA. Este processo é comum ocorrer quando as plantas estão sob estresse hídrico, como estratégia para lidar com a faixa de variação de disponibilidade de água (TAIZ; ZEIGER, 2017; GONÇALVES, 2013).

Sob suprimento adequado de água (100% da ET_c), houve diferença significativa entre os tratamentos testados para todas as variáveis relacionadas com a fotossíntese (trocas gasosas). Os maiores valores de C_i foram obtidos no tratamento C1 (Figura 8B). As maiores taxas de transpiração (Figura 8D) foram obtidas no tratamento P1 (Azokop+ Nonema) e P2 que diferiram apenas do tratamento controle, tal como observado na lâmina de 50% da ET_c . A condutância estomática (Figura 8F) foi superior no tratamento P1, mas sem diferir do tratamento C2, enquanto os menores valores foram proporcionados pelos tratamentos controle e P4 (Arbolina). De forma semelhante, a maior taxa fotossintética foi observada no tratamento P1, que foi similar aos tratamentos C2 e P3, enquanto os menores valores foram proporcionados pelos tratamentos C1 e P4. Os maiores valores de EUA (Figura 8J) foram proporcionadas pelos tratamentos C2 (CoMo Max) e P1 (Biobaci), que diferiram estatisticamente, apenas do tratamento controle. A EUA é importante, pois possibilita inferir sobre a capacidade das plantas em assimilar CO_2 com a menor perda de água

possível, promovendo maior síntese de fotoassimilados e economia de água pelas espécies vegetais (SILVA, 2005).

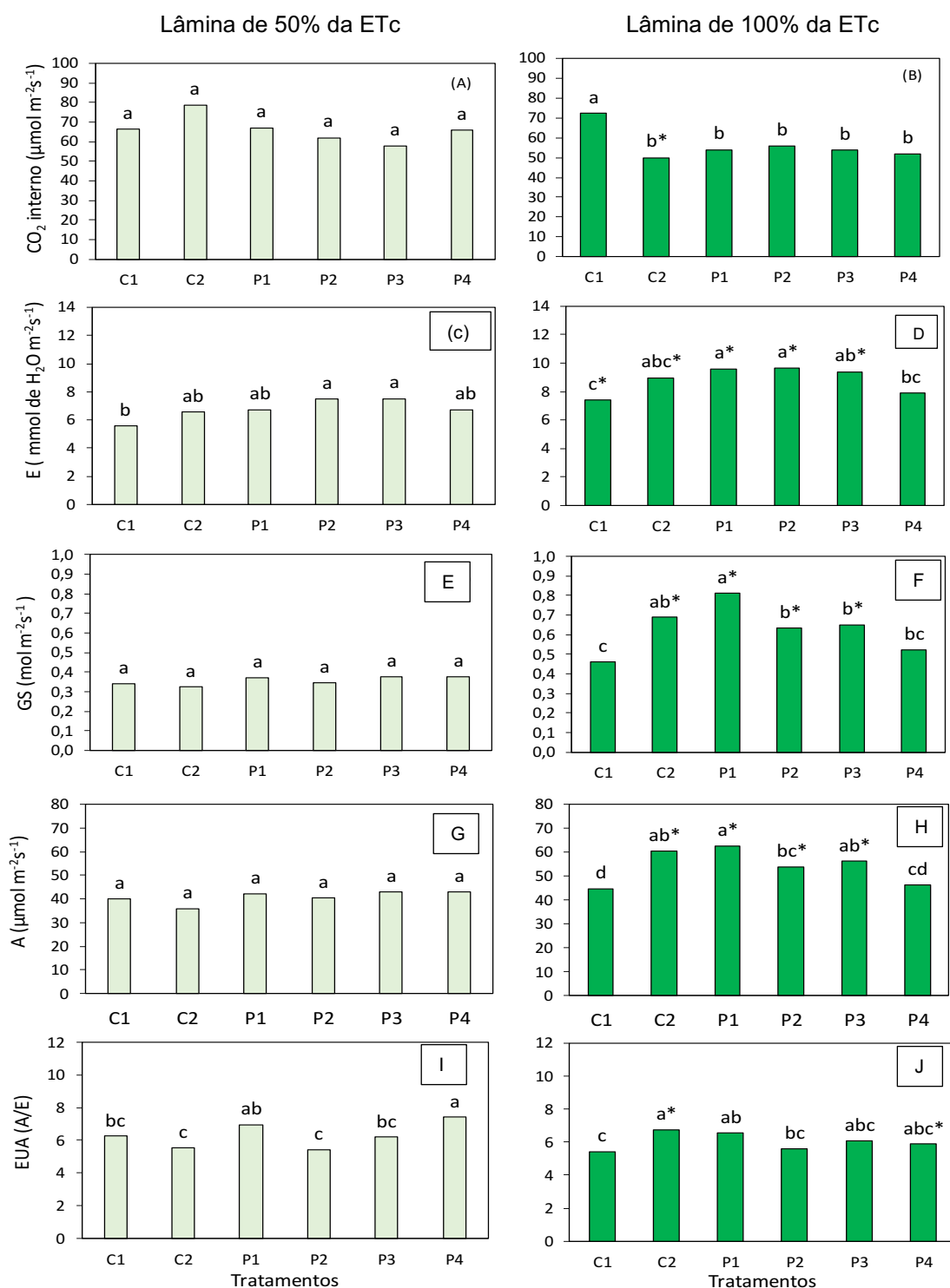


Figura 8. Concentração intercelular de CO₂ (Ci) (8A e 8B), taxa de transpiração (E) (8C e 8D), condutância estomática (GS) (8E e 8F), taxa fotossintética (8G e 8H) e eficiência do uso da água (EUA) (8I e 8J) em função da aplicação de lâminas de irrigação (50% e 100%) respectivamente e aplicação de produtos

como atenuantes do estresse hídrico na cultura do milho (híbrido K9555VIP3). Colunas identificadas com letras diferentes indica diferença significativa ao nível de 5% pelo teste LSD. Colunas marcadas com (*) indica diferença significativa entre as lâminas de irrigação para um mesmo produto de acordo com o teste LSD. C1= controle, C2= CoMo MAX, P1= No-Nema + Azokop, P2= Biobaci, P3= Azokop, P4= Arbolina.

Comparando-se as lâminas de irrigação dentro de cada tratamento, observou-se que para a concentração intercelular de CO₂, apenas no tratamento C2 houve diferença significativa, com menor valor na lâmina de 100%. A taxa de transpiração no tratamento P4 foi semelhante quando comparado entre as lâminas de irrigação, enquanto nos demais tratamentos, os maiores valores foram obtidos com a lâmina de 100% da ETc (Figura 8D). Para a condutância estomática (Figura 8E e 8F) e a taxa fotossintética (Figura 8G e 8H, não houve diferença entre as lâminas de irrigação nos tratamentos C1 e P4. A eficiência de uso da água no tratamento C2 foi superior na lâmina de 100% da ETc enquanto no tratamento P4, e EUA foi maior na lâmina de 50% da ETc.

