UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

MÁRCIO JOSÉ PEREIRA

DESENVOLVIMENTO AGRONÔMICO E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM SORGO INOCULADO COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS

RECIFE

2025

Márcio José Pereira

Engenheiro Agrônomo

DESENVOLVIMENTO AGRONÔMICO E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM SORGO INOCULADO COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Jose Freire

Coorientador: Prof. Dr. Renato Lemos dos Santos

Recife
2025

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Auxiliadora Cunha – CRB-4 1134

P436d Pereira, Márcio José.
Desenvolvimento agronômico e acúmulo de nutrientes em sorgo inoculado com bactérias promotoras de crescimento de plantas / Márcio José Pereira. – Recife, 2025.
54 f.; il.

Orientador(a): Fernando Jose Freire.
Co-orientador(a): Renato Lemos dos Santos.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife, BR-PE, 2025.

Inclui referências, apêndice(s) e anexo(s).

1. Sorgo - Efeito do fósforo. 2. microrganismo. 3. Sorgo - Efeito do nitrogênio. 4. Sorgo - Produtividade I. Freire, Fernando Jose, orient. II. Santos, Renato Lemos dos, coorient. III. Título

CDD 631.4

MÁRCIO JOSÉ PEREIRA

Desenvolvimento agronômico e acúmulo de nutrientes em sorgo inoculado com bactérias promotoras de crescimento de plantas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre/Doutor em Ciência do Solo.

Aprovada em 31 de janeiro de 2025

_____

Prof. Dr. Fernando José Freire

Orientador

Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Felipe José Cury Fracetto

Universidade Federal Rural de Pernambuco

_____

Prof. Dr. Mario de Andrade Lira Junior

Universidade Federal Rural de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela vida, saúde e por ter me dado forças e permitido concluir mais esta etapa na minha vida.

Agradeço a toda minha família que sempre esteve ao meu lado e me apoiaram nos momentos mais difíceis, em especial minha mãe, Angelina Josefa Pereira a qual tudo que me tornei e estou me tornando foi graças aos seus esforços e educação que me proporcionou.

Ao meu coorientador Dr. Fernando Jose Freire, pele confiança, apoio, amizade, motivação, ensinamentos e orientação durante a pós-graduação.

Ao meu coorientador Dr. Renato Lemos dos Santos, pelo apoio, paciência, amizade, motivação, ensinamentos e orientação desde o momento da decisão em realizar o mestrado até a conclusão.

A minha namorada Wanessa Santos pelo apoio, compreensão, companheirismo e motivação para concluir essa etapa.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco - sede que contribuíram na minha formação acadêmica e profissional.

Ao Instituto Federal de Pernambuco - campus Vitória de Santo Antão por todo suporte desde o início do experimento e liberação da infraestrutura do Laboratório Química e Fertilidade do Solo para realização das análises

Aos integrantes do Grupo de Pesquisa em Fertilidade do Solo e Agroenergia, pelas contribuições na condução do experimento e realização das análises. Em especial a Claudilane Oliveira e Clara Gomes.

Aos meus amigos que me apoiaram e ajudaram durante esta jornada, em especial a Alison Silva, Leonardo Freitas, Igor Gonçalves, por todas as conversas compartilhadas e conselhos durante os momentos mais difíceis.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão da bolsa de mestrado.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste estudo.

Desenvolvimento agronômico e acúmulo de nutrientes em sorgo inoculado com bactérias promotoras de crescimento de plantas

RESUMO

O uso de bactérias promotoras de crescimento de plantas pode ser uma alternativa para disponibilizar N e P, e aumentar a eficiência dos fertilizantes nitrogenados e fosfatados, potencializando a produtividade da cultura do sorgo. Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da inoculação de estirpes de bactéria na promoção de crescimento e produtividade da cultura do sorgo forrageiro. O experimento foi realizado em campo com a variedade de sorgo forrageiro BRS Ponta Negra, por um período de 104 dias. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com 8 tratamentos e 4 repetições, totalizando 32 parcelas experimentais. Os tratamentos, consistiram na combinação da inoculação das sementes do sorgo com duas estirpes de bactérias e a adubação mineral, sendo eles: TA= testemunha absoluta; TN= testemunha nitrogenada, adubada com 100% do N recomendado; BM= *Bacillus megaterium*, BS= *Bacillus subtillis*, BM+BS= *B. megaterium* + *B. subtillis*, BM+N= *B. megaterium* + nitrogênio, BS+N= *B. subtillis* + nitrogênio e BM+BS+N= *B. megaterium* + *B. subtillis*, + nitrogênio. Para realizar a inoculação, as sementes de sorgo foram condicionadas em becker, e logo após, foram adicionados 37 mL da suspensão adesiva bacteriana (1,0 mL por semente), foram agitadas e mantidas na suspensão adesiva por 12 horas. Aos 82dias após o plantio (DAP) foram analisadas as seguintes variáveis: teores de clorofilas, N e P na folha índice. Aos 104 DAP na colheita foram avaliados a altura da planta, diâmetro do colmo, área foliar e índice de área foliar, produtividade de biomassa e o acúmulo de N e P no colmo, folhas, panícula e total. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em função dos tratamentos. Nas variáveis com efeitos foram significativos (Teste F, $p \leq 0,05$), optou-se pela aplicação do teste de comparação de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). O uso de *B. megaterium* e de *B. subtillis* não apresentaram efeitos nos parâmetros biométricos avaliados, na área foliar e índice de área foliar em relação a testemunha nitrogenada. Entretanto, incrementos significativos foram obtidos quando comparados a utilização de *B. megaterium* e *B. subtilis* associadas ao N, com a testemunha nitrogenada, houve aumento de 27,18% e 17,43%, respectivamente, na clorofila total. Resultados positivos também ocorreram na produtividade de biomassa, a maior produtividade de MFPA (64,72 t ha^{-1}) foi obtida com a inoculação de *B. subtilis* associada ao fertilizante nitrogenado, com incremento de 22,90% em relação a TN (52,66 t ha^{-1}). A aplicação de *B. megaterium* também apresentou incremento na MFPA (60,45 t ha^{-1}), com aumento de 14,79% em relação a TN. A inoculação de *B. subtilis* associada ao N permitiu os maiores acúmulos totais de N e P, incrementos de 28,11% e 34,46% respectivamente em relação a testemunha nitrogenada. A inoculação de *B. subtillis* associada ao N promoveu maior eficiência na absorção do N e P aplicado obtendo desempenho superior a testemunha nitrogenada, e consequentemente permitiu maior produtividade e maior acúmulo de nutrientes nas plantas de sorgo forrageiro.

