



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO



AMON RAFAEL DE MACEDO

**MICROORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO E TOLERÂNCIA DO
SORGO BIOMASSA À RESTRIÇÃO HÍDRICA E DE NITROGÊNIO EM
AMBIENTE SEMIÁRIDO**

AREIA

2023

AMON RAFAEL DE MACEDO

**MICROORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO E TOLERÂNCIA DO
SORGO BIOMASSA À RESTRIÇÃO HÍDRICA E DE NITROGÊNIO EM
AMBIENTE SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de "Mestre em Ciência do Solo".
Área de concentração: Solos em ecossistemas agrícolas e naturais.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Oliveira Dias
Coorientador: Dr. Welson Lima Simões

AREIA

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M141m Macedo, Amon Rafael de.

Microorganismos promotores de crescimento e tolerância do sorgo biomassa à restrição hídrica e de nitrogênio em ambiente semiárido / Amon Rafael de Macedo. - Areia:UFPB/CCA, 2023.

56 f. : il.

Orientação: Bruno Oliveira Dias.

Coorientação: Welson Lima Simões.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA - AREIA.

1. Ciência do Solo. 2. Sorgo BRS 716. 3. Eficiência de adubação nitrogenada. 4. Produção de biomassa. I. Dias, Bruno Oliveira. II. Simões, Welson Lima. III. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631.4(043.3)

AMON RAFAEL DE MACEDO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de "Mestre em Ciência do Solo".
Área de concentração: Solos em ecossistemas agrícolas e naturais.

Aprovada em 28 de julho de 2023

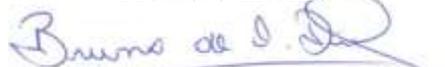
BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 ALESSANDRA MONTEIRO SALVIANO
Data: 25/12/2023 14:24:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Alessandra Monteiro Salviano
EMBRAPA SEMIÁRIDO
Membro Externo



Prof. Dr. Milton César Costa Campos
PPGCS/ CCA/UFPB
Membro Interno



Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias
PPGCS/ CCA/UFPB
Orientador

Areia, PB

2023

Este trabalho dedico primeiramente a Deus, pois sem ele nada é possível, aos meus pais que sempre me incentivaram, me deram amor e condições para estudar, a meu irmão que sempre esteve ao meu lado, e a meu sobrinho que chegou recentemente ao mundo para alegrar a nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força e saúde, além de colocar pessoas especiais nessa jornada, sem sua divina providência jamais conseguiria.

À Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) pelo apoio institucional e oportunidade de formação acadêmica.

A FAPESQ - Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba pela concessão da bolsa.

À Embrapa Semiárido, por todo apoio em infraestrutura e aos seus profissionais, em especial a Ana Célia da Silva Barros, sua alegria e seus abraços me deram força e ânimo para continuar.

A minha família, minha mãe Suzana Benedita de Macedo por ser esse exemplo de mãe e de educadora, foi ela que sempre me guiou pelo caminho da educação pois sempre soube o seu valor, através de seu empenho e estudo mudou o futuro dela e de toda família, meu pai João Batista de Macedo que em me ensinou que como na roça, na vida se colhe o que se planta, a meu irmão que independente de qualquer situação esteve sempre me apoiando.

Ao orientador, Prof. Bruno de Oliveira Dias, por sua prestatividade e por aceitar me orientar mesmo com experimento já em campo.

O Dr. Welson Lima Simões, meu coorientador, que desde o início me incentivou e acreditou na minha capacidade, além do suporte a mim dado por ele e toda sua equipe.

A Dr^a Alessandra Monteiro Salviano, por sua paciência e orientações, se não fosse por suas inúmeras contribuições este trabalho não seria concluído.

A equipe GETAI, que além de colegas de trabalho, se tornaram amigos. Obrigado meus caros (Ângela Liriel, Bruno Rodrigues, Italla Mikelly, Jucicléia Soares, Kaio Vinicius, Layana Alves, Leilta Gonsalves, Marcelo Martins, Márcia Vitória, Natanael Santos, Vitória Rodrigues, Wesley Oliveira e Yuri Rafael) por todo apoio.

Ao Dr. Paulo Ivan que junto a sua equipe do Laboratório de Microbiologia do Solo forneceram suporte na parte microbiológica do experimento.

Aos funcionários do Campo Experimental Bebedouro em nome de Luís Henrique Bezerra Cabral, e dos técnicos Ivanildo e Gian que sem o suporte deles e toda equipe de campo não seria possível.

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”. Josué 1:9

RESUMO

MACEDO, AMON RAFAEL. **Microrganismos promotores de crescimento e tolerância do sorgo biomassa à restrição hídrica e de nitrogênio em ambiente semiárido**. Areia – PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, Julho, 2023. 57 p. in. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Prof. Dr. Bruno Oliveira Dias. Coorientador: Dr. Welson Lima Simões

O sorgo é uma grande cultura de uso milenar, apresenta mais rusticidade que o milho, podendo ser utilizada no semiárido brasileiro. Alguns híbridos de sorgo são próprios para produção de biomassa, sendo uma alternativa a matriz energética que pode ser empregado em termoeletricas ou em fornos industriais. Entretanto, para alcançar altas produções, deve-se fornecer água e nutrientes como qualquer cultura temporária, especialmente a água um recurso limitado em regiões semiáridas. Neste aspecto, a inoculação de microrganismos promotores de crescimento pode amenizar os efeitos da restrição de água e de nutrientes, em especial o nitrogênio em processo de fixação biológica. Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar o potencial do uso de microrganismos para o aumento da tolerância do sorgo biomassa a restrição hídrica e de nitrogênio do solo do Semiárido brasileiro. Este trabalho avaliou, o sorgo BRS 716 na Fazenda Experimental Bebedouro da Embrapa Semiárido, em experimento no esquema fatorial 2x16x2, dispostos em parcelas subdivididas, sendo as parcelas compostas por duas lâminas de irrigação (45 e 100% da evapotranspiração da cultura - ETc); as subparcelas por 15 inoculantes e um tratamento sem inoculação (os inoculantes foram compostos pelas estirpes de bactéria M163, Ab-V5, BR 11005, ESA 13, ESA 402, ESA 600, ESA 674, ESA 29, ESA 424, ESA 15, ESA 001, BR11417, ESA 601e dois fungos as cepas de ESA 37, ESA 41), as subsubparcelas por duas doses de adubação nitrogenada (20 e 140 kg ha⁻¹). A menor dose foi aplicada em fundação, enquanto a maior dose foi parcelada, 20 kg ha⁻¹ em fundação e o restante em cobertura, e duas aplicações de 60 kg ha⁻¹ aos 15 e 30 dias após o plantio. Foram avaliadas características biométricas, produção de massa seca da parte aérea (PMS), teor de clorofila, eficiência da adubação (EFA) e eficiência de adubação e inoculação (EFAI), além da extração de nutrientes pela parte aérea da planta. Os dados, avaliados por meio de estatística clássica e análise de componentes principais (ACP), mostram que as estirpes ESA 13, ESA 29 e ESA 37 proporcionaram maior PMS nas condições sem déficits (100% da ETc e com adubação nitrogenada completa) e com déficits (45% da ETc e com adubação nitrogenada apenas na fundação). A maior PMS está correlacionada a maior altura de plantas, área foliar, número de cachos, teor de clorofila total e extração de nitrogênio, sendo a ordem de extração de nutrientes pela parte aérea K > N > Ca > Mg > S > P > Fe > Mn > Zn > Cu > B. As estirpes que proporcionaram maior PMS apresentaram EFAI acima de 50% na lâmina de 100% da ETc, com adubação nitrogenada completa.

Palavras chaves: sorgo BRS 716; eficiência de adubação nitrogenada; produção de biomassa.

ABSTRACT

MACEDO, AMON RAFAEL. **Microorganisms that promote growth and tolerance of sorghum biomass to water and nitrogen restriction in a semi-arid environment.** Areia – PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, July, 2023. 57 p. il. Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Prof. Dr. Bruno Oliveira Dias. Coorientador: Dr. Welson Lima Simões

Sorghum is a great crop that has been used for thousands of years, it is more rustic than corn and can be used in the Brazilian semi-arid region. Some sorghum hybrids are suitable for biomass production, being an alternative energy matrix that can be used in thermoelectric plants or industrial furnaces. However, to achieve high yields, water and nutrients must be provided like any temporary crop, especially water, a limited resource in semi-arid regions. In this aspect, the inoculation of growth-promoting microorganisms can alleviate the effects of water and nutrient restriction, especially nitrogen in the biological fixation process. Thus, the objective of this work was to identify the potential of using microorganisms to increase the tolerance of sorghum biomass to water and nitrogen restriction in the Brazilian semiarid soil. This work evaluated sorghum BRS 716 at the Bebedouro Experimental Farm of Embrapa Semiarid, in an experiment in a 2x16x2 factorial scheme, arranged in sub-subdivided plots, with the plots being composed of two irrigation depths (45 and 100% of the crop's evapotranspiration - ET_c); the subplots by 15 inoculants and a treatment without inoculation (the inoculants were composed of the bacterial strains M163, Ab-V5, BR 11005, ESA 13, ESA 402, ESA 600, ESA 674, ESA 29, ESA 424, ESA 15, ESA 001, BR11417, ESA 601, and two fungi, strains ESA 37, ESA 41), the subsubplots by two doses of nitrogen fertilizer (20 and 140 kg ha⁻¹). The lowest dose was applied in foundation, while the highest dose was split, 20 kg ha⁻¹ in foundation and the remainder in top dressing, and two applications of 60 kg ha⁻¹ at 15 and 30 days after planting. Biometric characteristics, aerial part dry mass production (PMS), chlorophyll content, fertilization efficiency (EFA) and fertilization and inoculation efficiency (EFAI) were evaluated, in addition to nutrient extraction by the aerial part of the plant. The data, evaluated using classical statistics and principal component analysis (PCA), show that the strains ESA 13, ESA 29 and ESA 37 provided higher PMS in conditions without deficits (100% of ET_c and with complete nitrogen fertilization) and with deficits (45% of ET_c and with nitrogen fertilization only at the foundation). The highest PMS is correlated with greater plant height, leaf area, number of clusters, total chlorophyll content and nitrogen extraction, with the order of nutrient extraction by the aerial part being K > N > Ca > Mg > S > P > Fe > Mn > Zn > Cu > B. The strains that provided the highest PMS showed EFAI above 50% at 100% ET_c, with complete nitrogen fertilization.

Keywords: sorghum BRS 716; microorganism promoters of growth; biomass production.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS:	12
2.1	Objetivo geral:	12
2.2	Objetivos específicos:	12
3	REVISÃO DA LITERATURA	13
3.1	Uso de microrganismos na agricultura	13
3.2	Caracterização dos microrganismos	15
3.2.1	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	15
3.2.2	<i>Azospirillum brasilense</i>	15
3.2.3	<i>Bacillus</i> sp.	16
3.2.4	<i>Chryseobacterium</i> sp.	17
3.2.5	<i>Pelomonas</i> sp.	18
3.2.6	<i>Rhizobium</i> sp.	18
3.2.7	<i>Pantoea</i> sp.	19
3.2.8	<i>Herbaspirillum seropedicae</i>	19
3.2.9	<i>Paenibacillus</i> sp.	19
3.2.10	<i>Meyerozyma guilliermondii</i>	20
3.3	Uso do sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench) na agricultura	20
3.4	Sorgo biomassa produção industrial	21
3.5	Extração de nutrientes pelo sorgo	23
4	MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1	Preparo da área	25
4.2	Preparação de Inoculantes	26
4.3	Condução do experimento	26

4.4	Avaliações.....	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
6	CONCLUSÕES.....	48
	REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

A produção de biomassa no Brasil está principalmente atrelada ao bagaço de cana-de-açúcar ou uso de cana-de-energia, algumas alternativas ao seu uso, principalmente em período de entre safra é o capim elefante e o sorgo biomassa, onde o sorgo se destaca pela capacidade de mecanização em todo ciclo, capacidade vinda da sua propagação por semente, pois permite a utilização de semeadoras em sua implantação, garantindo agilidade e homogeneidade no campo (SILVA et al., 2017).

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma planta de origem tropical advinda da África, adaptada a regiões semiáridas devido seu metabolismo C4, o que pode garantir uma melhor eficiência no uso da água (PATERSON et al., 2008). Possui algumas aptidões, produção de grãos, sacarose, forragem, vassoura e biomassa, tendo assim um alto potencial de uso no Semiárido brasileiro (MAGALHÃES et al., 2021).

Dentre as aptidões do sorgo, a de produção de biomassa é uma alternativa para a matriz energética (PARRELLA et al., 2011), principalmente para indústria brasileira, considerando que no Brasil, o uso de biomassa correspondeu à 28% da sua matriz, utilizada como material de combustão nas termelétricas principalmente em período de entre safra da cana-de-açúcar (EPE, 2022).

A utilização do sorgo com a finalidade de produção de biomassa pode ser uma alternativa as indústrias presentes no semiárido, uma vez que a região é responsável por 22,7% das empresas de fabricação de cerâmica vermelha do país, tendo como principal fonte energética a lenha, obtida especialmente da mata nativa (HENRIQUES JR, MAURICIO F., 2013).

Por outro lado, a maior polo de extração nacional de gipsita e beneficiamento é o do Sertão do Araripe, onde concentra 97% da mesma, sendo a matéria prima usada na fabricação de produtos médicos e hospitalares, construção civil e o subproduto para o gesso agrícola. Esta é outra atividade que exerce grande pressão no desmatamento, uma vez que seu beneficiamento emprega o uso de fornos que devem atingir a temperatura de 160°C (BRASIL, 2018).

O sorgo é uma planta que tem características de rusticidade e adaptabilidade em condições adversas, em especial em déficit hídrico, principalmente comparado ao milho. Todavia ela é uma cultura como as outras culturas anuais, com exigência nutricional elevada e responsiva adubação, além disso foi observada uma perda de 45% de produtividade de sorgo

na safra 2017/2018 no Centro Sul e no Vale do São Francisco (LEITE et al., 2020; BORGES et al. 2016; CONAB, 2018).

Atualmente, para contornar condições adversas ou para aumentar a eficiência produtiva, vem sendo utilizadas tecnologias e biotecnologias, entre elas o uso de microrganismos promotores de crescimento vegetal, que altamente já é amplamente utilizada em algumas culturas como a soja, onde através do processo de simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, que fixam nitrogênio na forma absorvíveis para a planta, tem substituído por completo a adubação nitrogenada (MASSON-BOIVIN & SACHS, 2018). O uso de bactérias e outros microrganismos mostram serem altamente benéficas ao desenvolvimento das plantas, seja por disponibilização de nutrientes, ou aumento do sistema radicular, como o caso das micorrizas, aumentando a capacidade da planta em absorver do solo nutrientes e água (DE BRUIJN, 2015).

O nitrogênio é um dos macronutrientes primários, o uso de adubos nitrogenados em especial quando mal manejado, resulta em alta volatilização e emissão de óxido nitroso um dos gases de efeito estufa, sendo um dos mais poluentes, o uso de bactérias fixadoras de nitrogênio além reduzir ou cessar o uso de adubo nitrogenado, fornecendo N_2 auxiliam na produção de fitormônios, controle de fitopatógenos e solubilização de nutrientes, como o fósforo e potássio (FLORENTINO et al., 2017; ANDRADE et al., 2019).

O semiárido nordestino tem como características adversa a agricultura, pouca pluviosidade e irregularidade na sua distribuição, sendo a falta de recursos hídricos um entrave em sua agricultura, no qual o uso de microrganismos que possam melhorar a capacidade de captar água no solo uma promissora alternativa a agricultura local (DE BRUIJN, 2015; MASSON-BOIVIN, SACHS, 2018).

A inoculação de promove a adaptação da planta sob condição de restrição hídrica e de nitrogênio, aumentando a quantidade de biomassa produzida devido à maior eficiência no uso da água e dos nutrientes do solo. Labra-Cardón, et al., (2012), Jha e Saraf, (2015), Ahemad e Kibret (2014), entre outros, evidenciam que uso de microrganismos são benéficos ao desenvolvimento vegetal.

Nesse contexto, o uso de microrganismos que potencialize a produção de sorgo para biomassa no semiárido brasileiro pode ser uma alternativa, reduzindo o uso de lenha proveniente da mata nativa, deixando mais sustentável atividade industrial na região poupando o uso da vegetação nativa, ajudando o Brasil a cumprir as metas do plano de agricultura de baixo carbono.