Sendo assim, submetido déficit hídrico, os produtos testados parecem ter pequena influência sobre a taxa fotossintética do milho, uma vez que não houve uma separação clara entre os tratamentos testados. Sob condições adequadas de suprimento de água, por outro lado, os produtos contendo *Bacillus subtilis* (Biobaci), *Azospirillum brasilienses* (Azokop) e Co+Mo (CoMo max) influenciaram positivamente a taxa fotossintética e a eficiência de uso da água do milho, enquanto a Arbolina proporcionou efeito contrário.

Observou-se correlação linear entre a taxa fotossintética e a taxa de transpiração (Figura 9A) e quadrática entre a condutância estomática e a taxa de transpiração (Figura 9B), assim como entre a taxa fotossintética e a condutância estomática (Figura 9C).

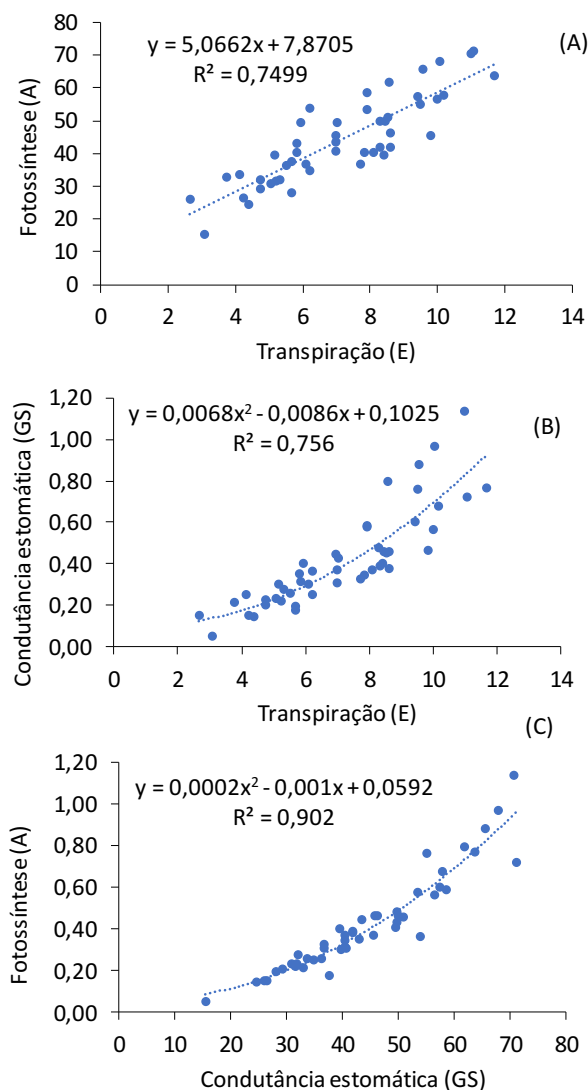


Figura 9. Correlações entre as variáveis de trocas gasosas em milho híbrido K9555VIP3 em função dos tratamentos com microrganismos e estimulantes do milho em condições de déficit hídrico (50% da ETc) e condições ótimas de irrigação (100% da ETc).

De maneira geral, o déficit hídrico prejudicou as trocas gasosas do milho. Este efeito já era esperado, tendo em vista o papel da água na abertura e condutância estomática (TAIZ et al., 2017). Este fato foi demonstrado pela diminuição da taxa de transpiração, condutância estomática e taxa fotossintética. Contudo, os efeitos dos tratamentos à base de microrganismos e produtos estimulantes se manifestaram mais pronunciadamente sob suprimento adequado de água. Contudo, em outros trabalhos tem sido verificado efeito positivo e bactérias promotoras do crescimento de plantas na cultura do milho, tanto em condições de déficit quanto sob adequado suprimento de água (RHO; KIM, 2017; TIEPO et al., 2018; LIMA et al., 2019; SANTANA et al., 2020).

Neste sentido, Tiepo et al. (2018) observaram que inoculação com *A. brasilense* e *B. amyloliquefaciens* induziu a aumentos na taxa fotossintética e eficiência instantânea da carboxilação quando as plantas foram submetidas a seca moderada. De forma similar, Lima et al. (2019) observaram que cepas de *B. subtilis* foram capazes de atenuar o estresse hídrico em milho e feijão por meio da manutenção da taxa fotossintética similar às plantas sem déficit hídrico, uso mais eficiente da água e maior taxa de carboxilação instantânea. Contudo, neste mesmo trabalho, os autores observaram que *B. subtilis* não alterou a taxa fotossintética do milho e do feijão, mas diminuiu a taxa de transpiração de ambas as espécies.

Os efeitos dos microrganismos sobre as trocas gasosas, em certa medida são difíceis de caracterização, tendo em vista que sua atuação na rizosfera pode gerar enzimas, hormônios, ácidos orgânicos, e diversas substâncias que podem promover a bioativação do solo, alterar as comunidades microbianas e os atributos químicos do solo, os quais, em última instância pode afetar o metabolismo geral da planta (VACHERON et al., 2013; ETESAMI et al., 2017; AQUINO et al., 2019; SANTANA et al., 2020).

Conforme demonstrou o estudo de correlação, para a realização da fotossíntese, as plantas necessitam realizar a abertura dos seus estômatos para a entrada do CO₂, que será assimilado pela RUBISCO, conseqüentemente aumentando a transpiração. Caso ocorra um baixo fluxo de CO₂, a fotossíntese é limitada pela capacidade de carboxilação da RUBISCO. O aumento da condutância estomática com o aumento da taxa fotossintética é uma consequência desse fluxo de CO₂, medido por meio da constância estomática (TAIZ; ZEIGER, 2017).

4.2 Crescimento e teores foliares de N

Sob déficit hídrico (50% da ET_c), o índice de área foliar foi superior no tratamento P4 (Arbolina), enquanto os demais tratamentos não diferiram entre si (Figura 10A). A altura de planta foi inferior no tratamento P3 em comparação ao tratamento P4; contudo, estes tratamentos foram estatisticamente iguais aos demais tratamentos (Figura 10C). Para o diâmetro do colmo, o tratamento P4 foi superior ao tratamento C2, mas, ambos não diferiram dos demais tratamentos (Figura 10E). Os tratamentos C2 e P4 proporcionaram maiores teores de N foliar

em comparação ao tratamento controle; contudo, estes tratamentos foram similares aos tratamentos P, P2 e P3.