Palavras-chave: fósforo. microrganismos. nitrogênio. produtividade. *Sorghum*.

Agronomic development and nutrient accumulation in sorghum inoculated with plant growth-promoting bacteria

ABSTRACT

The use of plant growth promoting bacteria can be an alternative to provide N and P, and increase the efficiency of nitrogen and phosphate fertilizers, enhancing the productivity of sorghum crops. In view of the above, the objective of this study was to evaluate the effect of inoculating bacterial strains in promoting growth and productivity of forage sorghum. The experiment was carried out in the field in forage sorghum, using the BRS Ponta Negra variety, for a period of 104 days. A randomized block experimental design was used, with 8 treatments and 4 replications, totaling 32 experimental plots. The treatments consisted of a combination of inoculation of sorghum seeds with two strains of bacteria and mineral fertilization. In the experiment, eight treatments with inoculants combined with nitrogen fertilization were evaluated: TA = absolute control; TN = nitrogen control, fertilized with 100% of the recommended N; BM = *Bacillus megaterium*, BS = *Bacillus subtillis*, BM + BS = *B. megaterium* + *B. subtillis*, BM + N = *B. megaterium* + nitrogen, BS + N = *B. subtillis* + nitrogen and BM + BS + N = *B. megaterium* + *B. subtillis*, + nitrogen. To perform the inoculation, the sorghum seeds were conditioned in a beaker, and immediately after, 37 mL of the bacterial adhesive suspension (1.0 mL per seed) were added, shaken and kept in the adhesive suspension for 12 hours. At 82 days after planting (DAP), the following variables were analyzed: chlorophyll, N and P contents in the index leaf. At 104 DAP at harvest, the plant height, stem diameter, leaf area and leaf area index, biomass productivity and accumulation of N and P in the stem, leaves, panicle and total were evaluated. The data obtained were subjected to analysis of variance (ANOVA) as a function of the treatments. In the variables with significant effects (F test, $p \leq 0.05$), it was chosen to apply the Scott Knott comparison test ($p \leq 0.05$). The use of B. megaterium and *B. subtillis* did not show any effects on the evaluated biometric parameters, leaf area and leaf area index in relation to the nitrogen control. However, significant increases were obtained when comparing the use of *B. megaterium* and *B. subtilis* associated with N, with the nitrogen control, there was an increase of 27.18% and 17.43%, respectively, in total chlorophyll. Positive results also occurred in biomass productivity, the highest MFPA productivity (64.72 t ha^{-1}) was obtained with the inoculation of *B. subtilis* associated with nitrogen fertilizer, with an increase of 22.90% in relation to TN (52.66 t ha^{-1}). The application of *B. megaterium* also showed an increase in BFPA (60.45 t ha^{-1}), with an increase of 14.79% in relation to TN. The inoculation of *B. subtilis* associated with N allowed the highest total accumulations of N and P, increases of 28.11% and 34.46% respectively in relation to the nitrogen control. The inoculation of *B. subtilis* associated with N promoted greater efficiency in the absorption of the applied N and P, obtaining superior performance to the nitrogen control, and consequently allowed greater productivity and greater accumulation of nutrients in the forage sorghum plants.

Keywords: phosphorus. microorganisms. nitrogen. productivity. *Sorghum*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área experimental, no município de Vitória de Santo Antão - PE . 13

Figura 2 - Pluviometria durante o ensaio experimental em Vitória de Santo Antão - PE 14

Figura 3 – Croqui da área experimental com a distribuição dos tratamentos …….. 16

Figura 4 – Teor de clorofila a e b (a) e total (b) em sorgo forrageiro em função do uso de diferentes tratamentos com inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal e da adubação nitrogenada aos 82 dias após o plantio 21

Figura 5 – Teores de nitrogênio e fósforo na folha índice de sorgo forrageiro em função do uso de diferentes tratamentos com inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal e da adubação nitrogenada aos 82 dias após o plantio 23

Figura 6 – Altura (a) e diâmetro (b) de sorgo forrageiro em função do uso de diferentes tratamentos com inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal e da adubação nitrogenada, aos 104 dias após o plantio 24

Figura 7 – Área foliar e índice de área foliar em sorgo forrageiro Ponta Negra em função da inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal (*Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis*) e da adubação nitrogenada, aos 104 dias após o plantio 26

Figura 8 – Produtividade de biomassa fresca da parte aérea (a) e biomassa seca da parte aérea (b) de sorgo forrageiro em função do uso de diferentes tratamentos com inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal e da adubação nitrogenada aos 104 dias após o plantio 27

Figura 9 - Acúmulo de nitrogênio (a, c, e, g) e fósforo (b, d, f, h) no colmo, folha, panícula e total em sorgo forrageiro em função do uso de diferentes tratamentos com inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal e da adubação nitrogenada aos 104 dias após o plantio 31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização química e física do solo nas profundidades de 0,0 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m, no local do ensaio de campo no Instituto Federal de Pernambuco, em Vitória de Santo Antão - PE 15

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
1.1 Hipóteses 13
1.2 Objetivos 13
1.2.1 Objetivo Geral 13
1.2.2 Objetivos Específicos 13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 14
2.1 A cultura do sorgo 14
2.2 Nitrogênio e fosforo na cultura do sorgo 16
2.3 Bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) 18
3 MATERIAL E MÉTODOS 20
3.1 Localização e caracterização da área experimental 20
3.2 Delineamento experimental 22
3.3 Tratamentos e instalação do experimento 24
3.4 Variáveis analisadas 24
3.4.1 teores de clorofilas, N e P na folha índice 24
3.4.1.1 Teores das clorofilas na folha índice 24
3.4.1.2 Teor de N na folha índice 25
3.4.1.3 Teor de P na folha índice 25
3.4.2 Crescimento das plantas do sorgo forrageiro 26
3.4.2.1 Altura de planta e diâmetro do sorgo forrageiro 26
3.4.2.2 Área foliar e índice de área foliar 26
3.4.3 Produtividade de biomassa e acúmulo de N e P na parte aérea 26
3.4.3.1 Biomassa fresca e seca da parte aérea 26
3.4.3.2 Acúmulo de N e P no colmo, folha, panícula e total. 27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 28
4.1 teores de clorofilas, N e P na folha índice 28