2 OBJETIVOS:

2.1 Objetivo geral:

Identificar microrganismos com potencial para promover o crescimento e o aumento da tolerância do sorgo biomassa à restrição hídrica e de nitrogênio em ambiente Semiárido

2.2 Objetivos específicos:

- Avaliar se a inoculação de diferentes estirpes de bactérias e leveduras alteram a produção de fitomassa seca aérea do sorgo biomassa sob deficiência hídrica e de nitrogênio.
- Avaliar se a inoculação de diferentes estirpes de bactérias e leveduras alteram características morfológicas do sorgo sob restrição hídrica e de nitrogênio.
- Avaliar se a inoculação de diferentes estirpes de bactérias e leveduras alteram a capacidade de extração de nutrientes do sorgo biomassa sob restrição hídrica e de nitrogênio.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Uso de microrganismos na agricultura

A atividade antrópica em especial na agricultura, vem impactando negativamente a disponibilidade de recursos naturais, causando problemas como baixa fertilidade nos solos e aumento da escassez hídrica, problemas cada vez mais acentuados em regiões áridas e semiáridas do mundo. Ao passar dos anos a humanidade vem tentando contornar estes problemas através de uso de novas tecnologias como plantio direto e uso de sistema de irrigação inteligentes. Mais recentemente o uso de microrganismos promotores de crescimento vegetal vem sendo adotado para melhoria do sistema de cultivo em diversas culturas (BARGAZ et al., 2018, POSSAMAI et al., 2022).

Os microrganismos promotores de crescimento vegetal desempenham um papel crucial na fertilidade do solo, nos quais os mesmos fixam biologicamente o nitrogênio e solubilizam o fósforo como aumenta a capacidade de absorção da planta, principalmente pelo aumento do tamanho do sistema radicular. Estes podem ser fungos micorrizicos, leveduras ou bactérias, as bactérias promotoras de crescimento vegetal possuem a sigla PGPR, que além da melhoria da fertilidade reduzem estresse abióticos por biofilme de proteção ou pela regulação e produção de hormônios vegetais (OLEŃSKA et al., 2020; BHAT et al., 2020).

Muitos são os microrganismos com a capacidade de melhorar a eficiência produtiva de plantas e nessa gama de microrganismo as bactérias podem contribuir de diversas formas. Cerca de 2 a 5% das bactérias presentes na rizosfera podem beneficiar positivamente o desenvolvimento da planta por um ou mais mecanismos, relatado com essas funções os gêneros *Agrobacterium*, *Arthrobacter*, *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Caulobacter*, *Chromobacterium*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Micrococcous*, *Pantoea*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* e *Serratia* (LABRA-CARDÓN, et al., 2012; JHA e SARAF, 2015; AHEMAD e KIBRET, 2014).

Essas bactérias exercem efeitos positivos no crescimento das plantas de maneira direta e indireta. O crescimento de plantas sob a influência de rizobactérias é um processo multigênico, específico para as bactérias e plantas participantes individualmente (ASAD et al., 2019). O uso para promoção do crescimento de plantas ainda está sendo estudado (BHARTI et al., 2016).

Diversos são os estipes de bactérias isoladas em teste para aumento da produtividade vegetal, por apresentarem capacidade diazotrófica e de solubilização de fosfatos, além da produção de fitohormônios como ácido indol acético (AIA), giberelina, citocinina e etileno. Além disso, as bactérias atuam em mecanismos de defesa da planta, através de sinais de microrganismos, produção de enzima e substâncias que promovem a antibiose (KAVAMURA, 2012).

O AIA promove o crescimento do sistema radicular aumentando o volume de solo explorado e, conseqüentemente, eleva a capacidade de absorção de água e nutrientes, deixando a planta mais tolerante a condições de baixa umidade e fertilidade do solo (CASSÁN, VANDERLEYDEN E SPAEPEN, 2014)

A associação de bactérias e fungos em raízes é um processo que ocorre naturalmente, em que a planta atrai microrganismos benéficos através de exsudados orgânicos o que possibilita o crescimento de diversas comunidades microbianas na rizosfera. Essa abundância e diversidade microbiana estão ativamente envolvidas no desenvolvimento vegetal, catabolizando a matéria orgânica, e atuando na mineralização de nutrientes, na fixação de nitrogênio, na proteção contra pragas e controle de patógenos (CARDOSO e ANDREOTE, 2016).

Na cultura do sorgo a inoculação do *Azospirillum* mostrou eficiente no aumento da espessura da parte aérea e no comprimento do sistema radicular, onde a inoculação por semente obteve melhor resultado (VENTURA et al., 2020). Trabalhos também demonstram que o aumento do sistema radicular melhora a captação de água e nutrientes no solo, promovendo o aumento da tolerância a estresses abióticos (DOS SANTOS et al., 2021).

A maioria dos nutrientes são absorvidos pela planta, é via fluxo de massa N, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe e Mn, o P, K e o Zn são absorvidos principalmente por difusão o Mn por interceptação radicular, a absorção de nutrientes nunca é feita por um único processo, mas o entendimento de qual é principal via de absorção, direciona o manejo mostrando o método mais eficiente de aplicação de adubo no solo, para todos nutrientes o aumento do sistema radicular resulta no aumento da capacidade de absorção de nutrientes, microrganismos que aumente a área radicular ou que estenda através de sua própria estrutura como os micélios de fungos micorrizos atuam fator de crescimento vegetal (PRADO, 2008; TAIZ, ZIEGER 2013) .

Além disso, outros mecanismos fornecidos por microrganismo podem aumentar absorção de nutrientes com as bactérias do gênero *Azospirillum* se destacam pela fixação biológica de nitrogênio, elas favorecem diretamente a produção de fitohormônios, principalmente as auxinas e ainda ajuda na solubilização de fosfatos (CORREIA FILHO et al., 2018).

Dentre os nutrientes, o fósforo (P) é um dos mais complexos na dinâmica do solo, sendo facilmente retido com oxi-hidroxidos de ferro e alumínio, comprometendo a fertilidade por não ficar em forma disponível para as plantas. O P, além de ser um nutriente para as plantas, é um composto constituinte de toda biota do solo e faz parte na constituição de membranas e ácidos nucleicos (ZHANG, 2022).

O ciclo do P no solo pode ser afetado por microrganismos devido os mesmos estarem envolvidos em uma gama de processos que envolvem sua transformação, sendo evidentes na transformação do P da forma inorgânica e orgânica através de solubilização e mineralização. Uma das questões até hoje mais enfrentada é a maximização da eficiência do manejo da adubação fosfatada visando o aumento do rendimento das culturas, no qual estudos mostram que uso de bactérias solubilizadoras de fosfato (PSB) são viáveis para a maior rendimento das culturas (CHAWNGTHU et al., 2020).

3.2 Caracterização dos microrganismos

3.2.1 *Agrobacterium tumefaciens*

Agrobacterium tumefaciens é uma α -proteobactéria que causa a galha da coroa em muitas espécies agrícolas e economicamente importantes, como as das famílias *Rosaceae* (rosa, maçã, cereja e pêra), *Vitaceae* (uva) e o gênero *Juglans* (nogueira) (KADO, 2014).

Além disso é uma bactéria gram-negativa que tem sido amplamente utilizada na agricultura como uma ferramenta de engenharia genética de plantas (MORAES, 2022). Ela é conhecida por sua capacidade natural de transferir e integrar DNA em células vegetais, o que a torna uma ferramenta valiosa na produção de plantas transgênicas (NONAKA et al., 2019).

Kumar et al. (2014) estudando a diversidade e potencial de rizobactérias promotoras de crescimento vegetal em regiões áridas e semiáridas associada ao milho, ressaltou que a prevalência da *Agrobacterium tumefaciens* em locais de baixa pluviosidade pode contribuir na formulação de produtos biofertilizantes, apontando como uma PGPR.

3.2.2 *Azospirillum*

O gênero *Azospirillum* é constituído por bactérias diazotróficas, aeróbicas, Gram-negativas, curvas, móveis, microaerofílicas e endofíticas facultativas (HUERGO et al., 2008).

Amplamente utilizada na agricultura, o mesmo foi descrito a espécie *Spirillum lipoferum* por Beijerinck, mas em 1978 foi proposto a reclassificação do gênero para *Azospirillum* devido a capacidade fixação de nitrogênio o azoto por isso a adição do prefixo “azo” (TARRAND et al., 1978).

As bactérias pertencentes a esse gênero são conhecidas por sua habilidade de fixar nitrogênio atmosférico, o que significa que elas são capazes de converter o nitrogênio gasoso do ar em formas assimiláveis pelas plantas. Esse processo de fixação de nitrogênio beneficia as plantas, fornecendo uma fonte adicional de nutrição nitrogenada, o que pode reduzir a dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos. Além disso, o *Azospirillum* também produz substâncias promotoras de crescimento, como hormônios vegetais e enzimas, que estimulam o crescimento e o desenvolvimento das plantas (FUENTES-RAMIREZ e CABALLERO-MELLADO, 2006; HUNGRIA, 2011).

Já se tem utilizado inoculantes comerciais contendo *Azospirillum*. Entretanto, embora já sejam bem conhecidas por sua atividade diazotrófica, ainda é observada uma variabilidade na eficácia desses inoculantes em condições de campo. Essa variação pode impactar o desempenho e os resultados obtidos com a tecnologia de inoculação, o que contribui para sua adoção como uma prática complementar de manejo, em vez de uma alternativa completa ao uso de insumos químicos na agricultura, têm sido comercializados como inoculante de plantas em vários países da América do Sul, incluindo Argentina, Brasil, Uruguai e Paraguai. (DROGUE, 2014; FERREIRA, 2022).

A cepa bacteriana *A. brasilense* Ab-V5, originalmente isolada de plantas de milho no Brasil, está registrada no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para a produção de inoculantes comerciais destinados ao milho, trigo e arroz no país. Essa cepa serviu como modelo para o desenvolvimento de um meio de cultura e foi utilizada nos ensaios de inoculação com milho. Atualmente, a linhagem encontra-se depositada na "Coleção de Culturas de Bactérias Diazotróficas e Promotoras de Crescimento Vegetal" da Embrapa Soja, localizada em Londrina, Paraná, Brasil (HUNGRIA et al., 2010).

3.2.3 *Bacillus* sp.

O grupo de microorganismos conhecido como *Bacillus cereus* é composto por bactérias Gram-positivas de baixo teor de GC, pertencentes ao filo Firmicutes. Essas bactérias são capazes de formar esporos e apresentam uma forma de bastonete. São classificadas como aeróbias e anaeróbias facultativas e estão intimamente relacionadas a pelo menos oito espécies:

B. anthracis, *B. cereus*, *B. thuringiensis*, *B. mycoides*, *B. pseudomycoides*, *B. weihenstephanensis*, *B. cytotoxicus* e *B. toyonensis* (LIU et al., 2015).

As bactérias pertencentes ao gênero *Bacillus* possuem uma característica distintiva, a capacidade de formar endósporos. Esses endósporos permitem que as bactérias se adaptem a condições abióticas extremas, tais como variações de temperatura, pH, radiação, dessecação, luz ultravioleta ou exposição a pesticidas. Essa capacidade de formação de endósporos confere uma vantagem adaptativa às bactérias do gênero *Bacillus*, permitindo sua sobrevivência em ambientes adversos (BAHADIR et al., 2018).

Este gênero vem sendo constantemente estudado, no qual além de serem localizados em locais de climas áridos e semiáridos, relatado zonas áridas na Índia e no semiárido nordestino, é considerado um gênero de rizobactérias promotora de crescimento vegetal (PGPR). Algumas bactérias deste gênero são consideradas um dos microrganismos solubilizadores de fósforo (MSP) e também é relatada que algumas destas servem como protetoras contra fitopatógenos, além de promover resistência ao estresse hídrico (TIWARI et al., 2017; GAUR et al., 2012; KAVAMURA et al., 2013)

Devido as suas características, há inoculantes com bactérias do gênero, contendo as estirpes *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *B. megaterium* (CNPMS B119), que são capazes de aumentar a eficiência do uso de P para as plantas, o que pode resultar no aumento da produtividade e, no futuro, na utilização de menores doses de fertilizantes fosfatados. Estas estirpes possuem propriedades distintas de promoção de crescimento, como a produção de AIA, sideróforos, exopolissacarídeos e formação de biofilme que estimulam o aumento da superfície radicular, especialmente de raízes mais finas. Além disso, já foi relatado que uso de inoculantes a base de *bacillus* promoveram aumento significativo da área foliar, comprimento da haste e biomassa seca sob baixa disponibilidade hídrica (KAVAMURA et al., 2013; OLIVEIRA-PAIVA et al., 2020; VELLOSO et al., 2020)

3.2.4 *Chryseobacterium* sp.

Bactérias do gênero *Chryseobacterium* são tipicamente bastonetes amarelos, não móveis, não formadores de esporos, com forma arredondada e paralela. Este gênero pertencente à família *Flavobacteriaceae* foi anteriormente considerado o gênero *Flavobacterium*. Entretanto, em 1994, o gênero foi distinguido do gênero *Flavobacterium*. Os habitats das espécies de vida livre ou parasitas de *Chryseobacterium* em frango, intestino de inseto, raiz de planta, solo e água (VANDAMME, 1994).

Apesar de ainda existir um amplo desconhecimento sobre as funções desempenhadas pelas comunidades bacterianas endofíticas, há diversas especulações a respeito do seu papel na promoção do crescimento das plantas (VELÁZQUEZ et al., 2013). Um exemplo é o *Chryseobacterium*, que foi relatado como capaz de aumentar a tolerância do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) ao estresse salino moderado (ESTÉVEZ et al., 2009). Essas descobertas indicam que certas bactérias endofíticas podem desempenhar um papel benéfico no desenvolvimento e na resistência das plantas a condições adversas (LEITE et al., 2017).

3.2.5 *Pelomonas* sp.

É um gênero de bactéria pouco descrito na literatura, o qual foi isolado pela primeira vez em feijão-caupi, também relatado em raízes de milho (*Zea mays*), onde foi identificado como bactérias diazotróficas endofíticas associadas ao milho (ROESCH et al., 2007).

As células são em formato de bastonetes Gram-negativos, móveis com um flagelo polar. As colônias são cinza, redondas e opacas, colônias antigas (cultivadas por mais de 2 semanas) são marrons em meio isento de nitrogênio. São capazes de fixar nitrogênio e mostrar crescimento autotrófico com hidrogênio, mas não fotoautotrófico (XIE e YOKOTA, 2005).

3.2.6 *Rhizobium* sp.

Rhizobium é um gênero de bactérias gram-negativas que pertence à família *Rhizobiaceae*. Essas bactérias são conhecidas por sua habilidade de formar uma simbiose benéfica com as plantas leguminosas. A relação simbiótica entre as plantas e as bactérias do gênero *Rhizobium* ocorre dentro dos nódulos radiculares das plantas, onde as bactérias fixam o nitrogênio atmosférico e fornecem nutrientes para a planta (BOYD e PETERS, 2013).

As bactérias do gênero *Rhizobium* são aeróbicas e têm a capacidade de converter o nitrogênio atmosférico em uma forma utilizável pelas plantas. Esse processo, chamado de fixação biológica de nitrogênio, é essencial para a nutrição das plantas leguminosas, pois elas possuem dificuldade em absorver o nitrogênio diretamente do solo. Em troca, as plantas fornecem aos *Rhizobium* compostos orgânicos e um ambiente adequado para o seu crescimento (NEVES e RUMJANEK, 1998).

A morfologia das bactérias do gênero *Rhizobium* pode variar, mas geralmente são bacilos gram-negativos com formato de bastonetes. Elas possuem flagelos que lhes conferem mobilidade, permitindo que se movam em direção às raízes das plantas. Além disso, possuem

uma parede celular composta por lipopolissacarídeos e proteínas, que desempenham um papel importante na interação com as plantas hospedeiras (LÓPEZ-ALCOCER, et al., 2017).

Além da sua importância na fixação de nitrogênio, as bactérias do gênero *Rhizobium* são utilizadas como inoculantes na agricultura, sendo aplicadas nas sementes ou nas raízes das plantas leguminosas para aumentar a produção das culturas. Além disso, essas bactérias também desempenham um papel fundamental na recuperação de solos degradados e na revegetação de áreas afetadas por atividades humanas (FERREIRA, 2007; VIEIRA, 2007).