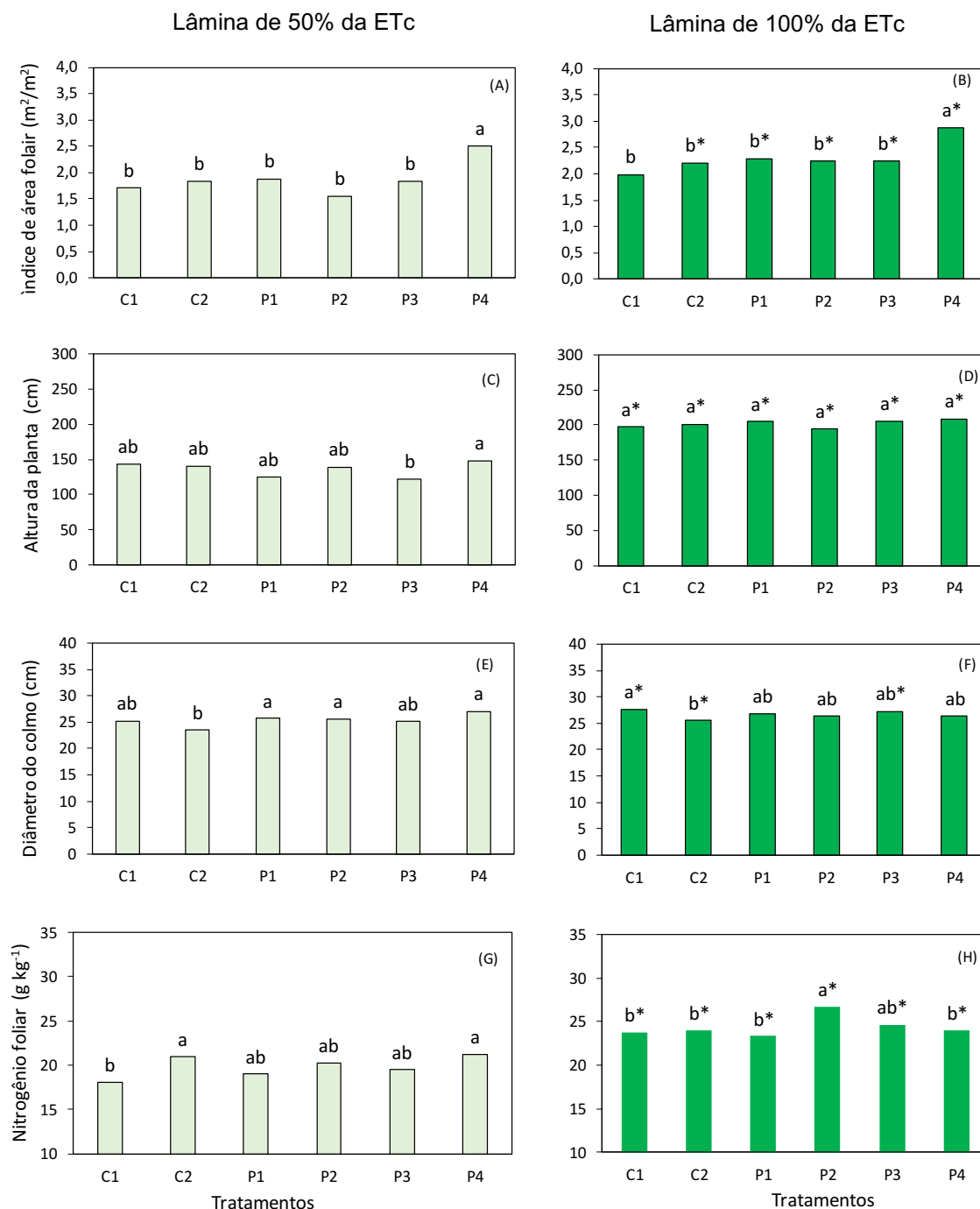


Figura 10. Características de crescimento e teor foliar de N em função da aplicação de lâminas de irrigação (50% e 100%) respectivamente e aplicação de produtos como atenuantes do estresse hídrico na cultura do milho (híbrido K9555VIP3). Colunas identificadas com letras diferentes indica diferença significativa ao nível de 5% pelo teste LSD. Colunas marcadas com (*) indica diferença significativa entre as lâminas de irrigação para um mesmo produto de

acordo com o teste LSD. C1= controle, C2= CoMo MAX, P1= No-Nema + Azokop, P2= Biobaci, P3= Azokop, P4= Arbolina.

Sob adequado suprimento de água (100% da ETc), o maior índice de área foliar foi proporcionado pelo tratamento P4 enquanto os demais tratamentos proporcionaram valores semelhantes entre si (Figura 10B). A altura de planta não sofreu influência dos tratamentos testados (Figura 10D), enquanto o diâmetro do colmo foi superior no tratamento controle, mas sem diferir dos demais tratamentos (Figura 10F). O maior teor de N foi proporcionado pelo tratamento P2 (Biobaci) que não diferiu do tratamento P3 (Azokop), enquanto os demais tratamentos foram similares entre si.

Comparando-se as lâminas de irrigação, observou-se que, com exceção do tratamento C1, os maiores valores de índice de área foliar foram proporcionados pela lâmina de 100% da ETc (Figura 10B). Da mesma forma, a maior altura de planta, em todos dos tratamentos, foram proporcionados pela lâmina de 100% da ETc (Figura 10D). Para o diâmetro do colmo os tratamentos P1, P2 e P4 proporcionaram valores de diâmetro do colmo similares entre as lâminas de irrigação (Figura 10F).

Por sua vez, em todos os tratamentos, os maiores teores foliares de N foram proporcionados pela lâmina de 100% da ETc, sendo os que obtiveram um maior valor foram os tratamentos que foi submetido ao *Bacillus subtilis* (P2) e o que foi inoculado com *Azospirillum brasilienses* (P3) (Figura 10H).

Em relação às variáveis de crescimento, o produto Arbolina, proporcionou aumento no índice de área foliar, tanto sob déficit hídrico, quanto sob suprimento adequado de água. Contudo, a falta de informações técnicas sobre a composição deste produto dificulta esclarecer seu modo de ação. Sabe-se apenas se tratar de nanopartículas sintéticas, similar ao orgânico extraído de plantas.