4.1.1 Clorofila 28
4.1.2 Teores de N e P na folha índice 29
4.2 Crescimento das plantas do sorgo forrageiro 31
4.2.1 Altura de planta e diâmetro do sorgo forrageiro 31
4.2.2 Área foliar e índice de área foliar.....33
4.3 Produtividade de biomassa e acúmulo de N e P na parte aérea 34
4.3.1 Matéria fresca e seca da parte aérea.....34
4.2.3 Acúmulo de N e P no colmo, folha, panícula e total 36
5 CONCLUSÕES 39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....40
APÊNDICE A – Área experimental. 49
APÊNDICE B – Plantas de sorgo aos 74 DAP início da emissão das panículas. 50
APÊNCICE C – Teores de clorofila A (CB), clorofila B (CB), clorofila total (CT), nitrogênio na folha índice (NFI), fósforo na folha índice (NFI), altura (ALT), diâmetro (DIÂ), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF) em sorgo forrageiro em função do uso de diferentes tratamentos com a inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal e da adubação nitrogenada.....44
APÊNDICE D – Acúmulo de nitrogênio no colmo (ACNC), acúmulo de fósforo no colmo (ACPC), acúmulo de nitrogênio na panícula (ACNP), acúmulo de fosforo na panícula (ACPP), acúmulo de nitrogênio na folha (ACNF), acúmulo de fósforo na folha (ACPF), acúmulo de nitrogênio total (ACNT) e acúmulo de fósforo total (ACPT) em sorgo forrageiro em função do uso de diferentes tratamentos com a inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal e da adubação nitrogenada. 45

1 INTRODUÇÃO

A cultura do sorgo apresenta grande importância socioeconômica no cenário agrícola mundial, uma vez que é cultivado e consumido em diversas partes do mundo. Por possuir ampla utilização desde o consumo do grão in natura ou farináceo, a utilização como matéria prima para produção de amido, cera, bebidas, ração, óleos e produção bioenergéticas como de biocombustível.

É uma espécie monoica e autógama, pertence à família *Poaceae*, gênero *Sorghum* e a espécie *Sorghum bicolor* L. Moench (PINHO, FIORINI e SANTOS, 2014). O sorgo é uma planta adaptada ao clima tropical, de dias curtos, pertencente ao grupo das gramíneas, e possui metabolismo fotossintético (C4). A faixa de temperatura ótima para o seu desenvolvimento varia de 16 a 38ºC. É cultivado principalmente em locais de precipitação anual entre 375 e 625 mm (RIBAS, 2009).

O sorgo apresenta grande eficiência na fotossíntese devido ter processo fotossintético C4. Para manter a produção de pequenos e grandes ruminantes em regiões de clima tropical, é imprescindível buscar fontes de alimentos que supram a necessidade dos animais em pastejo ou plantas forrageiras suplementares, visando potencializar a produção animal nessas regiões. O sorgo, devido as suas características xerofíticas e ao eficiente mecanismo morfológico, tem a habilidade de se manter dormente durante o período de seca, retomando seu crescimento imediatamente após o restabelecimento das condições favoráveis. Portanto, o sorgo é uma ótima alternativa para a produção de forragens e suprir a demanda para a alimentação de ruminantes, no período de baixa disponibilidade hídrica, atenuando problemas da falta de forragem. O sorgo necessita em torno de 330 kg de água para produzir um quilo de matéria seca (MAGALHÃES et al., 2010).

Contudo, a cultura necessita do fornecimento de nutrientes para a obtenção de elevada produtividade, sendo esta demanda suprida através de fertilizantes minerais. Dentre os principais fertilizantes utilizados, podemos destacar os nitrogenados e os fosfatados que são fontes de macronutrientes primários exigido em grande quantidade pelas plantas, pois, o nitrogênio (N) é constituinte de diversas proteínas e aminoácidos e influencia diretamente o crescimento vegetativo das plantas. O fósforo (P) tem como função a produção e transferência de energia para a realização da fotossíntese e permite maior desenvolvimento do sistema radicular.

A dependência dos sistemas agrícolas em relação aos fertilizantes minerais causa grande preocupação, em decorrência tanto dos altos riscos de contaminação ambiental pelo uso de doses elevadas, quanto ao alto consumo de combustíveis não renováveis no processo de produção desses insumos. Além disso, os fertilizantes minerais possuem elevado custo, levando consequente a um maior custo de produção.

Diversos estudos estão sendo realizados com a finalidade de eliminar e/ou reduzir a dependência dos fertilizantes minerais. Uma das alternativas é o uso de microrganismos que podem estimular o crescimento e o desenvolvimento das plantas através de associações sinérgicas com as plantas.

Dentre esses microrganismos benéficos podemos destacar as bactérias que melhoram significativamente o crescimento e desenvolvimento dos vegetais, por meio de diversos mecanismos, e por isso denominadas de bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP).

A aplicação e manutenção da biodiversidade de BPCP no solo é uma ótima estratégia para elevar a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícolas e aumentar a produção global de alimentos. O uso de microrganismos propicia muitos benefícios, com efeitos positivos em propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Nas plantas, as BPCP promovem a supressão de patógenos, indução de resistência, e maior absorção de nutrientes.

O uso dessas bactérias é uma prática com potencial de fornecer nutrientes aos sistemas de cultivos, além de suprir e regular a produção de hormônios essenciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Diante do exposto, é fundamental a realização de trabalhos para avaliar a eficiência de novas estirpes visando potencializar a produção de forma sustentável do sorgo forrageiro preservando os recursos naturais finitos, garantindo a viabilidade do setor, e a segurança alimentar para as gerações futuras.

1.1 Hipóteses

- *Bacillus megaterium e Bacillus subtilis* promovem crescimento, produtividade e acúmulo de biomassa às plantas de sorgo forrageiro;
- *Bacillus megaterium e Bacillus subtilis* propiciam às plantas de sorgo forrageiro, maior eficiência na utilização do N e P aplicado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito da inoculação de estirpes de bactéria na promoção de crescimento e produtividade da cultura do sorgo forrageiro.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudar o desenvolvimento do sorgo forrageiro, analisando variáveis biométricas, fisiológicas, de promoção do crescimento e produtividade de biomassa da cultura do sorgo forrageiro em função da inoculação de BPCP;
- Avaliar o acúmulo de N e P da cultura do sorgo forrageiro em função da inoculação de BPCP;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura do sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma planta herbácea da família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Andropogoneae e gênero *Sorghum* (POURHADIAN et al., 2019). A planta possui espículas hermafroditas e masculinas em uma panícula terminal, suas glumas são ovoides com pontas tridentadas. Geralmente, é uma espécie de ciclo anual, apresenta colmos altos e espessos. Apresentam folhas lanceoladas, compridas e largas, e sistema radicular fasciculado com raízes adventícias bem desenvolvidas (PEREIRA; CARDOSO, 1987; PINHEIRO et al., 2021).