3.2.7 *Pantoea*

(Adicionar meio de cultura de crescimento) O gênero *Pantoea* é um grupo diversificado de bactérias Gram-negativas de pigmentação amarela em forma de bastonete, em que alguns dos primeiros membros foram reconhecidos como patógenos de plantas causando galhas, murcha, podridão mole e necrose em uma variedade de plantas relevantes para a agricultura. Além disso, possui a capacidade de biorremediação e degradação de herbicidas e outros produtos tóxicos (WALTERSON & STAVRINIDES, 2015)

A mesma também é considerada uma bactéria promotora do crescimento vegetal (PGPB) que apresenta propriedades notáveis, como produção de sideróforos, auxinas (ácido indol acético-AIA, 56 mg mL⁻¹), desaminase ACC (1-aminociclopropano-1-carboxilato) e amilase (MEGÍAS et al., 2017).

3.2.8 *Herbaspirillum seropedicae*

Herbaspirillum spp. constituem de diazotrofos endofíticos obrigatórios que apresentam baixa sobrevivência no solo (BALDANI et al., 1997). A mesma é encontrada em caule, raiz e folhas de diversas plantas de importância econômica principalmente em gramíneas, mas podem ser encontrados em outras culturas. A mesma é considerada PGPR pela capacidade de aumento de produção pelo aumento do crescimento e acúmulo de N em plantas de arroz e milho (RONCATO-MACCARI et al., 2003; DOTTO et al., 2010)

3.2.9 *Paenibacillus* sp.

O gênero *Paenibacillus* é caracterizado por bactérias aeróbias ou anaeróbias facultativas em forma de bastonete, que formam endósporos Gram-positivos ou Gram-variáveis (SÁEZ-NIETO et al., 2017).

Os *Paenibacillus* são considerados promotores de crescimento de plantas, atuando de diversas formas, como o antagonismo contra pragas e patógenos, promoção da nutrição e crescimento do hospedeiro e estimulação das defesas da planta (DA SILVA et al., 2023).

3.2.10 *Meyerozyma guilliermondii*

M. guilliermondii é um microrganismo aeróbico típico que pode ser encontrado em diversos ambientes naturais como solo, plantas, água e ar, além de ser isolado de pacientes com imunodeficiência. A temperatura ótima de crescimento desta espécie é de 30 °C e a temperatura máxima que pode ser tolerada é de 42 °C. Assim como outras leveduras industriais, pode ser cultivada em meio de levedura padrão (YAN et al., 2021).

Considerada um microrganismo promotor de crescimento vegetal, é considerada uma solubilizadora de fosfato, além disso pode atuar como biocontrole por possuir atividades antifúngicas (NAKAYAN et al., 2013).

3.3 Uso do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) na agricultura.

O sorgo (*S. bicolor*) é uma cultura utilizada desde o início da agricultura e com o passar do tempo ganhou espaço devido sua versatilidade e rusticidade, sendo a mesma utilizada em diversos segmentos, desde para produção de grão à de biomassa (DOS SANTOS et al., 2015; HENRIQUES JR, MAURICIO F., 2013).

A cultura é utilizada em todas regiões do Brasil, em que, segundo o IBGE (2022), no ano de 2020 no Brasil foram plantados 77.965 mil hectares, sendo entorno de 880 mil hectares para produção de grãos, o restante foi destinado a outras finalidades como a produção de forragem. O cultivo do sorgo no Brasil atende diversas finalidades como grãos para granjas, produção de forragem e silagem para animais de grande e médio porte, produção de sacarose e de biomassa, sendo as duas últimas menos exploradas (MAGALHÃES et al., 2021, CONAB, 2018).

O sorgo apresenta características fisiológicas distintas, que lhe conferem vantagens significativas. Seu metabolismo C4 garante uma elevada taxa fotossintética, com uma faixa

ótima de temperatura de 16 a 38 °C, tornando-o adequado para o cultivo em todo o Brasil. Além disso, demonstra uma notável adaptabilidade ao estresse hídrico, visto que durante períodos de escassez de água, suas folhas murcham e enrolam, porém, conseguem se recuperar rapidamente quando o estresse é aliviado. Além dos aspectos fisiológicos, sua anatomia também contribui para sua tolerância, com a deposição de substâncias cerosas nas folhas, o que reduz a perda de água (MAGALHÃES et al., 2015). Essas características tornam o sorgo uma opção promissora para o enfrentamento de desafios agrícolas, especialmente em regiões com condições ambientais adversas.

O uso do sorgo vem como alternativa para substituição da cultura do milho, por ser mais tolerante a condições adversas, características presente da semente ao desenvolvimento da cultura em campo (LEITE et al., 2020). Toda via, mesmo com tais características, em regiões onde há uma severidade na restrição hídrica ocorre uma acentuada redução da produtividade, constatado na safra 2017/2018 no Centro Sul e no Vale do São Francisco com uma queda de 45% da produtividade esperada (CONAB, 2018), o que requer novas estratégias de manejo para o cultivo da mesma sobre determinados níveis de estresse ambiental.

3.4 Sorgo biomassa produção industrial

Como principal característica já explícita no nome, é sua alta capacidade de produção de biomassa, podendo ultrapassar a escala de 50 t ha⁻¹ de massa seca em um ciclo de entorno 6 meses, o tamanho do ciclo e o crescimento deste sorgo é atrelado a sua fotosensibilidade, onde o estágio vegetativo só cessa com fotoperíodo for menor que 12 horas e 20 minutos, assim o tamanho do ciclo mudará de acordo a época e local de plantio (PARRELHA et al., 2011).

As plantas de sorgo biomassa podem alcançar um porte de 5 a 6 metros de altura, no período de 5 a 6 meses, a depender do fotoperíodo. Estas plantas possuem colmos grossos e fibrosos, com resistência ao acamamento, contendo um alto teor de fibra (entre 22 a 28%) e o baixo teor de umidade (em torno de 50%), o que favorece a sua alta capacidade de fornecer energia, tendo seu valor acima de 4.000 Kcal/kg (EMBRAPA, 2014).

Sua capacidade de fornecer energia é comparável com a cana de açúcar, eucalipto e capim elefante. Seu material pode ser usado na combustão direta para a produção de energia térmica (vapor) e elétrica (cogeração); hidrólise química ou enzimática da fibra (celulose e hemicelulose) para obtenção de açúcares fermentáveis seguindo para produção de combustíveis

líquidos como o etanol de segunda geração; gaseificação para produção de gás de síntese (monóxido de carbono e hidrogênio) ou geração de biogás; e pirólise para produção de bio-óleo ou carvão (NAIK et al., 2017).

Diversos estudos estão sendo realizados com sorgo biomassa, onde demonstram a viabilidade do mesmo como fonte energética, onde estão sendo testados aptidão de algumas variedades para este fim, como também o desenvolvimento de novas, como a BRS 716 que foi registrada em 2014, apresentando potencial produtivo e energético, utilizada na combustão direta (MAY et al., 2013; MAY et al., 2015; OLIVEIRA-PAIVA et al., 2010).

Cabe destacar que a produção de sorgo biomassa, é importante principalmente na entressafra da cana-de-açúcar, para ser utilizada como matéria de combustão nas termoelétricas, podendo ser usado em outros locais como fornos, como indústria de cerâmica ou gesseira em substituição da lenha, além disso o sorgo biomassa é apto a mecanização, facilitando aos tratos culturais, da semeadura a colheita (BORGHI et al., 2020; PARRELHA et al., 2011).

A possível utilização do sorgo biomassa como matriz energética visa suprir uma parte da demanda de 579.048,75 estéreos (st), o que implica no uso de 3.860 hectares da vegetação local (caatinga) por ano, só para suprir o polo gesseiro, juntando-se ainda a demanda energética das fábricas de cerâmicas vermelhas, exercendo assim uma forte pressão na vegetação nativa (SECTMA, 2007).

Apesar de exercer pressão sobre a caatinga, a atividade se apresenta extremamente importante para a economia na região, onde só de indústrias cerâmicas são mais de 1500 empresas, somando-se ainda mais de 966 empresas que atuam no polo gesseiro e que faturam por ano cerca de R\$ 1,4 bilhão/ano (HENRIQUES JR, MAURICIO F., 2013; SINDUSGESSO, 2014).

Uma possível solução para mitigar a perda de produção do sorgo devido à severidade da escassez hídrica no semiárido brasileiro é a utilização de microrganismos. Essa abordagem visa aumentar a tolerância da cultura à falta de água e/ou melhorar sua capacidade de absorção de nutrientes no solo, apresentando-se como uma tecnologia promissora para aprimorar a eficiência do cultivo na região. Ao empregar esses microrganismos de forma adequada, é possível potencializar a resiliência do sorgo frente às adversidades climáticas, contribuindo para uma produção mais sustentável e adaptada às condições locais, é uma tecnologia possível para melhorar a eficiência de do uso da cultura na região.

Assim o uso de sorgo biomassa no Nordeste se torna uma alternativa para uso de lenha, marcantes na atividade industrial da região, principalmente no polo gesseiro do Araripe e das

indústria de cerâmicas vermelha espalhada em todo seu território (HENRIQUES JR, MAURICIO F., 2013; BRASIL, 2018).

3.5 Extração de nutrientes pelo sorgo

O sorgo é uma gramínea que possui diversas aptidões, como a produção de forragem, grãos, vassoura, sacarose e biomassa. Em conjunto, tem-se a versatilidade da mesma, como a adaptabilidade a condições adversas, tolerância a déficit hídrico e acidez do solo, além de conseguir produzir em locais de baixa fertilidade, pouca pluviosidade e em temperaturas altas (RODRIGUES FILHO et al., 2006). Apesar destas características, é uma cultura que responde bem adubação e para ela expressar todo seu potencial produtivo faz-se necessário o suprimento de toda sua exigência nutricional de forma adequada (RABELO et al., 2012).

Infelizmente não há um conhecimento aprofundado sobre o requerimento nutricional das variedades de sorgo biomassa. Entretanto, pode-se estabelecer um paralelo com sorgo forrageiro, para o dimensionamento da adubação para sorgo biomassa. Assim deve-se interpretar os níveis de fertilidade no ambiente através de análise de solo com à estimativa da produtividade esperada, onde através disso terá a base para estimar a quantidade de nutrientes extraídos pela planta (MAY et al., 2013b).

A extração de nutrientes e cultivares de graníferos e forrageiro, DKB 599 e BRS 610 respectivamente teve a ordem de extração macronutrientes de forma igual $K > N > Ca > P > Mg > S$ (BORGES et al., 2016; FRANCO2011), o mesmo não observado por Cavalcante et al., (2018), para o sorgo biomassa Palo Alto 2562 onde o magnésio foi mais extraído que o P e S, além da inversão da ordem destes dois últimos nutrientes, sendo a ordem $K > N > Ca > Mg > S > P$, os autores

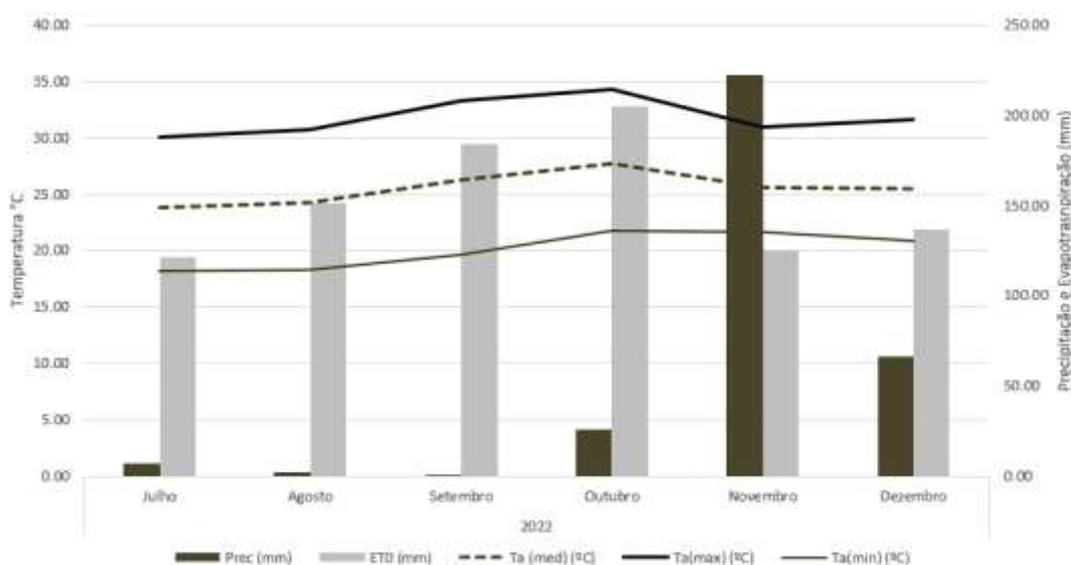
Além de boa resposta a adubação, o sorgo também responde bem a manejos, um exemplo disso é o sorgo granífero, onde a redução de espaço entre fileiras de plantio promove aumento da na produtividade, independente da população além de incremento significativo em cultivo irrigado, todavia esse aumento atinge um ponto máximo essas estratégias podem aumentar a extração de nutrientes do solo (ALBUQUERQUE et al., 2010).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Embrapa Semiárido (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), no distrito irrigado de Bebedouro (9°08' S, 40°8' W, 365,5 m de altitude), em Petrolina-PE, utilizando-se o híbrido de sorgo biomassa BRS 716, em Argissolo vermelho-amarelo eutrófico plúntico.

O clima é classificado como Bswb, de acordo com o sistema de classificação de Köppen, com uma temperatura média anual de 26.8 °C e a precipitação média anual de 360 mm. Observa-se na Figura 1 os dados meteorológicos da estação agrometeorológica do Campo Experimental do Bebedouro.

Figura 1 - Dados Agrometeorológicos da estação automática do Bebedouro (Petrolina - PE), temperatura (Ta), média (med), máxima (max) e mínima (min) em graus celsius (°C), precipitação (Prec) e evapotranspiração de referência (ETO) dados em milímetros (mm).



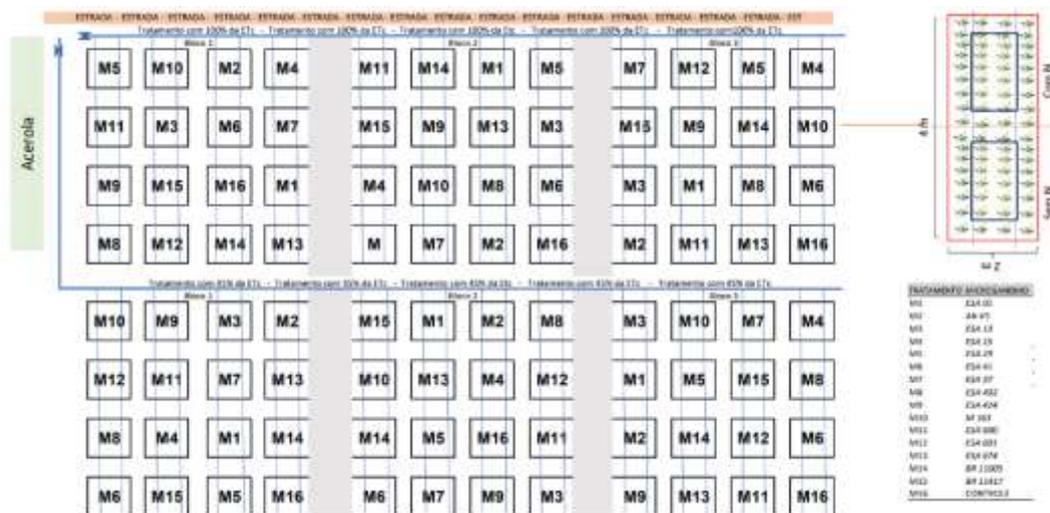
Os tratamentos foram provenientes de fatorial 2x16x2, dispostos em parcelas subdivididas, sendo as parcelas compostas por duas lâminas de irrigação (45 e 100% da evapotranspiração da cultura - ETc); as subparcelas por 15 inoculantes e um tratamento sem); e as subsubparcelas por dois níveis de adubação nitrogenada (20 e 140 kg ha⁻¹).