Para a altura de planta e diâmetro do colmo, não foi observada uma distinção clara dos efeitos dos produtos em relação ao tratamento controle, seja sob déficit hídrico, seja sob suprimento adequado de água. Estes resultados são corroborados pelo trabalho de Severo (2021), em que foram avaliados a influência de produtos contendo Co+Mo e microrganismos benéficos no milho AG 1051 sob lâminas de irrigação. Este autor também não observou influência dos produtos Biobaci, Azokop+Nonema ou CoMo Max sobre a altura de plantas

e diâmetro do colmo, embora estes produtos tenham aumentado a produção de fitomassa fresca do milho AG 1051. Ainda segundo o autor, este resultado pode estar relacionado às funções do Co e Mo na fixação biológica, podendo ter aumentado o acúmulo de N na planta, diminuindo o efeito do estresse hídrico na mesma, sendo refletido isso nas partes vegetativas da cultura do milho.

Os teores foliares de nitrogênio aumentaram com a aplicação de Co+Mo (CoMo Max) e arbolina, sob condições de déficit hídrico, embora os produtos à base de microrganismos (P1, P2 e P3) tenham proporcionado efeito semelhante. Contudo, sob suprimento adequado de água, o produto Biobaci (*B. subtilis*), que não se diferiu do produto Azokop (*A. brasilienses*), proporcionou melhor nutrição nitrogenada para o milho. Neste contexto Alves (2021), observou efeito consistente dos produtos contendo bactérias promotoras do crescimento vegetal ou Co + Mo foi a melhoria na nutrição nitrogenada do milho, demonstrada pelo aumento nos teores de N total e mineral, principalmente com a utilização de No-Nema+ Azokop (*B. amyloliquefaciens*+ *A. brasiliense*) e Biobaci (*B. subtilis*). Marques et al. (2019) também observaram aumento do teor foliar de N no milho em função da inoculação de diversas estirpes de *Azospirillum*, tanto em condições de déficit hídrico, quanto sob suprimento adequado de água.

Da mesma forma, Aquino et al. (2019) observaram aumento dos teores foliares de N e de clorofila na cultura do sorgo e do milho devido a inoculação com diversas estirpes de *B. subtilis*, em comparação ao tratamento sem inoculação e sem adubação nitrogenada. De acordo com os autores, esse efeito foi decorrente da capacidade de *B. subtilis* em fixar N atmosférico. Além disso, tem sido mencionado que *B. subtilis* pode contribuir com a diminuição da volatilização de N na forma de NH₃ após a mineralização (SUN et al., 2020).

4.3 Produção e qualidade dos grãos

A massa de 1.000 grãos não sofre alteração em função dos produtos testados (Figura 11A). Por outro lado, o peso da espiga foi superior no tratamento P3 (Azokop), que diferiu apenas dos tratamentos C2 e P4 (Figura 11C). A maior produtividade de grãos foi proporcionada pelo tratamento P1 (Biobaci) o qual foi similar ao tratamento P3 enquanto os demais tratamentos proporcionaram produtividades semelhantes entre si (Figura 11E).

Já com o suprimento adequado de umidade, o peso de 1.000 grãos e o peso da espiga não foram alterados pelos tratamentos testados (Figura 11B e 11D). A produtividade de grãos praticamente não foi alterada pelos tratamentos, ou seja, houve diferença apenas entre os tratamentos P2 e P4 que foram estatisticamente semelhantes aos demais tratamentos.

Comparando-se as lâminas de irrigação, observou-se o peso de 1.000 grãos foi menor sob restrição hídrica apenas nos tratamentos P1 e P3. Nos demais tratamentos, não houve diferença entre as lâminas para esta variável. O peso da espiga e a produtividade de grãos, por outro lado, foi superior na lâmina de 100% da ET_c, em todos os tratamentos testados.