Conforme a sua finalidade, os sorgos são classificados em quatro tipos: granífero, sacarino, forrageiro e vassoura, que apresentam diferentes características morfológicas e aptidões que são: o granífero, apresenta elevada produção de grãos podendo ser utilizado tanto na alimentação humana como animal; sorgo sacarino é normalmente utilizado para produção de bioenergia pela alta concentração de açúcar no colmo e teor de fibra e lignina; o sorgo forrageiro para produção de forragem ou silagem; e o sorgo vassoura como o seu próprio nome diz é destinado à produção de vassouras (DUARTE, 2021). Dentre eles, o mais cultivado na região Nordeste é o sorgo forrageiro, utilizado para produção de silagem, para atender a demanda da alimentação animal.

A cultura do Sorgo possui três estágios de crescimento EC1, EC2 e EC3. A primeira fase (EC1), ocorre desde a germinação, aparecimento da plântula, crescimento das folhas e estabelecimento do sistema radicular fasciculado. Na segunda fase (EC2), se inicia quando o meristema apical se diferencia em meristema floral e vai até a antese, o fotoperíodo é de suma importância para sua transição, uma vez que, o sorgo é uma planta de dias curtos, e o rendimento de grãos é sustentado pelo bom crescimento de área foliar e do sistema radicular. A terceira fase (EC3), se inicia na floração e termina na maturação fisiológica dos grãos, é um período crucial para a cultura, pois é período do enchimento dos grãos (PINHO; FIORINI; SANTOS, 2014).

Na região Nordeste do Brasil, o Sorgo Forrageiro é a terceira espécie forrageira com maior produtividade (1.230.546 t), sendo superado pela palma (3.567.854 t) e milho (2.644.211 t), conforme dados da Embrapa (2023) adaptados do IBGE (2019). Em nível estadual Pernambuco ocupa a quinta posição no ranking (24.680 t), sendo superado pelo Ceará (716.363 t), Paraíba (206.099 t), Rio Grande do Norte (147.645 t) e pela Bahia (107.784 t). Completam

o ranking os estados do Piauí (9.830 t), Sergipe (9.070 t), Alagoas (6.861 t), e Maranhão (2.214 t).

O uso do *Sorghum* como cultura alimentar está aumentando devido à sua produtividade superior ao milho, em ambientes com baixa disponibilidade hídrica e baixa fertilidade (HOSSAIN et al., 2022). O mesmo apresenta características fisiológicas que atuam na regulação do crescimento ou limitam suas atividades metabólicas em condições de baixa disponibilidade hídrica (GUIMARÃES et al., 2019). De acordo com Turner (2018), o sorgo tem como principal vantagem a capacidade de ajuste osmótico em condições de déficit hídrico, o que lhe permite extrair mais água do solo. Este mecanismo fisiológico proporciona que o sorgo torne sua pressão mais negativa através do acúmulo de solutos, como açúcares e íons de potássio, magnésio e cloro, viabilizando a absorção de água pelas raízes, o turgor celular, a condutância estomática e a fotossíntese, e consequentemente mantém a produção biomassa.

O metabolismo C4 possibilita a fixação de carbono por meio da enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEP Carboxilase) que possui maior afinidade com CO_2 e melhor rendimento quando comparado à enzima Rubisco presente nas plantas C3, devido a menor taxa de transpiração por molécula de CO_2 fixada (TAIZ; ZIEGER; MOLLER; MURPHY, 2017). Dessa maneira, o ciclo de crescimento do sorgo torna-se mais rápido em relação ao milho, considerando que o sorgo tem a vantagem de se adaptar mais facilmente às condições de déficit hídrico. Entretanto, quando submetidas ao excesso de umidade ocorrem alterações na condutância estomática levando a redução da eficiência fotossintética, provocando queda da produção da parte aérea e de raízes (GUIMARÃES et al., 2016).

Outra característica importante do sorgo forrageiro é a maior proporção de colmos em relação à panícula, e tem a capacidade de rebrotar produzindo mais um ciclo após o corte, com grande emissão de perfilho, incrementando a quantidade de colmos e a produtividade. A panícula, por sua vez, tem alto teor de massa seca (MS) e concentração de nutrientes, que incrementa a MS do material a ser ensilado. Nos cultivares forrageiros a panícula tem pouca proporção na biomassa total se comparados ao cultivares de duplo propósito e granífero. Todavia, no primeiro corte do sorgo as panículas são maiores e há menor contribuição de colmos na biomassa total, o inverso ocorre no segundo corte, elevando o teor de umidade do material (PINHO et al., 2015; PERAZZO et al., 2017).

Silva et al. (2017) avaliaram a produção de duas cultivares de sorgo (crioulo e BRS Ponta Negra) sob diferentes arranjos populacionais (1, 2 ou 3 plantas por cova), e relataram que a cultivar BRS Ponta Negra apresentou os melhores resultados, e o melhor arranjo quando se utilizaram duas plantas por cova. Além disso, essa variedade apresenta características

interessantes como boa proporção de panículas na massa total, tolerância à toxicidade de Al e a seca, o que vem a contribuir para produção de silagens, tendo em vista o período seco.

Dentre os principais fatores que propiciam o desenvolvimento e expansão da cultura sorgo no Brasil podemos destacar a sua maior adaptação as condições edafoclimática, tolerância ao estresse hídrico e elevadas temperaturas, no fator nutricional possui grande capacidade proteica para a alimentação humana e animal. Sendo seu valor nutricional superior a cereais como arroz e trigo, entretanto é inferior ao milho. Contudo, em relação ao milho o sorgo apresenta maior rentabilidade na criação de animais, por isso, é preferível que se opte pelo sorgo, tendo em vista reduzir os custos de produção e aquisição (RATNAVATHI; KOMALA, 2016).

Além disso, para suprir o déficit nutricional dos animais, muitos criadores utilizam suplementação à base de concentrados proteicos aumenta consideravelmente os custos de produção. Diante dessas perspectivas, é necessário a realização de trabalhos visando o desenvolvimento de estratégias para obter maior produtividade e rendimento na produção de forragens (QUINTINO et al., 2016).

2.2 Nitrogênio e fosforo na cultura do sorgo

Visando obter maior produtividade é essencial realizar o correto manejo da adubação fornecendo os nutrientes, que são fundamentais para o ciclo produtivo do sorgo, conforme a exigência da cultura (COELHO et al., 2017). Dentre eles, o nitrogênio (N) se destaca por estar envolvidos em grande parte dos processos fisiológicos e metabólicos da planta. O N influência diretamente o crescimento e desenvolvimento dos vegetais, quando aplicado nos momentos corretos proporciona elevados resultados de produtividade de grãos e fitomassa (ALI et al., 2021).