Em todos os tratamentos foram aplicados 20 kg ha⁻¹ de N em fundação. O restante da dose, nos tratamentos com 140 kg ha⁻¹ de N, foi aplicada em cobertura, dividida em duas aplicações aos 15 e 30 dias após a emergência. Os 15 inoculantes utilizados foram compostos por bactérias e fungos: *Agrobacterium tumefaciens* (estirpe M163), *Azospirillum baldaniorum* (BR 11005), *Azospirillum brasilense* (estirpes Ab-V5), *Bacillus* sp. (estirpes ESA 13, ESA 402,

ESA 600, ESA 674), *Chryseobacterium* sp. (estirpe ESA 29), *Pelomonas* sp. (estirpes ESA 424), *Rhizobium* sp. (estirpes ESA 15), *Pantoea* sp. (estirpe ESA 001), *Herbaspirillum seropedicae* (estirpe BR11417), *Paenibacillus* sp. (ESA 601), e duas cepas de leveduras da espécie *Meyerozyma* spp. (ESA 37, ESA 41).

As subparcelas experimentais foram constituídas de 4 linhas de cultivo com 4 m de comprimento. O espaçamento entre linhas foi de 0,5 m e entre plantas de 0,2 m resultando numa densidade de 100 mil plantas ha^{-1} (10 plantas por metro linear). As subsubparcelas foram compostas pela aplicação ou não da adubação nitrogenada de cobertura, representadas por 2 m da fileira de planta das subparcelas. Foram consideradas úteis as duas linhas centrais onde foram realizadas todas as avaliações (Figura 2).

Figura 2- Croqui da área experimental.



*A letra M com a numeração representa o microrganismo utilizado na subparcela, a relação está no canto direito inferior da figura, as subsubparcela está no canto direito superior, onde os primeiros 2 m corresponde a adubação nitrogenada em cobertura, os outros 2 m é sem a adubação nitrogenada de cobertura.

4.1 Preparo da área

Antes do preparo da área para plantio, foram retiradas amostras de solo para caracterização química, sendo retiradas amostras deformadas nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, cujos resultados estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização química do solo da área experimental.

	C.E	pH	C	MAT. ORG.	P	K	Na	Ca	Mg	Al	Al+H	SB	CTC	V	Cu	Fe	Mn	Zn
Amostra	mS cm ⁻¹	-	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³													
0-20	0.68	7.00	7.30	12.70	1.64	0.73	0.22	3.60	1.80	0.00	0.00	6.40	6.40	100	0.64	61.47	60.89	6.57
20-40	0.62	7.10	4.10	7.10	0.78	0.75	0.24	2.30	1.10	0.00	0.00	4.40	4.40	100	0.76	45.47	29.79	3.17

O preparo da área foi realizado por meio de aração, e com arado convencional, e gradagem, com grade de disco, sendo as linhas de plantio abertas com riscador. Em seguida, o sistema de irrigação localizada por gotejamento foi instalado, com o espaçamento entre gotejadores de 30 cm e vazão 1,8 L h⁻¹, com uma linha de gotejo para cada duas fileiras de planta.

A adubação de fundação foi realizada aplicando-se 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅, utilizando-se superfosfato simples e 20 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia. A recomendação foi realizada com base no sistema de produção da Embrapa (RODRIGUES, 2007).

4.2 Preparação de Inoculantes

As bactérias e leveduras utilizadas fazem parte da coleção de microrganismos do laboratório de Microbiologia do Solo da Embrapa Semiárido. As mesmas foram colocadas para crescimento em meio líquido DIGS e SDY para as bactérias e leveduras, respectivamente, em erlenmeyer contendo 250 mL de meio de cultura, preparados e autoclavados anteriormente. Utilizaram-se 2 erlenmeyers para cada microrganismo, permanecendo em mesa agitadora por 3 dias e no quarto dia foram preparados os inoculantes usando solução tampão Phosphate-buffered saline (PBS) a pH 7,4. Os inoculantes tiveram a concentração da população de microrganismos padronizada, por meio de densidade óptica, para tal foi utilizado o equipamento Multisan GO. Utilizou-se a menor densidade ótica como padrão para os demais, o ajuste feito pela adição de PBS.

O plantio foi no dia 17 de julho e o primeiro corte entre os dias 18 a 20 de outubro de 2022, sendo considerado como ponto de colheita o estágio de grão farináceo. O corte foi feito de forma manual com facões a 15 cm do solo, simulando a colheita mecanizada.

4.3 Condução do experimento

Os cálculos de demanda hídrica foram realizados por meio dos dados meteorológicos da estação agrometeorológica do Campo Experimental do Bebedouro, utilizando-se da soma da

evapotranspiração do dia da última irrigação ao dia anterior à irrigação. As lâminas utilizadas foram de 100% da ETc e de 45% da ETc e as irrigações foram realizadas 3 vezes na semana (segunda, quarta e sexta).

O monitoramento de pragas seguiu as recomendações do Manejo Integrado de Pragas (MIP). Sempre que necessário, foram realizadas pulverizações por meio de pulverizador de barra. Os agrotóxicos utilizados foram Premio, Klorplan e Lannate. As recomendações seguiram as normativas e recomendações do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Em todos os tratamentos foram aplicados 30 kg ha⁻¹ de Mg, 2 kg ha⁻¹ de Cu e Zn, e 1 kg ha⁻¹ de B. A adubação com Mg foi realizada via fertirrigação, em 4 aplicações aos 15; 22; 29 e 36 dias após emergência, utilizando-se o sulfato de magnésio. A adubação com micronutrientes foi realizada em uma única aplicação via foliar por meio de pulverizador de barra aos 22 dias após a emergência.

4.4 Avaliações

Para avaliação do teor de clorofila das folhas, foi utilizado o ClorofiLOG, medição feita de forma óptica por meio de 3 faixas de frequência de luz que consideram a presença de clorofila dos tipos A e B.

As avaliações biométricas das plantas nos diferentes tratamentos foram realizadas uma semana antes da colheita, aferindo-se a altura da planta, diâmetro do colmo (em dois sentidos), número de folhas, largura e comprimento da folha, número de perfilhos e contagem de cachos.

A colheita foi realizada em 1 m linear de plantas por parcela. Após o corte, as plantas foram levadas para secagem e pesagem para determinação da massa seca. Foi amostrada uma planta representativa para moagem e determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, Mn e B, conforme metodologia descrita em Da Silva et al., (2009). Calculou-se a extração de nutrientes multiplicando-se os teores de nutrientes pela biomassa produzida, sendo os resultados expressos em kg ha⁻¹ para os macronutrientes e g ha⁻¹ para os micronutrientes.

As análises de eficiências da adubação (EFA), eficiência de inoculação (EFI) sem adubação nitrogenada de cobertura e a eficiência de adubação e inoculação (EFAI) foram calculadas utilizando-se as equações 1 a 3, sendo uma adaptação a metodologia de Fischer et al. (1983) usados em relação a PMS e extração de N em kg ha⁻¹.

Eficiência da adubação na presença do microrganismo (EFA):

$$EFA = \frac{(MICcn - MICsn)}{MICsn} * 100 \quad (Equação 1)$$

Eficiência de inoculação (EFI):

$$EFI = \frac{(MICsn - CONTsn)}{CONTsn} * 100 \quad (Equação 2)$$

Eficiência da adubação e inoculação (EFAI):

$$EFAI = \frac{MICcn - CONTsn}{CONTsn} * 100 \quad (Equação 3)$$

Onde:

MIC: microrganismo; CONT: tratamento controle (sem a inoculação); sn: sem a adubação nitrogenada de cobertura; e cn: com adubação nitrogenada de cobertura

Os dados de crescimento e acúmulo de nutrientes foram submetidos à análise multivariada, por meio da análise de componentes principais (ACP) e à análise de variância pelo teste F ($P < 0,05$), sendo as médias comparadas pelo teste de Scott-knott por meio do programa estatístico RStudio.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação tripla entre os fatores lâmina de irrigação, microrganismos inoculados e a adubação nitrogenada na produtividade de fitomassa seca da parte aérea (PMS) de sorgo biomassa BRS 716 (Tabela 2).

Tabela 2 – Resumo da análise de variância, pelo quadrado médio para produção de massa seca da parte aérea (PMS).

Fonte de variação	GL	PMS
Bloco	2	226,91
Parcela - Lâmina (L)	1	7378,00*
Erro da parcela	2	26,58
CV 1 (%)		12,58
Subparcela - Microrganismo (M)	15	111,90*
Erro subparcela	30	9,13
CV 2 (%)		7,37
Subsubparcela -Adubação (A)	1	2205,26*
LxMxA	15	18,03*
LxM	15	81,90*
LxA	1	266,72*
MxA	15	41,58*
Erro da subsubparcela	92	5,15
CV 3(%)		5,54

GL, grau de liberdade; CV, coeficiente de variação; * significativo a 5% pelo teste de Tukey ou Scott Now.

Observando-se as médias referentes ao desdobramento da interação (Tabela 3), destaca-se que os efeitos da inoculação com microrganismos na produtividade do sorgo foram reduzidos pela restrição da lâmina de água de irrigação, em ambas as doses de N utilizadas.

Quando se utilizou 100% da ETc na irrigação do sorgo, apenas os microrganismos ESA 402, ESA 424 e ESA 674 foram indiferentes à adubação nitrogenada, tendo as demais estirpes apresentado uma redução da produtividade quando utilizou-se uma menor dose de N. Nessa condição, a presença dessas estirpes citadas permite a redução das doses de N, sem prejuízos à produtividade do sorgo.

Para as condições de cultivo com restrição hídrica (lâmina de 45% da ETc) a inoculação com os microrganismos ESA 15, ESA 29, ESA 37, RSA 402, ESA 424, M163, ESA 600, ESA 674, BR 11005, BR 11417 e o tratamento controle foram indiferentes à redução da dose de N aplicada, não acarretando em perdas de produtividade. Vale ressaltar que, o tratamento controle, sem inoculação, também não apresentou redução de produtividade. No entanto, apresentou redução de 20% na produtividade, índice maior que os outros tratamentos. Assim, é possível que a inoculação com essas estirpes também tenha proporcionado maior eficiência de uso de N. Para as demais estirpes (ESA 01, ESA 13, Ab-V5, ESA 41 e ESA 601), houve redução da produtividade quando se aplicou menor dose de N, nesse caso, pode-se afirmar que, nessas condições, seu uso não é recomendado, por trazer efeitos deletérios à produção.

Tabela 3 – Produtividade da massa seca da parte aérea ($t\ ha^{-1}$) do sorgo BRS 716, sobre a inoculação de microrganismos, o uso de lâminas de irrigação (100% e 45% da ETc) e de adubação (com - CN e sem adubação nitrogenada de cobertura - SN).

Tratamentos	Fitomassa Seca da Parte Aérea ($t\ ha^{-1}$)			
	100% da ETc		45% da ETc	
	CN	SN	CN	SN
ESA 01	51,23 Caa	36,70 Eba	39,43 Aaβ	30,00 Bbβ
Ab-V5	46,00 Daa	33,73 Eba	37,00 Aaβ	29,10 Bbβ
ESA 13	61,33 Aaa	42,47 Cba	44,00 Aaβ	35,33 Abβ
ESA 15	54,67 Baa	44,33 Cba	40,00 Aaβ	36,67 Aaβ
ESA 29	58,67 Aaa	48,83 Bba	37,00 Aaβ	36,83 Aaβ
ESA 41	56,10 Baa	43,33 Cba	38,33 Aaβ	32,23 Bbβ
ESA 37	59,00 Aaa	47,00 Bba	35,60 Baβ	34,33 Aaβ
ESA 402	42,47 Daa	46,90 Baa	40,33 Aaβ	36,33 Aaβ
ESA 424	44,33 Daa	40,40 Daa	34,10 Baβ	31,00 Baβ
M 163	48,00 Caa	43,90 Caa	39,40 Aaβ	37,17 Aaβ
ESA 600	53,33 Baa	46,47 Bba	29,67 Caβ	26,37 Caβ
ESA 601	53,57 Baa	37,63 Eba	32,23 Caβ	25,80 Cbβ
ESA 674	56,23 Baa	52,33 Aaa	33,80 Baβ	31,00 Baβ
BR 11005	49,53 Caa	37,87 Eba	35,63 Baβ	32,57 Baβ
BR 11417	49,33 Caa	41,45 Dbα	39,73 Aaβ	34,80 Aaβ
Controle	44,05 Daa	38,33 Eba	39,43 Baβ	31,50 Baβ
CV (%)	12.72	13.24	12.07	14.04

*A letra maiúscula demonstra a diferença estatística entre microrganismos e o tratamento controle, ou seja, entre as linhas, a letra minúscula corresponde à diferença da adubação entre as colunas (2 e 3)

e (4 e 5), as letras gregas representam a diferença das lâminas de irrigação entre colunas (2 e 4) e (3 e 5).

Vale destacar que todos os inoculantes apresentaram acréscimo na produção de massa seca em alguma forma de cultivo avaliada, apesar os microrganismos ESA 600 e o ESA 601 proporcionarem uma produção abaixo do tratamento controle para lâmina de 45% da ETc, mostrando terem efeito deletério ao sorgo em restrição hídrica.

Os resultados encontrados corroboram com a descrição que o sorgo BRS 716, por características próprias, apresenta alta PMS, podendo ultrapassar 50 t ha^{-1} , além de tolerância ao estresse hídrico (PARRELHA et al., 2011; EMBRAPA, 2014). O tratamento controle (sorgo BRS 716 sem inoculação) apresentou uma produção de $44,05 \text{ t ha}^{-1}$ na lâmina de 100% da ETc, com adubação de nitrogênio de cobertura e $38,33 \text{ t ha}^{-1}$ na mesma lâmina sem adubação nitrogenada. Na forma de cultivo com déficit hídrico, lâmina 45% da ETc, e com adubação de nitrogênio de cobertura, a PMS foi de $39,43 \text{ t ha}^{-1}$ e sem adubação $31,5 \text{ t ha}^{-1}$.

Nesta última forma de cultivo com restrição hídrica e de adubação nitrogenada o tratamento controle não se diferiu estatisticamente entre as adubações, apontando a lâmina o principal fator limitante à produção, a lâmina de 45% da ETc significa uma restrição de 65% da água fornecida, onde apesar de ser tolerante, o sorgo BRS 716 sofreu impacto na sua produtividade.

A redução da PMS das condições ideais de cultivo (adubação de N em cobertura e lâmina de irrigação de 100% da ETc) para a condição restrições (hídrica e de adubação nitrogenada) foi, em média de 28%, valor este menor que apresentado pela CONAB em 2018, que na safra de 2017/2018 onde houve uma acentuada restrição hídrica a produção estimada teve uma queda de 45%.

A estirpe ESA 001 só apresentou incremento na PMS quando submetida adubação completa independente da lâmina em relação a testemunha. Fernandes-Júnior et al. (2015), demonstraram em seu trabalho indícios de atividade diazotrófica e de solubilização de fosfato de cálcio da ESA 001 em laboratório em meio de cultura em vitro, podendo ser um dos possíveis métodos de ação da bactéria em detrimento ao aumento da PMS em de adubação nitrogenada completa, vista neste trabalho, além disso os autores contataram que a estirpe proporcionou crescimento em arroz em casa de vegetação, sendo este primeiro trabalho com a inoculação com ESA 01 em campo.

Apesar da Ab-V5 ser um microrganismo já em uso comercial, autorizada pelo MAPA (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento) para produção de inoculantes no Brasil

para algumas gramíneas como milho, trigo e arroz (MAPA, 2011), ser reconhecida como promotora de crescimento por ter capacidade diazotrófica (NASCIMENTO et al., 2021; CAVALCANTI, et al., 2020), e ainda ter demonstrado aumento da produtividade da massa seca no sorgo BRS Ponta negra (DA SILVA, et al., 2018), ela proporcionou benefício para o aumento PMS no sorgo BRS 716, apenas na condição de restrição hídrica com adubação completa.

O *Bacillus* sp. ESA 13, respondeu a adubação nitrogenada, sendo um dos microrganismos mais eficientes entre os testados em relação a PMS, onde independente da condição a ele imposta aumentou a PMS. Em sem imposição de nenhuma restrição, a mesma aumentou a PMS em 39% em relação a testemunha e em condições restrição hídrica e de adubação, aumentou em 12% da PMS, demonstrando ser um microrganismo benéfico ao crescimento do sorgo BRS 716 para este tipo de condução. Cabe destacar que a ESA 13 foi destacada por Fernandes-Júnior et al., (2015), por sua capacidade diazotrófica e por Santana et al., (2020) pela sua capacidade de melhorar a produção do sorgo em estresse hídrico.

O *Rhizobium* sp. ESA 15, sempre proporcionou aumento da PMS independente da condição, ele respondeu a adubação quando não houve restrição hídrica, o mesmo não observado quando submetido a ela, no qual a planta aumentou a PMS de 24,1 e 16,4 % para as condições sem e com restrição hídrica submetidos a restrição de adubação nitrogenada respectivamente.