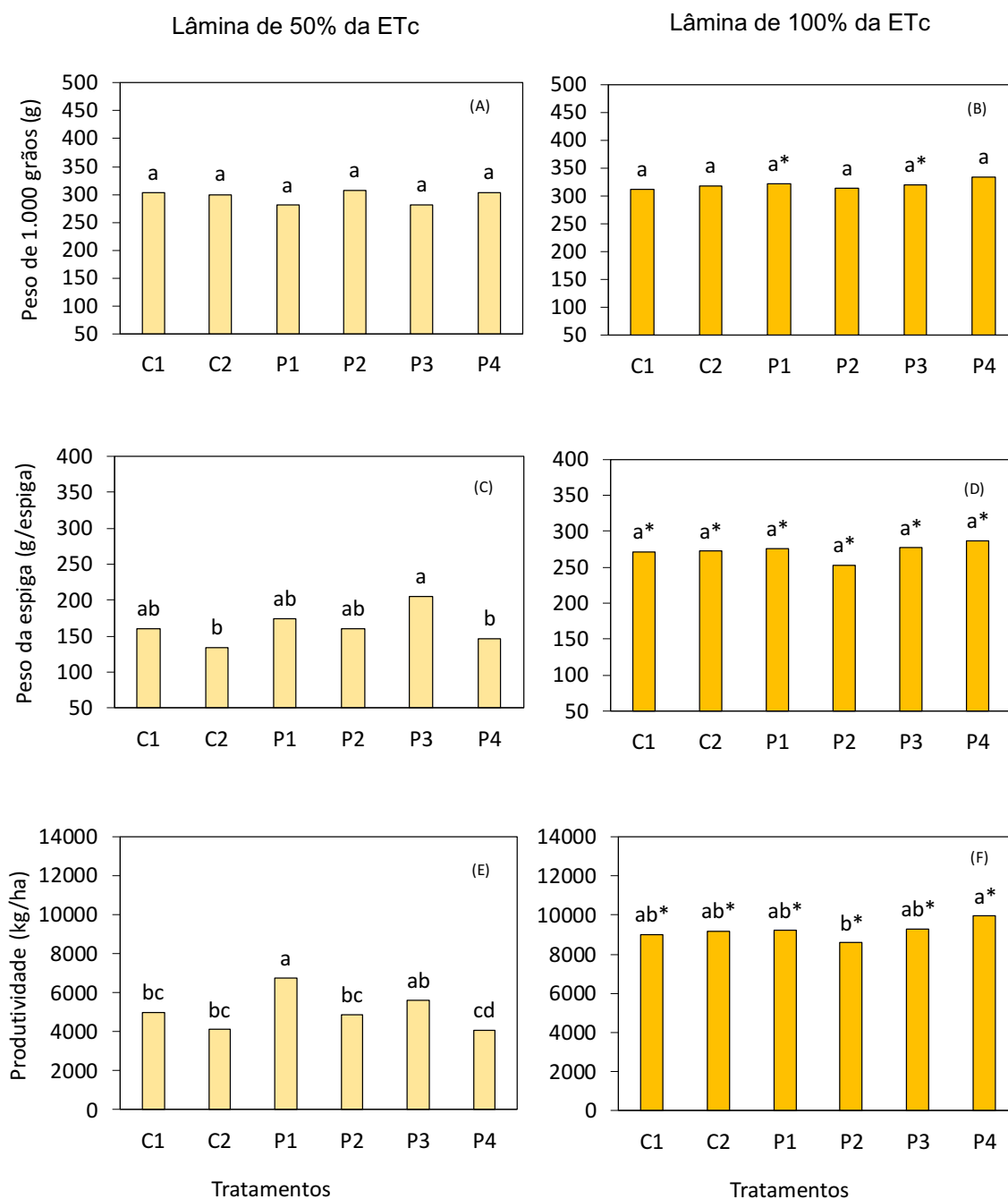


Figura 11. Características de produção do milho híbrido K9555VIP3 em função da aplicação de lâminas de irrigação (50% e 100%) respectivamente e aplicação de produtos como atenuantes do estresse hídrico. Colunas identificadas com letras diferentes indica diferença significativa ao nível de 5% pelo teste LSD. Colunas marcadas com (*) indica diferença significativa entre as lâminas de irrigação para um mesmo tratamento (produtos) de acordo com o teste LSD. C1= controle, C2= CoMo MAX, P1= No-Nema + Azokop, P2= Biobaci, P3= Azokop, P4= Arbolina.

Os teores de proteínas nos grãos não foram influenciados pelos tratamentos testados, seja na lâmina de 50%, seja na lâmina de 100% da ETc (Figura 12A e 12B). Em relação às lâminas de irrigação, apenas nos tratamentos P1 e P3 houve superioridade da lâmina de 50% para esta variável. Considerando estes resultados, o rendimento de proteínas (Figuras 12C e 12D), refletiu o efeito dos tratamentos sobre a produtividade de grãos. Tal como ocorreu na produtividade de grãos, a lâmina de 50% da ETc, destacaram-se os tratamentos P1 e P3. O mesmo resultado foi observado por Marcolini (2018), o qual realizou a inoculação de *Azospirillum brasiliense* na cultura do milho e observou um maior conteúdo proteico. A inoculação de *Azospirillum brasiliense*, dependendo do ambiente e da interação com a planta, pode converter o N atmosférico e tornar disponível para as plantas, o qual pode ocasionar modificações na composição do grão (SOUZA et al., 2014). A utilização de bactérias promotoras de crescimento vegetal (*Azospirillum* e *Bacillus*), pode proporcionar um maior desenvolvimento radicular, o que proporcionará uma maior disponibilidade de água, macro e micronutrientes, como é o caso do N que pode ocasionar diretamente um maior teor proteico no grão do milho (FERREIRA et al., 2011; GODOY, 2017). Contudo, na lâmina de 100%, destacou-se o tratamento P4, que diferiu apenas do tratamento controle (C1).

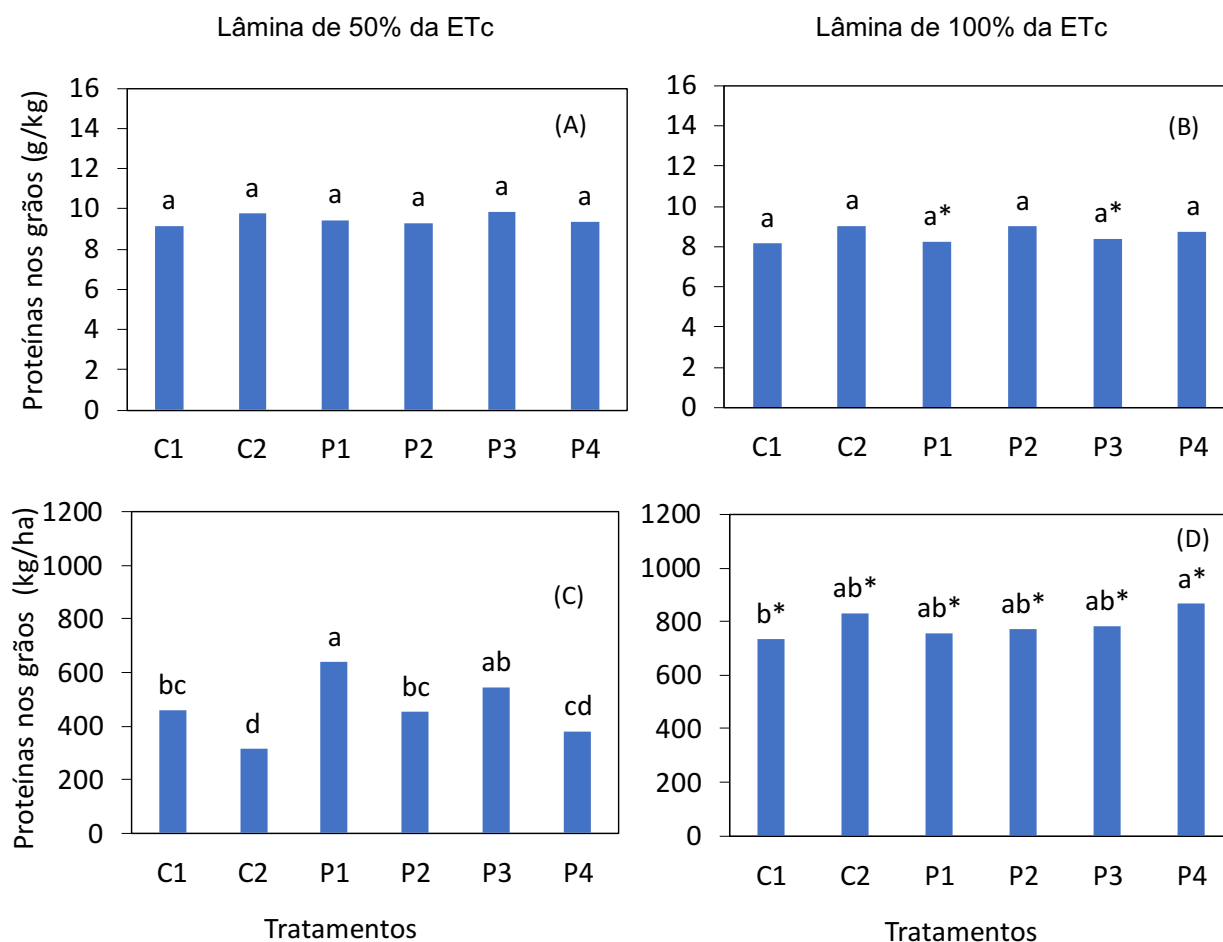


Figura 12. Teor (A e B) e acúmulo de proteínas (C e D) em grãos de milho híbrido K9555VIP3 em função da aplicação de lâminas de irrigação (50% e 100%) respectivamente e aplicação de produtos como atenuantes do estresse hídrico. Colunas identificadas com letras diferentes indica diferença significativa ao nível de 5% pelo teste LSD. Colunas marcadas com (*) indica diferença significativa entre as lâminas de irrigação para um mesmo tratamento (produtos) de acordo com o teste LSD. C2= CoMo MAX, P1= No-Nema + Azokop, P2= Biobaci, P3= Azokop, P4= Arbolina.