O N está presente no solo em formas inorgânicas e orgânicas, sendo as formas inorgânicas absorvidas e metabolizadas pelas plantas, as espécies inorgânicas de N mais comuns são o nitrato (NO_3^-) e o amônio (NH_4^+), que atuam na biossíntese de aminoácidos e proteínas em plantas essa conversão de N em aminoácidos ocorrem através de múltiplas reações bioquímicas (LI et al., 2023).

No solo o N é muito dinâmico, cerca de 50% do N adicionado é perdido através da desnitrificação, escoamento, lixiviação e volatilização. Essas perdas causam a elevação dos custos de produção agrícola, assim como a contaminação de lençóis freáticos, e o processo volatilização prejudica o meio ambiente ao elevar gases de efeito estufa, como o aumento do

óxido nítrico atmosférico (HOSSAIN et al., 2022). O manejo do N deve levar em consideração o equilíbrio entre os benefícios e custos da sua utilização, ou seja, deve-se otimizar os efeitos benéficos e, ao mesmo tempo, neutralizar ou reduzir os impactos negativos do excesso de N no ambiente e na saúde humana (CUNHA-ZERI et al., 2022).

Assim como N, o fósforo (P) é considerado essencial para a cultura do sorgo, uma vez que, a extração desse nutriente do solo pela cultura do sorgo segue um aumento linear paralelo ao aumento da produtividade dessa cultura (SANTOS et al., 2022). O P é um constituinte significativo nos ambientes agrícolas, onde sua indisponibilidade limita a produção, esta limitação ocorre em diversas regiões com diferentes condições ambientais, desde regiões de clima tropicais, subtropicais e temperadas (CUI et al., 2023).

Dentre os nutrientes, o P é muito importante pois atua diretamente na quantidade e qualidade da produção de forragem. O fornecimento do P permite incrementos na área foliar, diâmetro do caule, altura das plantas, número de folhas e produtividade de forragem (ASIF et al., 2022). A função mais importante do P nas plantas é a bioenergia, pois é o principal constituinte dos nucleotídeos de adenosina (ADP e ATP), que conserva a energia solar em compostos químicos durante o processo de fotossíntese e também nas reações respiratórias (BHATTACHARYA, 2019).

Os solos brasileiros possuem elevada capacidade de fixação de P devido ao seu alto teor de óxidos e hidróxidos de Fe e Al. Dessa forma, nesses ambientes o P está presente principalmente como fosfatos inorgânicos (Pi) em formas amorfas e cristalinas de fosfatos de cálcio (Ca), alumínio (Al), ferro (Fe), e fosfatos adsorvidos e precipitados na superfície. Estes são insolúveis e a concentração de formas solúveis de fósforo (P) é baixa limitando o rendimento das culturas, dessa forma a fertilização é necessária para fornecer P às culturas. Todavia, o P adicionado nos solos sofrem processos de fixação o que o torna indisponível para as plantas (BARRESI, LAVADO, CHIOCHIO, 2022).

As maiores doses aplicadas de fertilizantes fosfatados para contornar os problemas de fixação de P no solo, embora sejam uma estratégia comumente adotada na agricultura tropical, pressionarão as necessidades nacionais de P (WITHERS et al., 2018) e podem não ser lucrativos para melhorar a eficiência do uso de P no futuro, especialmente nos trópicos (RODRIGUES et al., 2021).

Visando contornar esse problema de fixação do P, e disponibilizar nutrientes como o N e o P, diferentes estratégias foram desenvolvidas, como a utilização de bactérias que participam dos processos de transformação do P do solo, através da solubilização do fósforo (ELNON, WHALEN 2015).

2.3 Bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP)

As plantas podem estabelecer interações com outros organismos que estão presentes no ecossistema para obter melhores condições de desenvolvimento em seus ambientes naturais (ADEDEJI; BABALOLA, 2020). As bactérias estão entre os organismos mais importantes que realizam associações sinérgicas com as plantas (SANTOYO et al., 2016).

As associações entre os microrganismos e plantas podem ocorrer em diferentes locais como na rizosfera (rizosféricos), caule aéreo (caulosfera), superfície das folhas (filosfera) e demais partes das plantas (MULANI et al., 2021). A colonização pode ser externa sobre a superfície dos órgãos e tecidos vegetais, sendo realizada por bactérias epifíticas, ou interna nos tecidos vegetais pelas bactérias endofíticas, em ambas situações sem causar danos ou doenças aos seus hospedeiros (DONG et al., 2019; OROZCO-MOSQUEDA et al., 2020).

Dentre esses organismos benéficos podemos destacar as bactérias que melhoram significativamente o crescimento e desenvolvimento dos vegetais, por meio de diversos mecanismos, e por isso denominadas de bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) (ZHAO et al., 2022).

A aplicação e manutenção da biodiversidade de BPCP no solo é uma ótima estratégia para elevar a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícolas e aumentar a produção global de alimentos (UPADHYAY et al., 2022). O uso de microrganismos propicia muitos benefícios, com efeitos positivos em propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Nas plantas, as BPCP promovem a supressão de patógenos, indução de resistência, e maior absorção de nutrientes (MAHMUD et al., 2021).

As BPCP atuam no crescimento vegetal de forma direta e/ou indireta. A contribuição direta ocorre por meio da: fixação biológica de nitrogênio (FBN) (COMPANT et al., 2019; MAHMUD et al. 2020); solubilização de P (KALAYU, 2019); produção de hormônios (KUDOYAROVA et al., 2019); e sequestro de ferro, através de sideróforos (FERREIRA et al., 2019). Indiretamente possibilita as plantas maior tolerância contra estresses bióticos e abióticos (ETESAMI; GLICK, 2020), indução de resistência sistêmica, proteção contra patógenos, e produção de antibióticos (AFZAL et al., 2019; ZHANG et al., 2019).

Olanrewaju et al. (2021) realizaram a caracterização de isolados de *Bacillus subtilis* e *Bacillus velezensis* da rizosfera de plantas de milho. Nos genomas bacterianos foram encontrados a presença de genes reguladores do metabolismo de N, S e P e presença de vários genes envolvidos na produção de compostos antimicrobianos.

Martins et al. (2018) estudando em condições de campo, a inoculação de *A. brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* na ausência do fertilizante nitrogenado ou associado a aplicação de 100 kg ha^{-1} de N no milho, obtiveram incrementos significativos na produção de biomassa seca da parte aérea, no rendimento de grãos, acúmulo de N no grão, acúmulo de N na palha, e acúmulo de N total.

Avaliando a inoculação de *A. brasiliense* via semente, em condições de campo, Galindo et al., (2020) obtiveram efeito significativo na biomassa da raiz, massa de 100 grãos, rendimento de grãos, acúmulo de N na raiz e parte aérea com aumentos de 14,3; 6,45; 10,55; 31,3; 42,3%, respectivamente, em relação a testemunha.