Santana et al., (2020), também indica a ESA 15 conjunto a ESA 13 para inoculação de sorgo em déficit hídrico. De acordo com Fernandes-Júnior et al., (2015) o um dos possíveis mecanismos de promoção de crescimento da ESA 15 é a sua capacidade diazotrófica.

ESA 29 é um estipe de *Chryseobacterium* sp. proporcionou aumento da PMS em todas condições e foi um dos microrganismos que apresentou maior eficiência em aumentar a PMS (33,18%) em condições sem estresse hídrico e com adubação nitrogenada de cobertura e 18,61% em “condições de déficit hídrico e falta de adubação nitrogenada de cobertura”. Uma de suas características é a produção de auxina, sideróforo, biofilme, além de carregar o gene nifH, pertencente a bactérias diazotrófica, segundo Da Silva et al., (2023) e a ESA 29 tem capacidade de aumentar o crescimento vegetativo do feijão-caupi, sendo esta capacidade atenuada com a co-inoculação com a ESA 424 e *Bradyrhizobium pachyrhizi* BR 3262, até o momento não tinha sido testado em sorgo (DA SILVA et al., 2023).

Observa-se na Tabela 3 que a levedura *Meyerozyma* ESA 41, respondeu a adubação nitrogenada, aumentando a PMS em condições sem estresse hídrico e de N em 27,35%. Sua capacidade de promoção de crescimento foi demonstrada em plantas de milho por Targino et al., (2022), sendo uma das suas características destacadas pelos autores a produção de sideróforos.

A ESA 37, também pertencente ao gênero *Meyerozyma*, mostrou ser benéfica ao sorgo, em relação a resposta a adubação nitrogenada, seguiu o mesmo comportamento da testemunha, sendo responsiva apenas quando não aplicado a restrição hídrica, nesta condição com adubação completa aumentou 34% da PMS, em condições onde foi submetida as duas restrições (hídrica e de adubação nitrogenada) aumentou em 9% a PMS em relação a testemunha nas duas condições. Apresentando ser um microrganismo promotor de crescimento vegetal, um dos possíveis mecanismo de ação é a produção de auxina, demonstrada no estudo de Targino et al., (2022), na cultura do milho, conjunto a ESA 41 apenas foram estudadas em vitro, sendo estes o primeiro estudo em campo, como também na cultura do sorgo.

O *Bacillus sp.* ESA 402, não sofreu influência da adubação nitrogenada, aumentando a PMS em condições de restrição hídrica e de nitrogênio em 15,33%. A capacidade deste microrganismo em aumentar a produção de massa seca em sorgo sob déficit hídrico já foi descrita por Santana et al., (2020), comparando-o com a ESA 13 e ESA 15. O efeito benéfico da ESA 402 também foi comprovado na cultura do gergelim, em déficit hídrico, por Lima et al. (2023), em seu trabalho constaram que a ESA 402 aumentou o massa seca da raiz, significando que aumentou a superfície de contato do sistema radicular, isso pode promover um aumento da área de contato da raiz conseqüentemente aumenta sua capacidade de absorver água e nutrientes, além de ter demonstrado um aumento na eficiência de transpiração instantânea.

Segundo Duursma et al., (2013), a eficiência de transpiração instantânea é a proporção da taxa de fotossíntese para a transpiração é uma variável importante para as culturas, porque afeta a produção de massa seca por unidade de água da planta perdida para a atmosfera, o aumento da eficiência de transpiração instantânea conjunto o aumento da massa seca das raízes podem ser os mecanismos de aumento da produção de fitomassa proporcionada pela ESA 402 neste trabalho.

A estirpe ESA 424 é considerada um rizobactéria promotora de crescimento vegetal, Da Silva et al., (2023) destacam sua capacidade de produção de auxina, sideróforos e biofilme. Entretanto, o resultado do experimento apenas demonstrou benefício para PMS do sorgo BRS

716 em condição onde houve apenas restrição de adubação, também não foi observado resposta à adubação nitrogenada.

A estirpe de *Agrobacterium tumefaciens* M163 é uma promotora de crescimento vegetal onde aumentou a PMS em todas condições impostas, possui capacidade diazotrófica, sendo que esta pode ser a explicação pelo fato de a mesma ter sido indiferente à adubação nitrogenada neste experimento, aumentando em 9% a PMS em condição ideal e em 18% em situação de restrição. Da Silva (2018) demonstrou em seu estudo que ela é benéfica ao crescimento do milho e que produz compostos indólicos como o ácido indol acético (AIA).

O *Bacillus* spp. ESA 600 é uma bactéria comprovadamente benéfica para o crescimento vegetal, como evidenciado por Nascimento et al., (2021). Em seu trabalho os autores contestaram que o uso deste microrganismo aumenta o teor de nitrogênio na planta, apontado como fator para significativo aumento produção de milho, especialmente na ausência de adubação nitrogenada. No entanto, para sorgo BRS 716 nas condições desse trabalho, o *Bacillus* spp. ESA 600 demonstrou eficiência ao aumentar a matéria seca da parte aérea do sorgo em condições sem restrições hídrica, em condições de déficit hídrico resultou em efeitos prejudiciais para a produção, reduzindo a matéria seca em 16%, mostrando não ser eficiente para condição de estresse hídrico pra cultura do sorgo.

A ESA 601, pertencente a *Paenibacillus* sp., demonstrou um comportamento similar ao da ESA 600, resultando em um aumento de 21% na matéria seca das plantas em condições ideais. Os resultados obtidos por Nascimento et al., (2021) também constata o potencial desta bactéria como promotor de crescimento para o milho, conjunto a ESA 600 se destacaram com o aumento do teor de N na planta aérea o milho, em teste em meio de cultura em condição de laboratório, mostraram produção de sideróforos, auxinas com triptofano e solubilização de fosfato de cálcio, sendo estes possíveis mecanismo de promoção de crescimento vegetal. No entanto, sua interação com a planta mostrou-se prejudicial em situações de restrição hídrico e de nitrogênio, reduzindo a PMS em 18%.

O *Bacillus* spp. ESA 674 não apresentou resposta significativa com o uso da adubação nitrogenada, no entanto, demonstrou benefícios ao crescimento do sorgo BRS 716 em condições ideais de disponibilidade hídrica. Especificamente, observou-se um aumento de 27,7 e 36 % na matéria seca das plantas para este tipo de condição com adubação completa e com sua restrição respectivamente. A capacidade dessa bactéria de promover o crescimento vegetativo também foi comprovada por Bonfim et al., (2020), em seu estudo com milho

inoculado com o ESA 674. Os autores destacaram o aumento na produção de massa seca, bem como a capacidade da bactéria de acumular nutrientes, como fósforo (P), cobre (Cu) e ferro (Fe), além de promover uma maior altura das plantas.

A cepa *Azospirillum brasilense* Sp245T (=BR 11005T =IBPPM 219T) foi recentemente reclassificada por Ferreira et al., (2022) para *Azospirillum baldaniorum*. Nesse estudo, a cepa demonstrou benefícios para o sorgo BRS 716, resultando em um aumento de 12,44% na matéria seca da parte aérea em condições hídricas e de nitrogênio ideais. Além disso, Molina-Favero et al., (2008) observaram que a cepa Sp245 promoveu alterações na arquitetura das raízes de tomate, estimulando o desenvolvimento de raízes laterais e adventícias. Essa modificação na estrutura radicular pode ser um dos fatores que contribuem para o aumento na matéria seca das plantas.

A estirpe de *Herbaspirillum seropedicae* BR 11417 demonstrou ser uma bactéria promotora de crescimento para o sorgo, resultando em um aumento da PMS de 12% em condições ideais e 10,5% em situações de déficit hídrico e de nitrogênio. Esses resultados estão de acordo com Santana et al., (2020), que constataram um aumento na produção de massa seca do sorgo BRS Ponta Negra em condições de déficit hídrico. Um dos fatores que pode ter contribuído para esse incremento na produção seria o aumento do acúmulo de nitrogênio (N) na parte aérea do sorgo, influenciado pela inoculação com a cepa BR 11417 do *Herbaspirillum seropedicae*.

Vale destacar que as estirpes ESA 13, ESA 15, ESA 29, M 163 e BR11417 sempre aumentaram a PMS, quando comparada ao tratamento sem inoculação, independente da restrição submetida. Já as estirpes ESA 600 e ESA 674 proporcionaram aumento em condição sem restrição hídrica independente da adubação, enquanto a estirpe ESA 402 sempre proporcionou aumento da PMS em situação de alguma restrição seja hídrica, de adubação ou ambas.

Apesar da inoculação de algumas estirpes mostrarem aumento da PMS em restrição hídrica, essa restrição sempre ocasionou perdas significativas da PMS, resultado já esperado devido ao fato de a água ser necessária para todos processos metabólicos das plantas (TAIZ et al., 2017)

Os dados foram divididos em duas análises de componentes principais (ACP), a primeira analisa os dados de extração de nutrientes pela parte aérea do sorgo, enquanto a

segunda analisa os parâmetros biométricos, de produção e teores de clorofila foliar. Os dois conjuntos de dados foram submetidos à ACP com objetivo de reduzir o número de variáveis e verificar semelhanças e/ou diferenças de resposta do sorgo BRS aos fatores de estudo, facilitando sua interpretação.

As Tabelas 4 e 5 fornecem informações essenciais para a compreensão do gráfico biplot apresentado no Figura 1. A Tabela 4 apresenta os autovalores de cada variável e sua importância em cada componente, permitindo avaliar a contribuição relativa de cada variável na explicação da variabilidade total dos dados.

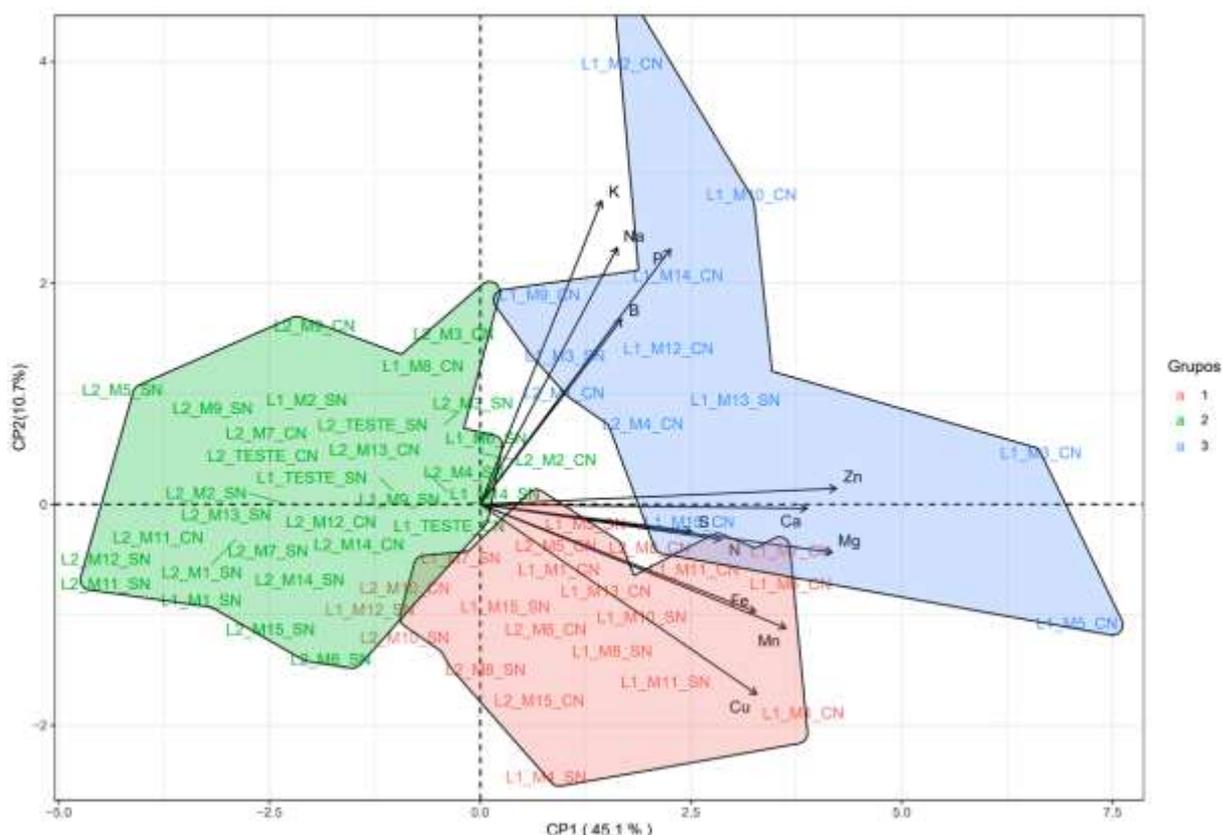
Tabela 4 - Autovalores obtidos para as variáveis analisadas na matriz de correlação nas 3 primeiras CPs e

Variáveis	CP 1	CP 2	CP 3
N	0.629*	-0.069	-0.119
P	0.496	0.507*	0.487
K	0.316	0.604*	-0.518
Ca	0.853*	-0.009	0.132
Mg	0.918*	-0.095	0.102
S	0.551*	-0.053	-0.231
B	0.369	0.367	0.555*
Cu	0.721*	-0.377	-0.021
Fe	0.719*	-0.214	-0.197
Mn	0.798*	-0.246	-0.101
Zn	0.929*	0.031	0.117
Na	0.358	0.512*	-0.442
Autovalor	5.417	1.284	1.167
Variância total (%)	45.138	10.704	9.724
Variância acumulada (%)	45.138	55.842	65.567

*Valores mais discriminatórios; CP1=componente principal 1; CP2=componente principal 2; CP3=componente principal 3.

A maioria das variáveis está correlacionada com a Componente Principal 1 (CP1), que explica 45,1% da variância total dos dados, sendo composta pela extração de N, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn. Na Componente Principal 2 (CP2), que explica 10,7% dos dados, é composta pelas variáveis K, P e Na, enquanto a Componente Principal 3 (CP3), que explica 9,72% das variáveis, é composta apenas pela extração de B.

Figura 1 – Projeção do gráfico biplot e autovalores das duas primeiras Componentes Principais para a extração de os nutrientes.



O Grupo 1, o vermelho, é composto 20 tratamentos, apresenta a segunda maior extração de nutrientes, com ressalva para o K, onde este foi o grupo que menos extrai este nutriente. A maioria dos tratamentos que compõem este grupo é sem restrição hídrica, com apenas algumas exceções, como ESA 01, ESA 15, os mesmo com adubação completa, mais o M163, que é uma *Agrobacterium*, apenas este está sob restrições hídrica e de nitrogênio, o M163, que é uma *Agrobacterium*.

A *Agrobacterium* M163, segundo Silva (2020), possui algumas características que podem ter levado ao bom desempenho é está no Grupo 1, mesmo sendo submetida a restrição hídrica e de adubação nitrogenada. Segundo o autor, esse microrganismo se destaca pela produção de compostos indólicos na presença de triptofano, um indicativo da produção de hormônios vegetais como o ácido indolacético (IAA) que estimulam o crescimento vegetal. Além disso, de acordo com o mesmo autor, a bactéria ainda produz compostos siderófos, que atuam na captura de ferro do solo.

O Grupo 2, cor verde, é composto em sua maioria, por tratamentos sob restrições hídrica e de nitrogênio, com exceção da testemunha e o ESA 402 que mesmo sem estarem sob nenhum

tipo de estresse se encontram no grupo 2, ou seja, apesar de estarem em ótimas condições em campo apresentou uma baixa extração de nutrientes. Este é o grupo com menor extração de nutrientes, o único nutriente que o grupo conseguiu extrair em níveis intermediários foi o K.

O Grupo 3, azul, apresenta, como principal característica, a maior extração dos macros e micronutrientes, é composto essencialmente por tratamentos sem nenhum tipo de restrição Ab-V5, M 163, BR 11417, ESA 01, ESA 13, ESA 29, ESA 424, ESA 601 e o BR11417, o grupo tem uma extração de K muito acima dos demais grupos, superior a 145 kg ha⁻¹. Vale ressaltar que neste grupo estão também os microrganismos ESA 01 e ESA 15 submetidos à restrição hídrica. Isso demonstra que esses microrganismos aumentam a eficiência de uso de nutrientes nessa condição de cultivo.