O efeito positivo mais consistente para produção, em relação aos produtos testados, ocorreu sob déficit hídrico, onde os produtos Nonema+Azokop e Azokop aumentaram o peso da espiga e a produção de grãos.

A utilização de microrganismos bioinoculantes e estimulantes a plantas sob estresse hídrico, pode ocasionar um maior desenvolvimento do sistema radicular, assim aumentando a exploração do solo pelas raízes, que é decorrente dos fitohormônios produzidos por essas bactérias, além de proporcionarem um maior desenvolvimento na cultura do milho. Alguns desses bioinoculantes

promovem a fixação biológica de nitrogênio atmosférico (ARAUJO et al., 2005; HUNGRIA, 2011; MARQUES, 2019). Isso favorece uma maior exploração do solo, favorecendo uma maior absorção e disponibilidade de água e nutrientes. Estes fatores favorecem o crescimento em comprimento e diâmetro e seu peso, refletindo-se em maior produtividade de grãos (MARQUES, 2019; SEVERO, 2021).

Santos (2020) aplicou diversos produtos estimulantes como atenuantes dos efeitos do déficit hídrico na cultura do milho AG 1051 sob lâminas de irrigação. O autor observou que os maiores ganhos de produtividade, quando foram aplicados os produtos Biobaci, Nonema+Azokop ou CoMo em comparação ao tratamento controle (sem aplicação de produtos), ocorreram sob estresse hídrico severo (40% da ETc). Contudo, não houve diferença entre estes produtos.

Os teores de proteínas nos grãos aumentaram sob déficit hídrico, apenas em dois dos tratamentos testados (P1 e P3). Silva et al. (2020), observaram que com o déficit hídrico ocorreu um aumento de 20% no teor de proteínas em feijão quando a lâmina de irrigação total passou de 535 mm para 187 mm. Contudo, no mesmo trabalho, não foram observadas alterações nos teores de proteínas em grãos de trigo. Este efeito, possivelmente, deve-se à concentração das proteínas nos grãos, uma vez que estes mesmos tratamentos (P1 e P3) foram também os únicos que diminuíram o peso de 1.000 grãos. Por sua vez o rendimento de proteínas refletiu apenas o rendimento de grãos.

Finalmente destaca-se que as divergências observadas entre as pesquisas realizadas com microrganismos benéficos como atenuantes do déficit hídrico nas plantas, podem estar relacionados com os atributos químicos e físicos do solo, clima interações com outras comunidades microbianas da rizosfera. Assim, em função dos efeitos destes fatores, o uso de microrganismos benéficos na agricultura ainda constitui-se em um desafio a ser superado, tendo em vista a imprevisibilidade da magnitude dos benefícios desejados.

5. CONCLUSÃO

Em condições de adequado suprimento de água (100% da ETc), os produtos contendo bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) e Co+Mo aumentaram a taxa fotossintética do milho híbrido K9555VIP3. Sob restrição hídrica severa (50% da ETc), os produtos testados não afetaram a fotossíntese da cultura.

O crescimento em altura e diâmetro do milho híbrido K9555VIP3 não foi afetado pelos produtos testados, nem sob restrição hídrica, mas sob suprimento adequado de água ocorreu um maior desenvolvimento. Contudo, o produto Arbolina aumentou o índice de área foliar. Os produtos contendo BPCP; especialmente No-Nema (*Bacillus amyloliquefaciens*) + Azokop (*Azospirillum brasiliensis*) e Biobaci (*Bacillus subtilis*) promoveram melhoria na nutrição nitrogenada do milho com o aumento no teor de N total sob déficit hídrico, sob suprimento adequado de água o produto que promoveu uma melhor nutrição nitrogenada para o milho foi o Biobaci.

Os produtos testados não interferiram na produtividade do milho, quando cultivado sob suprimento adequado de água. Quando cultivado sob restrição hídrica, o produto No-Nema + Azokop e Azokop podem diminuir as perdas de produtividade em decorrência do déficit hídrico.

O teor de proteínas nos grãos só foi alterado pelas lâminas de irrigação, quando testado os produtos No-Nema + Azokop e Azokop, porém não diferiu entre os produtos testados.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRITEMPO. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico: Estações meteorológicas para o estado de PB. Disponível em <<https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Estacao/index.jsp?siglaUF=PB>>.

Acesso em: 15 out. 2021.

ALLEN, R.G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

AQUINO, J.P.A. et al. Bactérias endofíticas promotoras de crescimento de plantas em milho e sorgo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.49, p.1-9, 2019.

ARAÚJO, F. F.; HENNING, A.; HUNGRIA, M. Phytohormones and antibiotics produced by *Bacillus subtilis* and their effects on seed pathogenic fungi and on soybean root development. **World journal of Microbiology & Biotechnology**, Dordrecht, v.21, p. 1639-1645, 2005.

ARAÚJO, L. S. **Aplicação de Azospirillum brasilense associado a reguladores de crescimento e micronutrientes na cultura do milho**. 2017. 49 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

BOLETA, E.H.M. Inoculation With Growth-Promoting Bacteria *Azospirillum brasilense* and Its effects on productivity and nutritional accumulation of wheat cultivars. **Frontiers Sustainable Food System**, v. 4, e607262, 2020. doi:10.3389/fsufs.2020.607262

BUTRUILLE, Nicole-Marie Dos Santos. **Influência do método de aplicação e concentrações de Arbolina na produtividade, fisiologia e qualidade de frutos de morangueiro**. UNB, 2021. 77p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

CAVALCANTE, F.J.A. et al. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**. 2ª. aproximação. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, 2008.

CHHIPA, H. Nanofertilizers and nanopesticides for agriculture. **Environmental Chemistry Letters**, vol. 15, no. 1, p. 15–22, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10311-016-0600-4>.

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: Agricultural Experiment Station, 1942. 124p.

COELHO, M.A.; SONCIN, N.B. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Moderna, 1982. 368p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira grãos Safra 2018/2019, agosto/2019. Brasília, 2019. 20 p.

CONAB. **Último levantamento da safra 2020/21 confirma redução na produção de grãos**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4234-ultimo-levantamento-da-safra-2020-21-confirma-reducao-na-producao-de-graos>>. Acesso em: 22 fev.2022.