Abedinzadeh, Etesami e Alikhani (2019) e Saleem et al. (2021) relatam que a inoculação de *Bacillus sp*. MN-54, *Enterobactere e Pseudomonas fluorescens* proporcionou maior desenvolvimento e crescimento de plantas de milho em condições de estresse. Os autores atribuem esses benefícios à algumas BPCP que conseguem degradar o ACC, precursor imediato do hormônio etileno nas plantas, em amônia e α-cetobutirato por intermédio da enzima ACC - desaminase, reduzindo assim o nível de etileno dentro das plantas e consequentemente a senescência foliar.

Além disso, as BPCP aumentam a produção de ácido abscísico (ABA) sob condições de estresse hídrico. Esse hormônio é muito importante nessa situação, pois atua no controle da abertura e fechamento estomático, evitando maiores perda de água para a atmosfera (VISHNUPRADEEP et al., 2022).

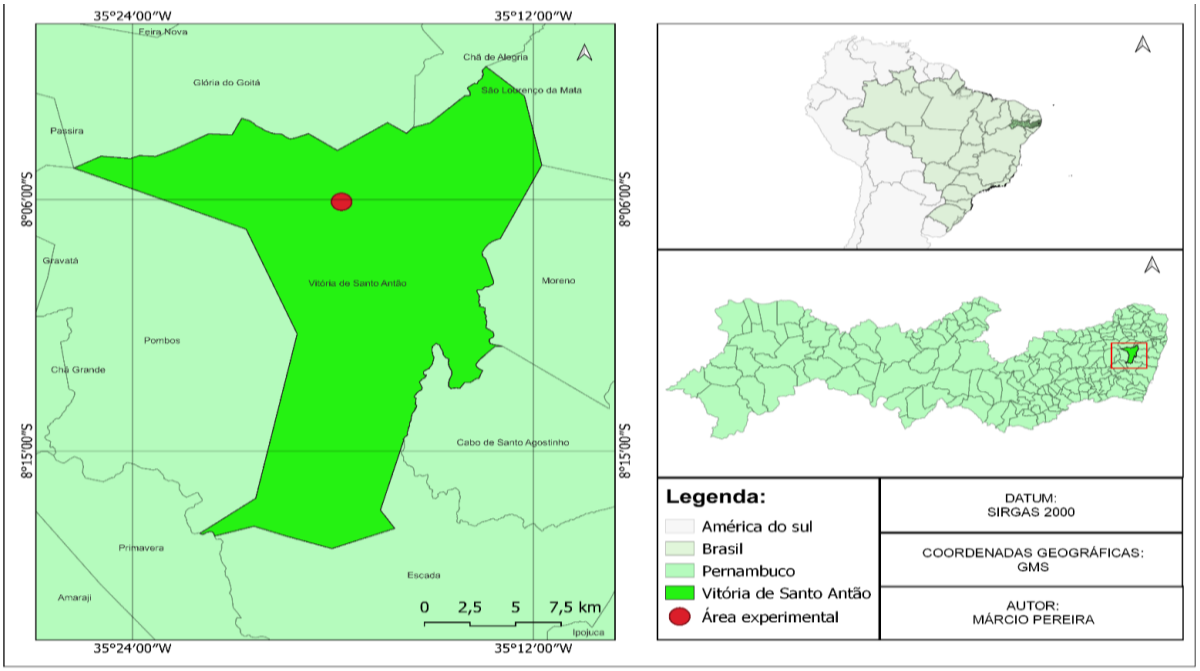
Trabalhando em condições de campo Almeida (2020) avaliou o uso de BPCP associado a diferentes doses de N na cultura do milho na região Nordeste, os gêneros utilizados foram *Bacillus* sp., *Pseudomonas* spp, *Stenotrophomonas* spp, e o *A. brasiliense*. Os resultados mostraram que o uso de *Bacillus* sp. apresentou grande potencial para o desenvolvimento de um inoculante adaptado ao milho e ao ambiente produtivo, sendo semelhante a testemunha que recebeu 100% da dose recomendada de N para a região. Portanto, é necessário avaliar o uso de novas estirpes essencialmente as nativas como *Bacillus* sp. para aumentar a eficiência da inoculação, reduzir a dose de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, e aumenta o rendimento da cultura do sorgo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi executado em campo, entre maio de 2023 e agosto de 2023, no Instituto Federal de Pernambuco *Campus* Vitória de Santão, localizado no município de Vitória de Santo Antão - PE, Brasil (Figura 1).

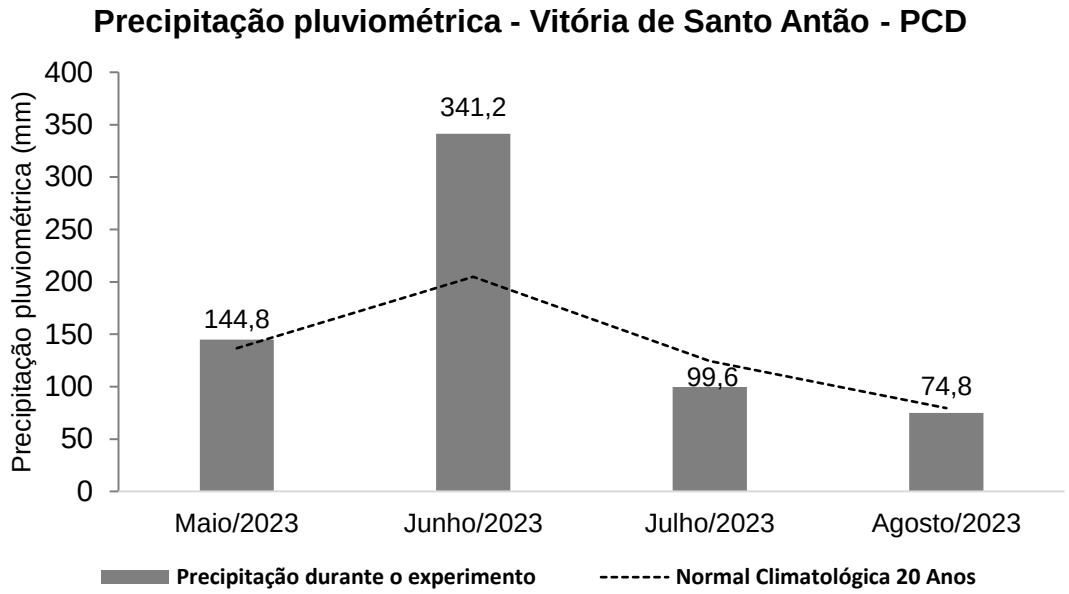
Figura 1. Localização da área experimental, no município de Vitória de Santo Antão – PE.