O ESA 01 é uma bactéria do gênero *Pantoea* sp. e o ESA 15 pertencente ao gênero *Rhizobium*, e, segundo Fernandes-Junior et al., (2015), ambas apresentam capacidade diazotrófica, verificadas em meio semissólido de BMGM. Além desta característica, a ESA 01 mostrou ser solubilizadora de fosfato *in vitro*, podendo ser os mecanismos de promoção de crescimento vegetal que levou estes tratamentos a estarem no grupo da maior extração de nutrientes do solo, mesmo em condições de restrição hídrica e de adubação nitrogenada.

Tabela 5 - Médias e desvio padrão das variáveis para cada grupo formado pela análise de agrupamento da figura 1.

Variável	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
	kg ha ⁻¹		
N	372,11±54,98	294,33±63,40	393,99±56,29
P	45,08±8,27	45,39±10,93	65,77±11,41
K	447,38±84,23	464,57±123,15	609,28±155,53
Ca	132,80±21,49	108,87±16,09	147,27±37,83
Mg	79,82±9,91	64,14±9,37	85,43±12,87
S	74,91±18,05	60,41±14,78	79,06±18,54
Fe	5,09±0,81	3,92±0,69	5,19±1,08
Mn	4,67±0,66	3,60±0,71	4,67±0,89
Zn	2,71±0,36	2,12±0,3	3,14±0,55
Na	4,56±0,96	4,13±1,14	5,16±1,44
g ha ⁻¹			
B	454,45±114,06	439,22±181,5	746,19±209,80
Cu	436,04±62,12	302,35±47,84	412,72±101,19

A ordem de extração de nutrientes se manteve para os 3 grupos (Tabela 5), K > N > Ca > Mg > S > P > Fe > Mn > Zn > B > Cu, todavia a quantidade mudou muito de grupo pra grupo, o grupo 3, onde obteve maior extração, conseguiu extrair 609,28; 393,99; 147,27; 85,43; 79,06;

65,77; 5,19; 4,67 e 3,14 kg ha⁻¹ e 746,19 e 412,72 g ha⁻¹ de K, N, Ca, Mg, S, P, Fe, Mn, B e Cu respectivamente, este grupo é caracterizado por ter maior extração e seus componentes não estiveram sob restrição, com exceção da BR 11417 onde o seus possíveis mecanismo de ação já foram pontuado anteriormente.

O grupo 2, verde, é caracterizado por conter todas as testemunhas, a grande maioria dos tratamentos com as duas restrições e alguns tratamentos sem restrição com baixo desempenho em extração de nutrientes, este grupo seguiu a mesma ordem de extração dos demais, extraindo 464,57; 294,33; 108,87; 64,14; 60,41; 45,39; 3,92; 3,60; 2,12 kg ha⁻¹ além de 439,22 e 302,35 ha⁻¹ de K, N, Ca, Mg, S, P, Fe, Mn, B e Cu respectivamente.

O grupo 1, vermelho, é o grupo de extração intermediária, os seus constituintes são bem variados indo de microrganismos com duas restrições à sem restrição alguma, a média de extração deste grupo foi de 447,38; 372,11; 132,80; 79,82; 74,91; 45,08; 5,09; 4,67 e 2,71 além de 454,45 e 436,04 de K, N, Ca, Mg, S, P, Fe, Mn, B e Cu respectivamente.

A diferença de extração entre grupos é notória e muito acentuada em relação ao K onde o grupo 3 teve extração de no mínimo 161 kg ha⁻¹ a mais, deste nutriente, um dos fatores que podem justificar é que o grupo é composto essencialmente por tratamento onde não há restrição hídrica e de abdução nitrogenada, e que as raras exceções lançaram de mecanismo de promoção de crescimento vegetal para contornar as restrições impostas.

O entendimento da necessidade nutricionais das plantas levam ao manejo de adubação eficiente, e diferentemente do que muitos acham, a qualidade rústica do sorgo não implica que a planta não requeira nutrientes ou não reaja à aplicação de fertilizantes. Similarmente a outras culturas anuais, o sorgo pode demandar elevadas quantidades de nutrientes, especialmente quando almeja-se alcançar altos níveis de produtividade (BORGES et al., 2016).

Além disso, as principais recomendações para adubação de sorgo no país estão desatualizadas e se aplicam a cultivares de sorgo granífero ou forrageiro que apresentam potencial de geração de biomassa inferior ao do sorgo biomassa, não existindo recomendações e nem conhecimento para identificar o período de maior acúmulo, potencial e ordem de extração de acúmulo de nutrientes para essa variedade sorgo (RIBEIRO et al., 1999; SOUZA, LOBATO 2004; CAVALCANTE, et al., 2018).

A ordem de acúmulo de macronutrientes deste trabalho K > N > Ca > Mg > S > P, vai de acordo a ordem encontrada por Cavalcante et al., (2018), os autores também trabalharam

com sorgo biomassa com o Palo Alto 2562, apesar de ter uma produção de massa seca menor que os observado para este experimento com BRS 716, os valores de acúmulo de K e N foram bem semelhantes 447 e 289 kg ha⁻¹ respectivamente, em relação aos micronutrientes a ordem foi quase idêntica a mudando apenas a posição do Mn com Zn, onde em seu trabalho a ordem foi Fe > Zn > Mn > Cu neste trabalho a ordem foi Fe > Mn > Zn > B > Cu.

Em outras cultivares de sorgo com outras aptidões a ordem decrescente de acúmulo de macronutrientes seguiram semelhante à deste trabalho, como a encontrada por Borges et al. (2016), para o sorgo granífero na safrinha (DKB 599) e de Franco (2011) para sorgo forrageiro BRS 610, onde a ordem foi K > N > Ca > P > Mg > S, a importância do P foi mais acentuada no trabalho deste autores, que pode ter como uma explicação aptidão das cultivares, onde a produção de grãos demandar mais P que as outras partes da planta e o teor de proteínas do sorgo forrageiro também demanda de uma quantidade maior de P, características distintas do sorgo biomassa, onde a produção é focada na produção de fibras.

As Tabelas 6 e 7 fornecem informações sobre análise de componentes principais (ACP) apresentadas no Figura 2.

Tabela 6 - Coeficientes de correlação entre cada componente principal e as variáveis analisadas no Figura 2

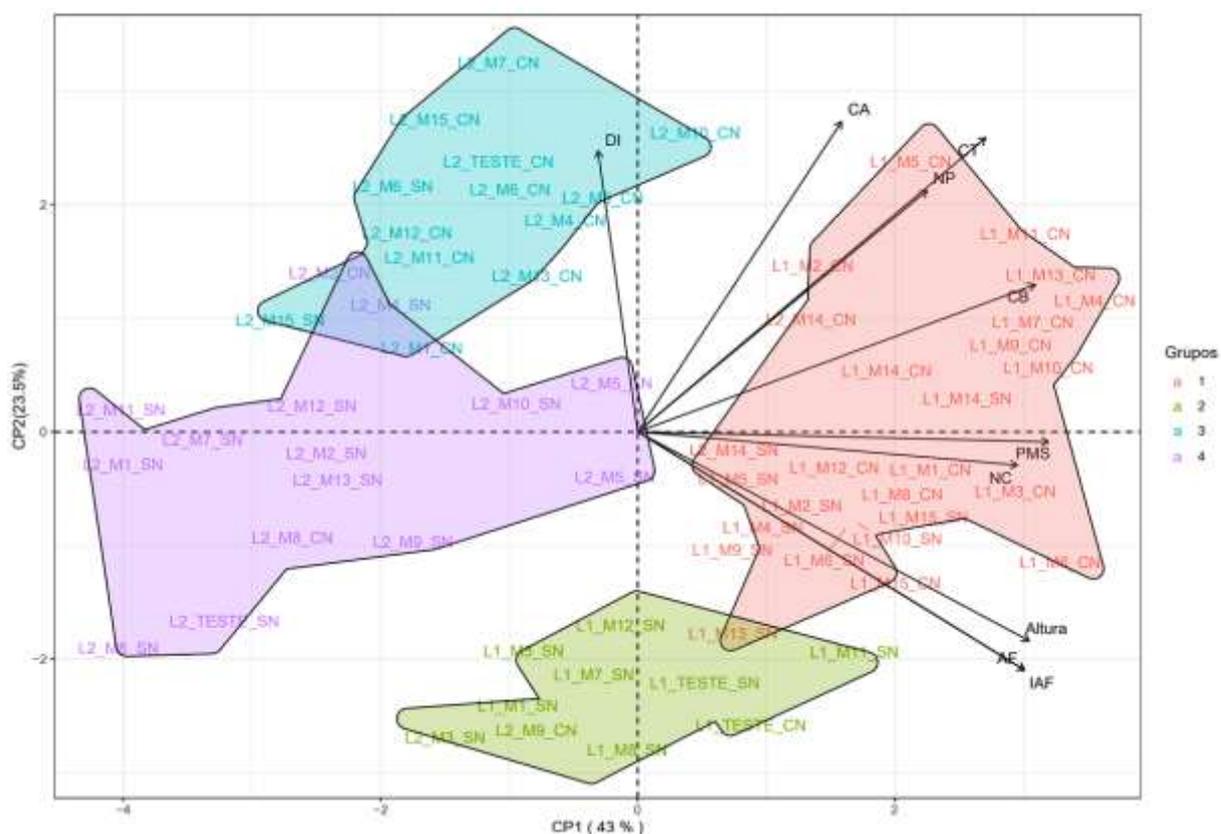
Variável	CP1	CP2
NC	-0.728*	-0.072
Altura	-0.750*	-0.453
NP	-0.554*	0.523
DI	0.076	0.608*
AF	-0.741*	-0.516
IAF	-0.741*	-0.516
CA	-0.391	0.672*
CB	-0.762*	0.319
CT	-0.666*	0.637
PMS	-0.787*	-0.022
Autovalor	4.300	2.346
Variância total (%)	42.996	23.462
Variância acumulada (%)	42.996	66.458

*Valores mais discriminatórios; CP1=componente principal 1; CP2=componente principal 2;

A Componente Principal 1 (CP1), que explica 42.99% da variância total dos dados, é composta pela maioria das variáveis biométricas, enquanto a Componente Principal 2 (CP2), que explica apenas 22,46% da variância dos dados, está relacionada com as variáveis diâmetro

do colmo e clorofila. As duas componentes juntas explicam apenas 66,45% da variância total dos dados.

Figura 2 - Análise Projeção do gráfico biplot e autovalores das duas primeiras Componentes Principais das variáveis biométricas, teor de clorofila e produção de massa seca (PMS)



*PMS, produção de fitomassa seca da parte área; NC, número de cachos; NP, número de perfilhos; DI, diâmetro do caule, AF, área foliar; IAF, índice de área foliar; CA, clorofila A; CB, clorofila B; CT, clorofila total.

Para as variáveis biométricas foi possível separar os tratamentos em 4 grupos distintos. O grupo 1 de cor vermelha, é formado de forma geral pelos tratamentos em condições sem restrição hídrica e com a adubação nitrogenada de cobertura. Apresenta, como características principais, maiores PMS, NC e CB, destacando-se neste grupo a bactéria BR 11417, que mesmo em restrição hídrica, independente da dose de N aplicada, conseguiu integrar o grupo onde há maior produção. A bactéria pertence ao gênero *Herbaspirillum* e destaca-se, segundo Santana et al., (2020), por ser uma biotecnologia para promoção da tolerância a seca para sorgo, onde verificaram que, no sorgo BRS Ponta Negra inoculado com esta estirpe, maiores taxas de

fotossíntese liquidam, de condutância estomática e de acúmulo de N na parte aérea, possíveis responsáveis pelo desempenho da BR 11417 neste estudo.

O grupo 2 e 3, verde e azul respectivamente, apresentam uma PMS e NC intermediárias, sendo que estes grupos se espelham em relação ao DI e altura. O grupo 2 compreende plantas com menor diâmetro de caule, maior altura, área foliar e índice de área foliar, enquanto o grupo 3 plantas com maior diâmetro, menor altura, área foliar e índice de área foliar.

O grupo 4, da cor lilás, representa os tratamentos que apresentaram menores PMS e NC, espelhando o grupo 1. No entanto, apresentam diâmetro similar, altura, área foliar índice de área foliar, clorofila B menor, em grande maioria dos tratamentos desse grupo estão sob condições de restrição hídrica, onde os inoculantes não conseguiram incrementar a PMS.

Tabela 7 -Análise de variância multivariada, médias e desvio padrão das variáveis para cada grupo formado pela análise de agrupamento do Figura 2.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
NC	3.49±0.81	3.22±0.83	2.89±0.89	2.76±0.91
Altura	3.11±0.212	3.15±0.18	2.6±0.28	2.63±0.24
NP	2.58±0.67	2.01±0.57	2.53±0.6	2.05±0.68
DI	19.2±2.09	18.23±1.83	20.69±2.15	19.18±2.13
AF	35.11±7.42	34.53±6.71	22.51±7.74	25.32±9.85
IAF	3.51±0.74	3.45±0.67	2.25±0.77	2.53±0.98
CA	44.75±4.88	37.9±4.26	44.96±4.78	41.1±4.64
CB	21.01±4.41	16.3±5.25	18.85±5.2	14.78±3.89
CT	65.76±6.79	54.2±7.76	63.82±8.27	55.88±6.63
FCI	0.36±0.1	0.41±0.12	0.41±0.1	0.47±0.1
PMS	47.5±8.76	41.71±5.55	36.92±4.84	34.86±6.43

NC, número de cachos; NP, número de perfilhos; DI, diâmetro; AF, área foliar; IAF, índice de área foliar; CA, clorofila A, CB, clorofila B; CT, clorofila total; FCI, índice falker de clorofila; PMS, produção de massa seca da parte aérea.

A tabela 8, apresenta os dados de eficiência de inoculação (EFI), que retrata se a inoculação com microrganismos foi benéfica ou não ao sorgo, já a eficiência da adubação (EFA) mostra o quanto o tratamento em questão, seja ele com ou sem a inoculação, melhorou a PMS ou a extração de N quando aplicado uma dose completa de adubo nitrogenado, a EFAI é quando se engloba a inoculação com adubação completa, mostra se foi benéfico adubar e inocular ao mesmo tempo.

Tabela 8 - Eficiência na adubação (EFA), e eficiência na adubação da adubação nitrogenada de cobertura com a inoculação (EFAI) dado em percentagem (%) sobre o incremento da PMS.

	Parcela com 100% da ETc						Parcela com 45% da ETc					
	PMS			Extração de N			PMS			Extração de N		
	EFI	EFAI	EFA	EFI	EFAI	EFA	EFI	EFAI	EFA	EFI	EFAI	EFA
ESA 01	-4.25	33.66	39.59	3.34	35.60	31.22	-4.76	25.17	31.43	-7.54	22.99	33.01
Ab-V5	-12.00	20.01	36.38	6.23	10.34	3.87	-7.62	17.46	27.15	2.20	-1.88	-4.00
ESA 13	10.80	60.01	44.41	8.32	32.76	22.56	12.16	39.68	24.54	-0.87	3.21	4.12
ESA 15	15.65	42.63	23.33	42.26	25.95	-11.46	16.41	26.98	9.08	42.40	37.66	-3.33
ESA 29	27.39	53.07	20.15	19.69	45.15	21.28	16.92	17.46	0.46	-32.44	20.45	78.28
ESA 41	13.04	46.36	29.47	-37.25	12.32	79.00	2.32	21.68	18.93	-14.79	29.71	52.23
ESA 37	22.62	53.93	25.53	-3.96	9.97	14.51	8.98	13.02	3.70	18.53	5.47	-11.02
ESA 402	22.36	10.80	-9.45	64.25	29.48	-21.17	15.33	28.03	11.01	29.30	42.00	9.82
ESA 424	5.40	15.65	9.73	-7.23	28.09	38.08	-1.59	8.25	10.00	-21.42	1.48	29.14
M 163	14.53	25.23	9.34	27.32	42.13	11.63	18.00	25.08	6.00	26.96	27.16	0.16
ESA 600	21.24	39.13	14.76	1.47	21.26	19.49	-16.29	-5.81	12.51	-18.79	-2.28	20.33
ESA 601	-1.83	39.76	42.36	7.89	8.84	0.88	-18.10	2.32	24.92	-15.37	-20.79	-6.41
ESA 674	36.52	46.70	7.45	50.95	38.63	-8.16	-1.59	7.30	9.03	-27.87	-15.24	17.51
BR 11005	-1.20	29.22	30.79	12.05	55.98	39.21	3.40	13.11	9.40	-10.13	10.99	23.50
BR 11417	8.14	28.70	19.01	-13.51	-0.05	15.56	10.48	26.13	14.17	-3.59	73.69	80.17
EFAControle*			14.92			15.17			25.17			46.70

*Eficiência da adubação nitrogenada na ausência de inoculação

O aumento da dose de N na presença das estirpes ESA 1, Ab-V5, ESA 13, ESA 601 e BR 11005 proporcionou acréscimos acima de 30% na produção de PMS, quando se utilizou a lâmina de irrigação equivalente a 100% da ETc, enquanto o tratamento controle, sem inoculação, proporcionou EFA de, aproximadamente, 15%. Isso demonstra que, na presença de inoculação, a cultura do sorgo teve maior benefício do aumento da dose da adubação nitrogenada.