CORREIA, Rebert Coelho et al. A região semiárida brasileira. In: VOLTOLINI, T. V. (Ed.). **Produção de caprinos e ovinos no Semiárido**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. p. 21-48.

DUARTE, E.C.C. et al. Manejo de herbicidas no controle de plantas daninhas e sua influência no crescimento e produção do milho híbrido AG 1051. **AGROTEC**, v.37, n.1, p.71-80, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.25066/agrotec.v37i1.29718>>. Acesso em: 13 jun. 2020.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa em solo. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro. 2011. 225p.

ETESAMI, H. et al. Potassium solubilizing bacteria (KSB): Mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects - a review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.17, p. 897-911, 2017.

FAO. **Statistical Databases**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em: 31 mar. 2020.

FAQUIN, Valdemar. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, v. 1, p. 77, 2002.

FERREIRA, A. C. D. B.; Araújo, G. A. D. A.; Pereira, P. R. G.; Cardoso, A. A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 131-138, 2001.

FERREIRA, D.F. SISVAR: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), Lavras, v.35, p.1039-1042, 2011.

FERREIRA, E.P.B.; KNUPP, A.M.; MARTIN-DIDONET, C.C.G.; Crescimento de cultivares de arroz influenciado pela inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.30, n.3, p.655-665. 2014.

FERREIRA, N.C. et al. *Bacillus subtilis* improves maize tolerance to salinity. **Ciência Rural**, v.48:08, e20170910, 2018.

FILGUEIRAS, L.M.B.; MENESES, C.H.S.G. Efeito das bactérias promotoras de crescimento de plantas na proteção contra o estresse hídrico. **Journal of Biology & Pharmacy**, Campina Grande, v.11, n.1, p.21-30, 2015.

GERICÓ, T.G. et al. Cobalt and molybdenum stimulate compounds of primary metabolism, nitrogen forms, and photosynthetic pigments in peanut plants (*Arachis hypogaea* L.). **Journal of Plant Nutrition**, v.43, n.12, p.1907-1922, 2020.

GHYSELINCK, J. et al. Bioprospecting in potato fields in the Central Andean Highlands: screening of rhizobacteria for plant growth-promoting properties. **Systematic and Applied Microbiology**, v.36, n.2, p.116-127. 2013.

GODOY, F. A. **Estratégias tecnológicas com bactérias promotoras de crescimento de plantas na cultura do milho**. 2017. 32 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

GONÇALVES, J. G. R. **Identificação de linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes à seca**. 2013. 82 p. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) –Instituto Agronômico de Campinas, Campinas.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasiliense*: inovação em rendimento a baixo custo**. 1ª ed. Londrina: Embrapa Soja, 2011. (Documento 325).

IMEA- Instituto mato-grossense de economia agropecuária. Disponível em: <<https://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado-detalhe?c=3&s=3>> Acesso em 14 jun. 2021.

JESEN, M.E. **Water consumption by agriculture plants**. In: KOZLOWSKI, T.T. et al. Vol.1. Water deficit rowth. New York, Academic Press, 1968. p.1-19.

KASIM, W.A. et al. Control of drought stress in wheat using plant-growth-promoting bacteria. **Journal of Plant Growth Regulation**, Egypt, v.32, n.1, p.122-130. 2013.

KAUSHAL, M.; WANI, S.P. Plant -growth-promoting rhizobacteria: drought stress alleviators to ameliorate crop production in drylands. **Annals of Microbiology**. v. 66, p.35–42, 2016.

LANGE, B. et al. Copper and cobalt accumulation in plants: a critical assessment of the current state of knowledge. **New Phytologist**, v.213, n.2, p.537-551, 2016.

LIMA, B.C. *Bacillus subtilis* ameliorates water stress tolerance in maize and common bean. *Journal of Plant Interactions*, v.14, p. 432–439, 2019.

LIN, Y. et al. Influence of plant growth promoting rhizobacteria on corn growth under different fertility sources. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.49, p.1239–1255, 2018.

LISAR, S.Y.S. et al. **Water stress in plants: causes, effects and responses**. In: RAHMAN, I.M.M. *Water Stress.*, 2016. p.1-14.

LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R.F. et al. *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, 2007. p.1-64.

LV, Z.; JIANG, R.; CHEN, J.; CHEN, W. Nanoparticle-mediated gene transformation strategies for plant genetic engineering. **Plant Journal**, vol. 104, no. 4, p. 880–891, 2020. <https://doi.org/10.1111/tpj.14973>.

MA, J. et al. Cobalt ferrite nanozyme for efficient symbiotic nitrogen fixation via regulating reactive oxygen metabolism. **Environmental Science: Nano**, v.8, p.188-203, 2021.

MACHADO, R.W.B. Inoculação foliar de plantas de milho com *Bacillus subtilis* e *Azospirillum brasilense*. **Enciclopédia Biosfera**, v.17 n.34; p. 289, 2020.

MADABULA, F.P. et al. Rice genotypes for drought tolerance: morphological and transcriptional evaluation of auxin-related genes. **Bragantia**, Campinas, v.75, n.4, p.428- 434. 2016.

MAGALHÃES, P. C., DE SOUZA, T. C., DE ALBUQUERQUE, P. E. P., KARAM, D., MAGALHÃES, M. M., & CANTÃO, F. R. Caracterização ecofisiológica de linhagens de milho submetidas a baixa disponibilidade hídrica durante o florescimento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 03, 2009.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 2009. 355p.

MARCOLINI, Bruna de Pádua. **Inoculação de *Azospirillum Brasilense* e doses de nitrogênio, visando produção de etanol e teor de proteína nos grãos, em milho cultivado na entressafra sob baixa latitude**. 2018. 80 P. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Palmas, 2018.

MARQUES, D.M. et al. *Azospirillum brasilense* favors morphophysiological characteristics and nutrient accumulation in maize cultivated under two water regimes. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 19, e1152, 2020.

MARQUES, D.M. **Déficit hídrico e doses de nitrogênio na morfofisiologia e produção de genótipos de milho inoculados por *Azospirillum brasilense***, UFLA, 2019. 79p. Tese (Doutorado em Botânica Aplicada) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MATOS, C.C. et al. Competitive capacity and rhizosphere mineralization of organic matter during soil-herb microbiota interactions. **Planta Daninha**, v.37, 2019. [doi:10.1590/s0100-83582019370100007](https://doi.org/10.1590/s0100-83582019370100007).

MONTEIRO J.G. et al. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.18-25. 2014.