Fonte: Autor.

O clima do município é considerado quente e úmido, do tipo tropical chuvoso, com o verão seco, conforme a classificação climática de Köppen-Geiger, o período chuvoso inicia no outono/inverno entre os meses de dezembro e janeiro/fevereiro e termina em setembro/outubro, apresenta temperatura média de 23,8 °C (MACHADO; JUNIOR, 2009) e conforme a normal climatológica dos últimos 10 anos a precipitação média anual é de 977 mm (APAC, 2024). A precipitação total ocorrida durante a condução do experimento foi de 660,4 mm (maio a agosto) (Figura 2), não havendo aplicação de água por irrigação.

Figura 2. Pluviometria durante o ensaio experimental em Vitória de Santo Antão – PE.



Fonte: APAC, 2024.

Na área experimental, foi realizada a caracterização química e física do solo em duas profundidades (0,0 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m). Na caracterização química do solo foi determinado o pH (água), Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, Al^{3+}, acidez potencial (H+Al) e carbono orgânico total (COT). Com os resultados dessas análises foi calculada a saturação por bases (V), percentagem de sódio trocável (PST), capacidade de troca de cátions efetiva ($CTC_{efetiva}$) e capacidade de troca de cátions potencial ($CTC_{potencial}$) (Tabela 1).

A caracterização física do solo foi realizada com a determinação da granulometria para definir a textura do solo, fracionamento da fração areia, densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total do solo. As análises químicas e físicas do solo, foram realizadas conforme os procedimentos descritos no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (2017) (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química e física do solo nas profundidades de 0,0 a 0,2 m e 0,2 a 0,4 m, no local do ensaio de campo no Instituto Federal de Pernambuco, em Vitória de Santo Antão - PE.

Atributo	Profundidade (m)	
	0,0 – 0,2	0,2 – 0,4
pH $_{água}$ (1:2,5)	6,10	6,00
pH $CaCl_2$ (1:2,5)	5,20	5,20
Ca^{2+} ($cmol_c\ dm^{-3}$)	5,30	5,20
Mg^{2+} ($cmol_c\ dm^{-3}$)	1,36	1,36
K^+ ($cmol_c\ dm^{-3}$)	0,42	0,40
Na^+ ($cmol_c\ dm^{-3}$)	0,05	0,07
P ($mg\ dm^{-3}$)	118,90	108,10
Al^{3+} ($cmol_c\ dm^{-3}$)	0,00	0,00
(H + Al) ($cmol_c\ dm^{-3}$)	4,48	4,64
COT ($g\ kg^{-1}$)	18,3	13,8
$S\text{-}SO_4^{-2}$ ($mg\ dm^{-3}$)	3,40	3,20
CTC $_{efetiva}$ ($cmol_c\ dm^{-3}$) [2]	7,13	7,03
CTC $_{potencial}$ ($cmol_c\ dm^{-3}$) [3]	11,61	11,67
V (%) [4]	61,41	60,24
m (%) [5]	0,00	0,00
PST (%) [6]	0,43	0,60
Areia Total ($g\ kg^{-1}$)	711,73	688,13
Areia Grossa ($g\ kg^{-1}$)	560,73	546,98
Areia Fina ($g\ kg^{-1}$)	151,00	141,15
Silte ($g\ kg^{-1}$)	169,70	181,37
Argila ($g\ kg^{-1}$)	118,57	130,49
Classe Textural	Franco-arenosa	Franco-arenosa
Dp ($kg\ dm^{-3}$) [7]	2,86	2,86
Ds ($kg\ dm^{-3}$) [8]	1,65	1,75
PT (%) [9]	42,22	38,76

[1] Carbono orgânico total; [2] Capacidade de troca de cátions efetiva; [3] Capacidade de troca de cátions potencial [4] Saturação por bases; [5] Saturação por alumínio; [6] Porcentagem de sódio trocável; [7] Densidade da partícula; [8] Densidade do solo; [9] Porosidade total. Fonte: autor.