Estes resultados corroboram com estudos que apontam os gêneros *Pantoea* (ESA 01), *Bacillus* (ESA 13), *Paenibacillus* (ESA 601) e *Azospirillum* (BR 110005) como promotores de crescimento vegetal (DOS SANTOS FERREIRA et al., 2020; FERNANDES-JÚNIOR et al., 2015). Destes, apenas para o *Bacillus* foi testado em sorgo (SANTANA et al., 2020), com efeitos benéfico no crescimento desta cultura e emvariáveis fisiológicas como condução estomática e fotossíntese líquida, em restrição hídrica comparado ao tratamento sem restrição. Os demais microrganismos citados não foram testados em sorgo, mas ESA 01, do gênero *Pantoea*, mostrou ter capacidade diazotrófica e benéfica a cultura do arroz (FERNDES-JUNIOR et al., 2015) a BR 11005, *Azospirillum*, modificou a estrutura das raízes em tomateiro (FERREIRA et al., 2022). Apesar destes relatos não serem na cultura do sorgo, servem como

apontamento do possível método de ação destes com o sorgo (SANTANA et al., 2020; FAVERO et al., 2008)

Nos tratamentos com restrição hídrica, ou seja, quando a lâmina de irrigação aplicada equivalia a 45% da ETc, a maioria os microrganismos promotores de crescimento apresentaram baixa EFA, menores que a do tratamento controle, sem inoculação. Apenas as estirpes ESA 01, Ab-V5, ESA 13 e ESA 601 proporcionaram incrementos de produção de fitomassa seca próximos ao obtido no controle. Isso indica que, a disponibilidade de água foi essencial para a eficiência do aproveitamento desse nutriente e também para o desempenho dos microrganismos. A restrição de água pode ocasionar perdas de N por volatilização, devido a quantidade de água não suficiente para levar o nutriente ao sistema radicular para ser absorvido, sendo perdido para atmosfera, evento intensificando pelas altas temperaturas, que aceleram o processo de volatilização (MINELLA, 2015).

Vale salientar que as estirpes citadas, provavelmente, apresentam maior tolerância à condição seca, pois apesar de não proporcionar acréscimo na eficiência, também não a reduziram, quando comparadas ao controle sem inoculação.

EFAIs maiores que 50% para o acúmulo de fitomassa aérea (PMS) foram observadas apenas na lâmina de 100% da ETc na presença das estirpes ESA 13, ESA 29 e ESA 37. Além do bom desempenho na condição sem restrição hídrica (100 % da ETc) da ESA 13, essa estirpe também se destaca por promover maior EFAI, cerca de 40% de incremento da PMS, na condição de restrição hídrica (45% da ETc) em relação ao controle sem adubação e sem inoculação, sendo a única que conseguiu promover um incremento acima de 30%. Ainda relação à EFAI na lâmina de 45%, as estirpes ESA 01, ESA 15, ESA 41, ESA 402 e BR 11417 apresentaram um incremento acima de 20% na PMS. No entanto, a ESA 600 teve um desempenho negativo nessa lâmina, mostrando apenas uma baixa eficiência na EFA, com um aumento de apenas 12%.

Os microrganismos com EFAI acima de 50%, até o desenvolvimento do presente trabalho, não tinham sido testados em sorgo. No entanto, vale destacar que a *Chryseobacterium* (ESA 29) e a levedura *Meyerozyma* (ESA 37) apresentam mecanismos de promoção de crescimento semelhantes, como produção de auxina e de sideróforo (DA SILVA et al., 2023; TARGINO et al., 2022), já o *Bacillus* (ESA 13) é apontado como sendo a capacidade diazotrófica (FERNADEZ-JUNIOR et al., 2015) seu principal mecanismo de promoção de crescimento.

Em relação aos dados de EFA no acúmulo de N pelas plantas de sorgo, sem restrição hídrica, observa-se três grupos de microrganismos com diferentes desempenhos. O primeiro com EFAs que promoveram incrementos maiores que 30% em relação à testemunha inoculada, mas que não recebeu adubação. Estão nesse grupo as estirpes ESA 01, 424 e 41 e o BR 11005, sendo que a ESA 41 se destacou dos demais por apresentar uma EFA de 79%

Os outros dois grupos são compostos pelos microrganismos que apresentaram EFAs semelhantes ou menores que obtido pelo tratamento controle absoluto. Composto por Ab-V5, o ESA 15 e 402, 601 e 074, cuja interação não foi benéfica para a cultura. Cada microrganismo apresenta métodos de interação complexo e via de atuação diversa. Podemos destacar o Ab-V5, que apesar de ser um microrganismo de ação diazotrófica, já registrada para o milho e outras gramíneas, não mostrou incremento na PMS do sorgo BR 716 (Tabela 3) (HUNGRIA et al., 2010).

Quando se utilizou uma lâmina de irrigação mais restritiva, o tratamento controle, sem adubação e sem inoculação, apresentou um bom desempenho, medido pelo EFA, alcançando 46,70% de aumento no acúmulo de N, na presença de adubação. Assim, os microrganismos podem ser divididos em dois grupos. No primeiro, os microrganismos que apresentaram incremento no acúmulo de N igual ou maior que o tratamento controle, sendo composto por ESA 41 e 29 e BR 11417, sendo que estas duas últimas estirpes citadas se destacam por apresentarem EFAs de 78,28 e 80,17%, respectivamente. Provavelmente, são estirpes mais adaptados aos ambientes com condições hídricas restritivas e que não são afetados negativamente pela aplicação de adubos nitrogenados em doses baixas.

O segundo grupo é composto por Ab-V5, ESA 13, 15, 37, 402 e 601, além do M 163, que se destacam pelas baixas eficiências, até mesmo menores que a testemunha sem adubação, mas inoculadas, e os ESA 01, 674, 11, 41 e o M 005. No entanto, vale salientar que, este último grupo de estirpes citadas, apresentou EFA semelhante ao tratamento controle.

Quando se trata apenas de eficiência da inoculação (EFI), observa-se os dados da EFI com adubação nitrogenada em menor dose e aplicada apenas na fundação, pode-se ser dividida em 3 Grupos (I, II e III). O Grupo I corresponde aos tratamentos onde a EFI foi negativa, mostrando que a inoculação com o microrganismo sem a adubação completa de N, resultou em um efeito deletério, seja para PMS ou para extração de N. O Grupo II são microrganismos que tiveram um efeito benéfico para o sorgo, com eficiência acima de 0, mas que a eficiência foi menor que a do tratamento controle. Isso demonstra que apesar da inoculação ter sido benéfica,

a adubação nitrogenada completa mostra-se mais eficiente em termos de produção de fitomassa ou extração de N. O Grupo II é o grupo onde a eficiência é positiva e acima da testemunha adubada, mostrando ser mais eficiente que adubação nitrogenada completa.

A relação de microrganismo com a planta é multigênica e complexa, mudando conforme as condições ambientais, em especial a disponibilidade hídrica (LABRA-CARDÓN, et al., 2012; JHA e SARAF, 2015; AHEMAD e KIBRET, 2014), neste sentido, pode se observar a mudança da EFI quando se utilizou lâmina de irrigação com 100% da ETc e com 45% da ETc.

Quando se observa a PMS, a EFI, na lâmina de 100%, apresentou a seguinte distribuição, Grupo I (ESA 1, Ab-V5, ESA 601, BR 11005), sendo que este mostrou efeitos deletérios na PMS nesta condição; o Grupo II (ESA 13, ESA 41, BR 11417, M 163), que apresentou efeito positivo da inoculação, mas não sendo mais eficiente que a testemunha adubada; e o Grupo III, onde a EFI foi maior que a testemunha adubada, ou seja, a inoculação com estes microrganismos promove uma produção maior que uma adubação nitrogenada completa (ESA 15, ESA 29, ESA 37, ESA 402, ESA 600, ESA 674).

A EFI foi alterada em relação a condição hídrica do solo, e conseqüentemente, os grupos formados foram alterados. O Grupo I, na condição de restrição hídrica, passou ser constituído por ESA 01, Ab-V5, ESA 424, ESA 600, ESA 601, ESA 674, enquanto o Grupo II é constituído pelos demais microrganismos (ESA 13, ESA 15, ESA 29, ESA 41, ESA37, ESA 402, M 163, BR 11005, BR 11417).

Quando se observa a EFI para extração de nitrogênio pela planta mantém a mesma disposição dos grupos. Para os tratamentos sem restrição hídrica (lâmina de 100% da ETc) destacam-se o Grupo I (ESA 41, ESA 37, ESA 424, ESA 601, BR 11417), o Grupo II (ESA 01, Ab-V5, ESA 13, ESA 600, ESA601, BR 11005) e o Grupo III (ESA 15, ESA 29, ESA 402, M 163, ESA 674). Nesste último, se destacam a ESA 15, ESA 402 e ESA 674, todos com uma EFI acima de 40%.

Como pode observar na Tabela 8 e 3, a restrição de água muda totalmente o comportamento produtivo da planta seja pela PMS ou extração de N, e o efeito da inoculação seja positivo ou não segue uma mudança em relação a disponibilidade de água.

Nos tratamentos com restrição hídrica (lâmina de 45% da ETc) semelhante ao comportamento dos grupos da EFI para PMS, foi possível observar dois grupos: o grupo I (ESA 01, ESA 13, ESA29, ESA 41, ESA 424, ESA 600, ESA 601, ESA 674, BR 11005, BR 11417) e o Grupo II, composto pelos demais microrganismos (Ab-V5, ESA 15, ESA 37, ESA 402, M 163), significando que adubação teve um impacto maior em extração de N na restrição hídrica.

Quanto à EFAI, nas condições máximas de umidade, destacam-se os ESA 01, 13 29, M 163 e BR 11005, que apresentaram incrementos maiores que 30% para o acúmulo de N quando comparados com a testemunha absoluta. O BR 11005 e o ESA 29 destacaram-se com EFAIs de 55,98 e 45,15%. Nessas condições, algumas estirpes apresentaram. Ressalta-se que, nestas condições, o BR 11417 apresentou o pior desempenho.

O desempenho do BR 11417 e do BR11005 é o oposto nas condições de déficit hídrico, reiterando a adaptação dos mesmos às condições diferenciadas de umidade no solo. Ainda em relação a EFAI, as estirpes que apresentaram os piores desempenhos foram os ESA 600, 601 e 674, além do Ab-V5.

6 CONCLUSÕES

Todas as estirpes utilizados mostraram-se benéficas ao cultivo do sorgo BRS 716 em, pelo menos, uma condição de cultivo adotada neste trabalho. As estirpes ESA 13, ESA 15, ESA 29, M 163 e a BR 11417, independentemente do tipo de restrição imposta, proporcionaram aumento da produção de fitomassa na parte área do sorgo, como também uma maior extração de nutrientes. A estirpe ESA 402 mostrou-se vantajosa para inoculação do sorgo, apenas em condição de restrição, seja de água ou de N.

Em relação a morfologia das plantas, o comportamento seguiu um padrão, em condições sem restrição, as plantas apresentaram maior altura, maior número de cachos, de perfilhos e uma área foliar maior conjunto maior teor de clorofila totais, além de uma PMS maior, mas a ESA 29 mesmo em restrição hídrica e de adubação nitrogenada apresentou média semelhante destas características, aos demais microrganismos e tratamento controle e em condição sem nenhuma restrição.

Em geral a ordem de acúmulo de nutrientes verificado neste trabalho seguiu a seguinte ordem $K > N > Ca > Mg > S > P > Fe > Mn > Zn > Cu > B$ as quantidades de cada nutriente, as quantidades variaram de acordo com cada microrganismo e restrição imposta, mas a ordem de importância em extração seguiu ordem á descrita.

A eficiência de inoculação (EFI), foi sempre positiva para as estirpes ESA 15, ESA 402 e M 163. Em relação a eficiência em inocular e adubar (EFAI) apresentou um comportamento em geral positivo, menos para extração de N para a B11417 sem restrição hídrica e para o Ab-V5, ESA 600, ESA 601, ESA 674 em restrição hídrica, apenas o ESA 600 mostrou uma EFAI negativa para PMS, isso quando está submetido a restrição hídrica.

REFERÊNCIAS

- AHEMAD, M.; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. **Journal of King saud University-science**, v. 26, n. 1, p. 1-20, 2014.
- ALBUQUERQUE, C. J. B.; ROCHA, R. R.; BRANT, R. S; MENDES, M. C. Espaçamento reduzido para o cultivo do sorgo granífero no sistema irrigado e em sequeiro. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 3, p. 7-26, 2010
- ANDRADE, Reginaldo Almeida et al. Azospirillum brasilense e fosfato natural reativo no estabelecimento de forrageira tropical. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 146-154, 2019.
- ASAD, S. A. et al. Estratégias integradas de remediação de metais pesados fitobiais para um ambiente limpo sustentável - uma revisão. **Chemosphere** , v. 217, p. 925-941, 2019.
- BAHADIR, PINAR SÖZER; LIAQAT, Fakhra; ELTEM, Rengin. Plant growth promoting properties of phosphate solubilizing Bacillus species isolated from the Aegean Region of Turkey. **Turkish Journal of Botany**, v. 42, n. 2, p. 183-196, 2018.
- BALDANI, J. et al. Recent advances in BNF with non-legume plants. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 29, n. 5-6, p. 911-922, 1997.
- BARGAZ, Adnane et al. Soil microbial resources for improving fertilizers efficiency in an integrated plant nutrient management system. **Frontiers in microbiology**, v. 9, p. 1606, 2018.
- BHARTI, N. et al. As rizobactérias promotoras de crescimento de plantas *Dietzia natronolimnaea* modulam a expressão de genes responsivos ao estresse, fornecendo proteção ao trigo contra o estresse salino. **Relatórios científicos** , v. 6, n. 1, pág. 1-16, 2016.
- BHAT, M. A. et al. Mechanistic insights of the interaction of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) with plant roots toward enhancing plant productivity by alleviating salinity stress. **Frontiers in microbiology**, v. 11, p. 1952, 2020.
- BOMFIM, C. S. G. et al. Endophytic bacteria naturally inhabiting commercial maize seeds occupy different niches and are efficient plant growth-promoting agents. **Symbiosis**, v. 81, p. 255-269, 2020.
- BORGES, Iran Dias et al. Acúmulo de macronutrientes na cultura do sorgo granífero na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, p. 294-304, 2016.
- BORGHI, E. et al. Sorgo biomassa BRS 716 para produção de forragem e palha em sistema de plantio direto e preparo convencional com soja. 2020.
- BOYD E. S.; PETERS J. W. New insights into the evolutionary history of biological nitrogen fixation. **Front Microbiol.** 2013;4:201.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário estatístico do setor de transformação de não metálicos**: 2018. Brasília: Ministério de Minas e Energia – Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Departamento de Transformação e Tecnologia Mineral, 2018a. p. 86.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. Microbiologia do solo. 2a ed. Piracicaba: ESALQ, 2ª Edição, 2016, 221p.

CASSÁN, F.; VANDERLEYDEN, J. E SPAEPEN, S. Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by model plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) Belonging to the Genus *Azospirillum*. **J Plant Growth Regul**, 33:440–459, 2014. DOI 10.1007/s00344- 013-9362-4

CAVALCANTE, T. J. et al. Macro and micronutrients uptake in biomass sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, p. 364-373, 2018.

CAVALCANTI, M. I. P. et al. Maize growth and yield promoting endophytes isolated into a legume root nodule by a cross-over approach. **Rhizosphere**, v. 15, p. 100211, 2020.

CHAWNGTHU, L.; HNAMTE, R.; LALFAKZUALA, R. Isolation and characterization of rhizospheric phosphate solubilizing bacteria from wetland paddy field of Mizoram, India. **Geomicrobiology Journal**, v. 37, n. 4, p. 366-375, 2020.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de grãos. Observatório Agrícola. Safra 2017/18 - Décimo levantamento, Brasília, p. 1-178, julho 2018. **Monitoramento agrícola**. ISSN 2318-6852.