MUELLER, N. C.; BRUGGEN, B. V.; KEUTER, V.; LUIS, P.; MELIN, T.; PRONK, W.; REISEWITZ, R.; RICKERBY, D.; RIOS, G. M.; WENNEKES, W.; NOWACK, B. Nanofiltration and nanostructured membranes—Should they be considered nanotechnology or not? **Journal of Hazardous Materials**, 2011, in press.

NAZIR, N. et al. Mechanism of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in enhancing plant growth-A Review. **International Journal of Management, Technology And Engineering**, v.8, p.709-721. 2018.

PEREIRA, S.I.A. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) improve the growth and nutrient use efficiency in maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. **Helyon**, e05106, 2020.

PICAZEVICZ, A.A.C. et al. Maize growth in response to *Azospirillum brasilense*, *Rhizobium tropici*, molybdenum and nitrogen. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, n.9, p.623-627, 2017.

PINTER, I.F. et al. Characterization of the As (III) tolerance conferred by plant growth promoting rhizobacteria to in vitro-grown grapevine. **Applied Soil Ecology**. v.109, p.60-68. 2017.

RHO, H. et al. **Effects on photosynthesis and water use of plant hosts: a metaanalysis**. In: DOTY, S. (Eds.). *Functional Importance of the Plant Microbiome*. Washington, Springer, 2017. p. 43-69.

RIBEIRO, E.A.S. **Produção de Milho-verde Irrigado por Gotejamento em Teresina-PI**, UFPI, 2017. 82p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - UFPI-PI, Teresina, PI.

SAINI, R. et al. Beneficial effects of inoculation of endophytic bacterial isolates from roots and nodules in chickpea. **International Journal of Current Microbiology Applied Science**, v.4, p.207-221. 2015.

SANTANA, S.R.A. et al. Inoculation of plant growth-promoting bacteria attenuates the negative effects of drought on sorghum. **Archives of microbiology**, v.202, n.5, p.1015-1024, 2020.

SANTOS et al. Use of plant growth-promoting rhizobacteria in maize and sugarcane: Characteristics and Applications. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, p.136. 2020. doi: 10.3389/fsufs.2020.00136.

SANTOS, D. et al. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.836-842. 2018.

SANTOS, L.C. **Produção de milho sob influência de produtos atenuantes do estresse hídrico**. UFCG, 2020. 41 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2020.

SANTOS, W.O. et al. Production and evaluation of potassium fertilizers from silicate rock. **Journal of Plant nutrition and Soil Science**, v.179. 547-556, 2016.

SEVERO, P.J.S. **Crescimento e produção do milho verde sob lâminas de irrigação e produtos contendo BPCV ou Co + Mo**, UFCG, 2021. 53p.

Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2021.

SHARMA, R.; DEWANJEE, S.; KOLE, C. Utilization of nanoparticles for plant protection. **Plant Nanotechnology: Principles and Practices**. [S. l.: s. n.], 2016. p. 305–327.

SHETEIWY et al. Inoculation with *Bacillus amyloliquefaciens* and mycorrhiza confers tolerance to drought stress and improve seed yield and quality of soybean plant. **Physiologia Plantarum**, v., p.1–17, 2021.

SILVA, A.N. **Alterações morfofisiológicas e qualidade de grãos em culturas com potencial para cultivo em safrinha no Cerrado**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2020, 131p. Tese de Doutorado.

SILVA, M. C. A. P. **IMPACTO DA INOCULAÇÃO COM CEPAS DA BACTÉRIA *Bacillus amyloliquefaciens* SOBRE OS PROCESSOS FISIOLÓGICOS DE SOJA EXPOSTA À SECA**. 2019. 36 p. Trabalho de Conclusão do Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Instituto Federal Goiano, Rio Verde.

SILVA, Rommel Benício Costa da. **Eficiência do uso da água e radiação em um ecossistema de manguezal no estado do Pará**. UFV, 2005. 154 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SISDAGRO (Brasília). Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet. **Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária**. 2020. Disponível em: <<http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/index>>. Acesso em: 11 out. 2021.

SOUZA et al; Composição Química E Desoxinivalenol Em Trigo Da Região Centro-Sul Do Paraná: Adubação Nitrogenada Em Cobertura Associada Com Azospirillum Brasilense. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 327-342, 2014.

SUN, B. et al. *Bacillus subtilis* biofertilizer mitigating agricultural ammonia emission and shifting soil nitrogen cycling microbiomes. **Environment International**. v.144, 2020, e105989.

TAIZ, L. et al. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p

TAIZ, L. et al. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

- TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, 1995. 118 p. (UFRGS. Boletim Técnico, 5).
- TIEPO, A.N. et al. Enhanced drought tolerance in seedlings of Neotropical tree species inoculated with plant growth-promoting bacteria. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.130, p. 277-288, 2018.
- TIWARI, S. et al. *Bacillus*: Plant growth promoting bacteria for sustainable agriculture and environment. In: **New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering**. Elsevier, cap. 3, p.43-55. 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64191-5.00003-1>
- VACHERON, J. et al. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. **Frontiers in Plant Science**, v.4, n.356, p.1-19, 2013.
- VARMA, P.K. et al. **Endophytes: role and functions in crop health**. In: SINGH, D.; SINGH, H.; PRABHA, R. (eds) Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives. **Springer**, Singapore, v.1, 291-310. 2017.
- VASCONCELOS, A. C. F. **Uso de bioestimulantes nas culturas de milho e de soja**. 2006. 111 p. Tese (Doutorado em agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- 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. et al. Effect of irrigation regimes and nitrogen rates on water use efficiency and nitrogen uptake in maize. **Agricultural Water Management**, v.179, p.271-276, 2017.
- XU, C. et al. Physiological and transcriptomic responses of reproductive stage soybean to drought stress. **Plant Cell Reports**, v.37, p.1611-1624, 2018. doi: 10.1007/s00299-018-2332-3.
- ZAHEDI, S. M.; KARIMI, M.; TEIXEIRA DA SILVA, J. A. The use of nanotechnology to increase quality and yield of fruit crops. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, vol. 100, no. 1, p. 25–31, 2020.
- ZAREI, T. et al. Melhorando o crescimento e o rendimento do milho doce (*Zea mays* L. var *saccharata*) usando a inoculação de *Pseudomonas fluorescens* sob regimes de rega variados. **Agricultural Water Management**, v. 226. 2019.

ZHAO, L.; LU, L.; WANG, A.; ZHANG, H.; HUANG, M.; WU, H.; XING, B.; WANG, Z.; JI, R. Nano-Biotechnology in Agriculture: Use of Nanomaterials to Promote Plant Growth and Stress Tolerance. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, vol. 68, no. 7, p. 1935–1947, 2020.

ZUFFO, Alan Mario; AGUILERA, Jorge González. **Agronomia: Avanços e perspectivas**. v. II, Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2021. 83p.