CORREA FILHO, D. V. B. et al. Crescimento e desenvolvimento de aveia preta em resposta à inoculação com *Azospirillum* brasileiro e adubação nitrogenada. In: **Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215. 2017. p. 01-08.

DA SILVA, Fábio Cesar et al. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009., 2009.

DA SILVA, J. F. et al. Screening of plant growth promotion ability among bacteria isolated from field-grown sorghum under different managements in Brazilian drylands. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 34, p. 1-10, 2018.

DA SILVA, T. R. et al. Not just passengers, but co-pilots! Non-rhizobial nodule-associated bacteria promote cowpea growth and symbiosis with (brady) rhizobia. **Journal of Applied Microbiology**, v. 134, n. 1, p. 1xac013, 2023.

DE BRUIJN, Frans J. The quest for biological nitrogen fixation in cereals: a perspective and prospective. **Biological nitrogen fixation**, p. 1087-1101, 2015

DOS SANTOS, C. V. et al. Fenotipagem de raízes de milho visando tolerância à seca: uma revisão. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2021.

DOS SANTOS, R. F., PLACIDO, H. F., GARCIA, E. B., CANTU, C., ALBRECHT, A. J. P., ALBRECHT, L. P., & DE AZEVEDO FRIGO, K. D. Sorgo sacarino na produção de agroenergia. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, n. 1, 2015.

DOTTO, A. P. et al. Produtividade do milho em resposta à inoculação com *Herbaspirillum seropedicae* sob diferentes níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 3, p. 376-382, 2010.

DROGUE, B. et al. Plant root transcriptome profiling reveals a strain-dependent response during *Azospirillum*-rice cooperation. **Frontiers in plant science**, v. 5, p. 607, 2014.

DUURSMA, R. A. et al. Near-optimal response of instantaneous transpiration 120 efficiency to vapour pressure deficit, temperature and [CO₂] in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.168, p.168-176, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MILHO E SORGO. **Cultivo do sorgo**. Brasília, 2014.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2021**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>. Acesso em: 12 abr. 2022.

ESTÉVEZ, J. et al. Symbiotic performance of common bean and soybean co-inoculated with rhizobia and *Chryseobacterium balustinum* Aur9 under moderate saline conditions. **Symbiosis**, v. 49, p. 29-36, 2009.

FERNANDES-JÚNIOR, P. I. et al. A Planta Revivescente *Tripogon Spicatus* (Poaceae) Abriga Uma Diversidade De Bactérias Promotoras De Crescimento Vegetal Na Caatinga, Região Nordeste Do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 993-1002, 2015.

FERREIRA, N. dos S. et al. Genome-based reclassification of *Azospirillum brasilense* Az39 as the type strain of *Azospirillum argentinense* sp. nov. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 72, n. 8, p. 1-7, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.005475>.

FERREIRA, T. C. Caracterização e seleção de rizóbios noduladores de leguminosas florestais para recuperação de áreas contaminadas por petróleo. 2007.

FLORENTINO, Ligiane Aparecida et al. Solubilização de potássio em rocha fonolítica por bactérias diazotróficas. **Comunicata Scientiae**, v. 8, n. 1, pág. 17-23, 2017.

FRANCO, A. A. N. **Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo**. 2011. 74 p. Dissertação (Mestrado) - Unimontes, Janaúba

FUENTES-RAMIREZ, L. E.; CABALLERO-MELLADO, Jesus. Biofertilizantes bacterianos. **PGPR: Biocontrole e biofertilização**, p. 143-172, 2006.

GAUR, D.; JAIN, P. K.; BAJPAI, V. Production of extracellular α -amylase by thermophilic *Bacillus* sp. isolated from arid and semi-arid region of Rajasthan, India. *Journal of Microbiology and Biotechnology Research*, v. 2, n. 5, p. 675-684, 2012.

HENRIQUES JR, MAURICIO. F. Potencial de financiamento de eficiência energética nos setores de cerâmica e gesso no Nordeste. **Banco Interamericano de Desenvolvimento**, 2013.

HUERGO, Luciano F. et al. Regulation of nitrogen fixation in *Azospirillum brasilense*. CASSÁN, FD; GARCIA DE SALAMONE, I. ***Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina**. Buenos Aires: **Asociación Argentina de Microbiología**, p. 17-35, 2008.

HUNGRIA, M. et al. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and soil**, v. 331, p. 413-425, 2010.

HUNGRIA, M. Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo. 2011.

JHA, Chaitanya Kumar; SARAF, Meenu. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a review. **Journal of Agricultural Research and Development**, v. 5, n. 2, p. 108-119, 2015.

KADO, C. I. Historical account on gaining insights on the mechanism of crown gall tumorigenesis induced by *Agrobacterium tumefaciens*. **Frontiers in microbiology**, v. 5, p. 340, 2014.

KAVAMURA, V. N. **Bactérias associadas às cactáceas da Caatinga: Promoção de crescimento de plantas sob estresse hídrico**. 2012. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. p224.

KAVAMURA, V. N.; SANTOS, S. N.; SILVA, J. L. da; PARMA, M. M.; ÁVILA, L. A.; VISCONTI, A.; ZUCHI, D. Z.; TAKETANI, R. G.; ANDREOTE, F. D.; MELO, I. S. de. Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. **Microbiological Research**, v. 168, n. 4, p. 183-191, 2013.

LABRA-CARDÓN, D. et al. Respuesta de crecimiento y tolerancia a metales pesados de *Cyperus elegans* y *Echinochloa polystachya* inoculadas con una rizobacteria aislada de un suelo contaminado con hidrocarburos derivados del petróleo

o. **Revista internacional de contaminación ambiental**, v. 28, n. 1, p. 7-16, 2012.

LEITE, J. et al. Cowpea nodules harbor non-rhizobial bacterial communities that are shaped by soil type rather than plant genotype. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 2064, 2017.

LEITE, Mauricio Luiz de Mello Vieira; TABOSA, José Nildo; COSTA, Eduardo José Bezerra da. A agricultura de vazante na produção de sorgo no semiárido brasileiro. In:

Cadernos do Semiárido riquezas & oportunidades. v. 15, n. 2. Recife: CREA-PE: Editora UFRPE, 2020. Capítulo 6, páginas 53-55

LIU, Y. et al. Genomic insights into the taxonomic status of the *Bacillus cereus* group. **Scientific reports**, v. 5, n. 1, p. 1-11, 2015.

LÓPEZ-ALCOCER, J. de J. et al. Caracterización morfológica y bioquímica de cepas de *Rhizobium* colectadas en frijol común silvestre y domesticado. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v. 40, n. 1, p. 73-81, 2017.

MAGALHÃES, P. C. C.; SOUZA, T. C.; SCHAFFERT, R. E. Ecofisiologia. In: **Sistema de Produção, 9ª edição: Cultivo de Sorgo, 2015**. Disponível em: <<https://www.spo.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 21 de nov. 2021.

MAGALHÃES, P. C.; DE SOUZA, T. C.; DE SOUZA, K. R. D.. Biologia e fisiologia do sorgo. 2021.

MAPA. **Instrução normativa SDA Nº 13**. 13, de 24 de março de 2011.

MASSON-BOIVIN, C. SACHS, L. Symbiotic nitrogen fixation by rhizobia—the roots of a success story. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 44, p. 7-15, 2018.

MAY, A. **Cultivo de sorgo sacarino em áreas de reforma de canaviais**. Desempenho produtivo de sorgo sacarino cultivado em reforma de canaviais nos últimos anos. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. 36p. (Circular Técnica, 186).

MAY, A. et al. Cultivo do sorgo biomassa para a cogeração de energia elétrica. 2013b.

MAY, A. et al. **Sorgo biomassa para a cogeração de energia**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 7 p. (Circular Técnica, 211).

MEGÍAS, E. et al. Genome sequence of *Pantoea* sp. strain 1.19, isolated from rice rhizosphere, with the capacity to promote growth of legumes and nonlegumes. **Genome Announcements**, v. 5, n. 30, p. e00707-17, 2017.

MINELLA, E. **Cultivo de cevada**. 6. ed. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2015. 39 p. (Embrapa Trigo. Sistemas de produção, 2).

MOLINA-FAVERO, C. et al. Aerobic nitric oxide production by *Azospirillum brasilense* Sp245 and its influence on root architecture in tomato. **Molecular plant-microbe interactions**, v. 21, n. 7, p. 1001-1009, 2008.

MORAES, D. Transformação de fungos filamentosos por *Agrobacterium*: *Histoplasma* como modelo. **Investigação, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 11, n. 7, pág. e12211729427, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i7.29427. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/29427>. Acesso em: 31 mai. 2023.

NAIK, D. K.; MONIKA, K.; PRABHAKAR, S.; PARTHASARATHY, R.; SATYAVATHI, B. Pyrolysis of sorghum bagasse biomass into bio-char and bio-oil

products. A thorough physicochemical characterization. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Dordrecht**, v. 127, n. 2, p. 1277-1289, 2017.

NAKAYAN, P. et al. Phosphate-solubilizing soil yeast *Meyerozyma guilliermondii* CC1 improves maize (*Zea mays* L.) productivity and minimizes requisite chemical fertilization. **Plant and Soil**, v. 373, p. 301-315, 2013.

NASCIMENTO, R. de C. et al. Maize-associated bacteria from the Brazilian semiarid region boost plant growth and grain yield. **Symbiosis**, v. 83, n. 3, p. 347-359, 2021.

NEVES, M. C. P.; RUMJANEK, Norma Gouvêa. Ecologia das bactérias diazotróficas nos solos tropicais. **Ecologia microbiana. Embrapa-CNPMA, Jaguariúna**, p. 15-60, 1998.

NONAKA, S. et al. Super-Agrobacterium ver. 4: Melhorar as frequências de transformação e as possibilidades de engenharia genética para plantas cultivadas. **Fronteiras na ciência vegetal**, v. 10, p. 1204, 2019.

OLEŃSKA, E. et al. Beneficial features of plant growth-promoting rhizobacteria for improving plant growth and health in challenging conditions: A methodical review. **Science of the Total Environment**, v. 743, p. 140682, 2020.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; SANTOS, F. C. dos; PINTO JÚNIOR, A. S.; 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. 21 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 210).

PARRELLA, R. A. da C.; SCHAFFERT, R. E.; MAY, A.; EMYGDIO, B.; PORTUGUAL, A. F.; DAMASCENO, C. M. B. **Desempenho agrônômico de híbridos de sorgo biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 1.9 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim Pesquisa e Desenvolvimento, 41).

PATERSON, Andrew H. Genômica do sorgo. **International Journal of Plant Genomics**, v. 2008, 2008.

POSSAMAI, E. J. et al. Adoção do sistema plantio direto no Paraná: Uma revisão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, 2022.

PRADO, R. de M. **Nutrição de plantas**. Editora Unesp, 2008.

RABELO, F. H. S.; RABELO, C. H. S.; DUPAS, E.; NOGUEIRA, D. A.; REZENDE, A. V. Parâmetros agrônômicos do sorgo em razão de estratégias de semeadura e adubação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, p. 47-66, 2012.

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

- RODRIGUES FILHO, O.; FRANÇA, A. F. S.; OLIVEIRA, R. P.; OLIVEIRA, E. R.; ROSA, B.; SOARES, T. V.; MELLO, S. Q. S. Produção e composição bromatológica de quatro híbridos de sorgo forrageiro [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] submetidos a três doses de nitrogênio. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 7, p. 37-48, 2006.
- RODRIGUES, J. A. S. (ed.). Cultivo do Sorgo 3. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de Produção, 2). Disponível em: https://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/sorgo_3_ed/index.htm. Acesso em: 10 mai 2022.
- ROESCH, L. F. W. et al. Diversidade de bactérias diazotróficas endofíticas associadas a plantas de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1367-1380, 2007.
- RONCATO-MACCARI, L. D. B. et al. Endophytic *Herbaspirillum seropedicae* expresses nif genes in gramineous plants. **FEMS microbiology ecology**, v. 45, n. 1, p. 39-47, 2003.
- SÁEZ-NIETO, J. A. et al. *Paenibacillus* spp. isolated from human and environmental samples in Spain: detection of 11 new species. **New microbes and new infections**, v. 19, p. 19-27, 2017.
- SANTANA, Sheilla Rios Assis et al. Inoculation of plant growth-promoting bacteria attenuates the negative effects of drought on sorghum. **Archives of microbiology**, v. 202, p. 1015-1024, 2020.
- SECTMA/MMA, Região do Araripe-Pernambuco. Diagnóstico florestal. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 91 p, 2007.
- SILVA, J. F. Caracterização Polifásica de Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal Associados ao Sorgo (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) e ao milheto (*Penisetum Glaucum* (L.) R. Brown) Cultivados no sertão de Pernambuco. **UNIVASF: Petrolina, Brazil**, 2017.
- SILVA, J. M. F. D. et al. Row spacing, plant density, sowing and harvest times for sweet sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 4, p. 408-415, 2017.
- SINDUSGESSO. Potencialidades do Polo Gesseiro do Araripe: Simpósio Pólo Gesseiro do Araripe: potencialidades, problemas e soluções. Recife: **Instituto Agrônomo de Pernambuco**. 2014, 22p.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2004.
- TAIZ, L. e ZIEGER, E. 2013. Fisiologia vegetal. Sinauer Associates, Sunderland, MA, USA
- TARGINO, H. M. de L. et al. Maize-associated *Meyerozyma* from the Brazilian semiarid region are effective plant growth-promoting yeasts. **Rhizosphere**, v. 22, p. 100538, 2022.
- TARRANT, Jeffrey J.; KRIEG, Noel R.; DÖBEREINER, Johanna. A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov.

and two species, *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. **Canadian journal of microbiology**, v. 24, n. 8, p. 967-980, 1978.

TIWARI, S.; PRASAD, V.; CHAUHAN, O. S.; LATA, C. *Bacillus amyloliquefaciens* confers tolerance to various abiotic stresses and modulates plant response to phytohormones through osmoprotection and gene expression regulation in rice. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1510, 2017.

VANDAMME, P. e C. ew perspectives in the classification of the flavobacteria: description of *Chryseobacterium* gen. nov., *Bergeyella* gen. nov., and *Empedobacter* nom. rev. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 44, n. 4, p. 827-831, 1994.

VELÁZQUEZ, E. et al. Nodular endophytes: an untapped diversity. **Beneficial Plant-Microbial Interactions: Ecology and Applications**, p. 215-235, 2013.

VELLOSO, C. C. V.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; GOMES, E. A.; LANA, U. G. de P.; CARVALHO, C. G.; GUIMARÃES, L. J. M.; PASTINA, M. M.; SOUSA, S. M. de. Genome-guided insights of tropical *Bacillus* strains efficient in maize growth promotion. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 96, n. 9, f1aa157, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1093/femsec/f1aa157>.

VENTURA, M. V. A. et al. Different methods of inoculation of nitrogen-fixing bacteria (*Azospirillum*) specific of grasses in sorghum. **Ipê Agronomic Journal**, v. 4, n. 2, p. 1-8, 2020.

VIEIRA, R. F.. Diversidade e Taxonomia de Rizóbio. *In*: SILVEIRA, Adriana Parada Dias da; FREITAS, Sueli dos Santos (ed.). **Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental**. Campinas - SP: Instituto Agronômico Campinas, 2007. cap. Capítulo 10, p. 165-192. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/100937/1/2007CL-001.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2023.

WALTERSON, Alyssa M.; STAVRINIDES, John. *Pantoea*: insights into a highly versatile and diverse genus within the Enterobacteriaceae. **FEMS microbiology reviews**, v. 39, n. 6, p. 968-984, 2015.

XIE, Cheng-Hui; YOKOTA, A. Reclassification of *Alcaligenes latus* strains IAM 12599T and IAM 12664 and *Pseudomonas saccharophila* as *Azohydromonas lata* gen. nov., comb. nov., *Azohydromonas australica* sp. nov. and *Pelomonas saccharophila* gen. nov., comb. nov., respectively. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 55, n. 6, p. 2419-2425, 2005.

YAN, W. et al. Biotechnological applications of the non-conventional yeast *Meyerozyma guilliermondii*. **Biotechnology Advances**, v. 46, p. 107674, 2021.

ZHANG, C. et al. Plant-Growth-Promoting Potential of PGPE Isolated from *Dactylis glomerata* L. **Microorganisms**, v. 10, n. 4, p. 731, 2022.