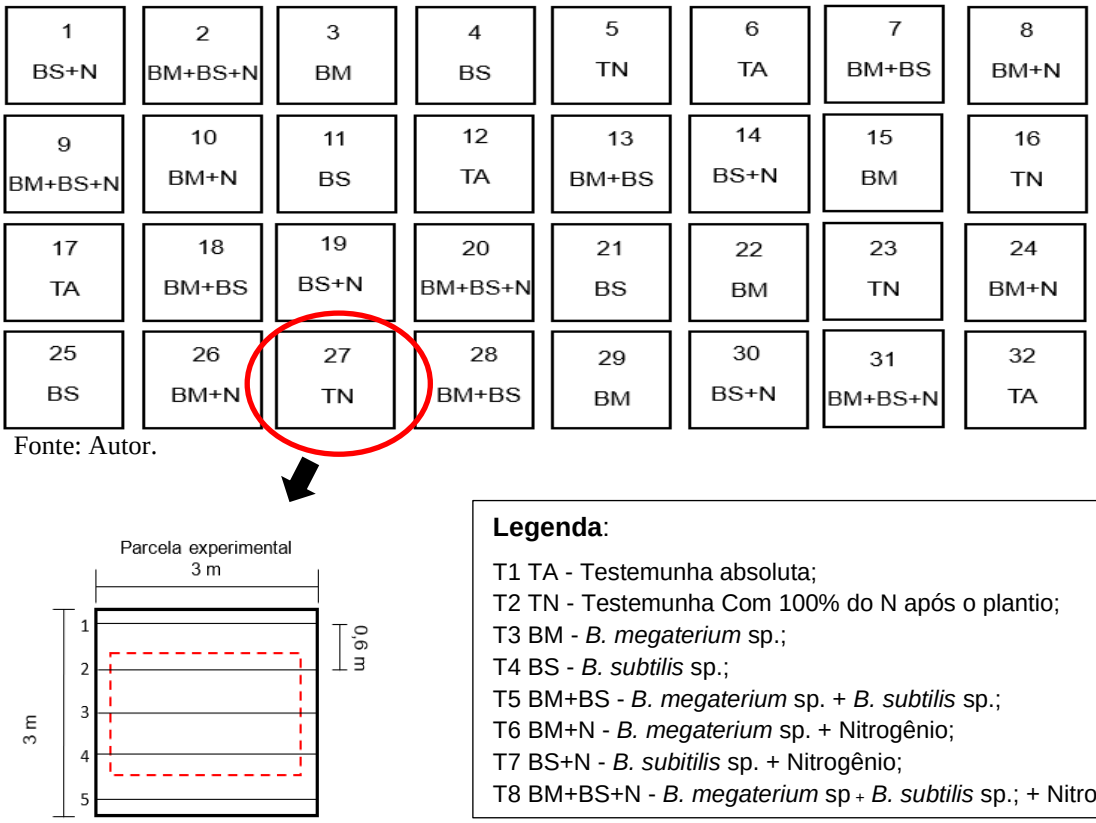
3.2 Delineamento experimental

A pesquisa foi executada com a cultura do sorgo forrageiro, sendo utilizada a variedade BRS Ponta Negra, que foi desenvolvida pela Embrapa Milho e Sorgo, a partir da seleção em gerações segregantes de cruzamento, visando tolerância à toxicidade de alumínio e a seca, motivos para sua grande participação nos ensaios para o Nordeste (SANTOS et al., 2007). Diante dessa característica de maior tolerância à seca optou-se por esta variedade neste estudo, com o intuito de obter maior adaptação às condições, limitantes de disponibilidade hídrica na região pincipalmente durante o verão.

O experimento foi conduzido com oito tratamentos, que consistiram na combinação da inoculação das sementes do sorgo com duas estirpes de bactérias e a adubação mineral, resultando em oito tratamentos com inoculantes combinado com adubação nitrogenada: TA= testemunha absoluta, sem N; TN= testemunha nitrogenada, adubada com 100% do N recomendado; BM= *Bacillus megaterium*, BS= *Bacillus subtillis*, BM+BS= *B. megaterium* + *B. subtillis*, BM+N= *B. megaterium* + nitrogênio, BS+N= *B. subtillis* + nitrogênio e BM+BS+N= *B. megaterium* + *B. subtillis*, + nitrogênio. Foram utilizadas quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais, que foram distribuídas casualmente em quatro blocos.

A unidade experimental foi composta por cinco linhas com 3 m de comprimento, espaçadas por 0,6 metro, totalizando 9 m². A densidade de plantio foi de 12,33 plantas por metro. A área útil foi constituída pelas três linhas centrais, desprezando-se 0,5 m das extremidades, totalizando 4,8 m². As duas linhas localizada nas extremidades da área útil foram utilizadas para realização das amostragens destrutivas e a linha central para as amostragens não destrutivas (Figura 3).

Figura 3. Croqui da área experimental com a distribuição dos tratamentos.



Fonte: Autor.

3.3 Tratamentos e instalação do experimento

Para o preparo do solo da área experimental foi realizado o gradeamento e a correção da fertilidade do solo conforme a interpretação da análise química e recomendações para a cultura. A adubação foi realizada conforme o Manual de Recomendações de Adubação para o Estado de Pernambuco, em fundação foram aplicados 30, 60 e 30 kg ha^{-1} respectivamente de N, P e K, e 60 kg ha^{-1} de N em cobertura (IPA, 2008).

As estirpes de bactérias foram adquiridas da coleção de culturas bacterianas do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), que foram inoculadas das folhas e raízes da cultura da Cana-de-Açúcar. As estirpes foram selecionadas com base nos mecanismos de promoção de crescimento apresentado em avaliação *in vitro*, como: degradação do amido e quitina; produção do AIA; produção de sideróforos*;* capacidade de realizar a FBN e solubilização de fosfato (ANTUNES, 2016).

As linhagens bacterianas foram repicadas de acordo com Kifle e Laing (2016), em placas de petri contendo meio TSA (Trypcase Soy Agar) por 48 h a 28 ± 2 ºC sob agitação constante (150 rpm). Posteriormente, as colônias isoladas foram diluídas com água destilada estéril e o número de células foram ajustadas para 10^8 UFC Ml^{-1}. Para realizar a inoculação, as sementes de sorgo foram condicionadas em becker, e logo após, foram adicionados 37 mL da suspensão adesiva bacteriana (1,0 mL por semente), e foram agitadas e mantidas na suspensão adesiva por 12 horas.

3.4 Variáveis analisadas

3.4.1 Teores de clorofilas, N e P na folha índice

3.4.1.1 Teores das clorofilas na folha índice

Aos 82 DAP, foram realizadas as coletas para análise da clorofila *a*, *b*, total, seguindo metodologia proposta por Lichtenthaler e Buschmam (2001). Foram coletadas dez folhas índice (4ª folha desconsiderando a folha bandeira) (CANTARELLA et al., 1997), descartando-se as extremidades, deixando apenas o terço médio, entre as 09:00 e 11:00 h. Em seguida foram inseridas em caixa de isopor com gelo e levadas ao laboratório. No laboratório, as amostras foram cortadas em fragmentos de 1 mm e pesou-se 0,1 g do tecido foliar que, depois foram

postos em recipientes de plástico de cor preta (evitando o contato com a luz), contendo 10 mL de álcool a 95%, permanecendo incubados por 24 h, sob refrigeração.

A clorofila *a*, *b* e total foi estimada após a leitura dos extratos em espectrofotômetro nos comprimentos de onda 664,1 nm e 648,6 nm para clorofila a e b, respectivamente. Os teores dos pigmentos foram calculados pela equação a seguir, proposta por Lichtenthaler e Buschmam (2001).

Ca ($\mu g\ ml^{-1}$): 13,36 $A_{664,1}$ - 5,19 $A_{648,6}$ (1)
Cb ($\mu g/ml^{-1}$): 27,43 $A_{648,6}$ - 8,12 $A_{664,1}$ (2)
Clorofila total: Ca + Cb (3)

No qual: Ca é o valor da clorofila A, Cb o valor da clorofila B.

3.4.1.2 Teor de N na folha índice

Na fase de emissão da panícula, aos 82 DAP, foram coletadas as folhas índice (4ª folha desconsiderando a folha bandeira) para avaliação do estado nutricional das plantas. Em cada parcela foram coletadas 10 folhas, uma folha por planta. As folhas foram coletadas com o auxílio de tesoura de aço inoxidável, descartando-se as extremidades e a nervura central deixando apenas o terço médio. Em seguida as folhas foram acondicionadas em saco de papel e colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até obter peso constante. Após a obtenção da matéria seca, foi separado 0,1 g para realizar a digestão em solução sulfúrica. A determinação do teor de N foi realizada pelo método de Kjeldahl (MIYAZAWA, 2009).

3.4.1.3 Teor de P na folha índice

A metodologia de amostragem foi a mesma do teor de N. o material triturado, foi utilizado 0,25 g para ser decomposto via digestão sulfúrica e o P determinado por colorimetria (MIYAZAWA et al, 2009).

3.4.2 Crescimento das plantas do sorgo forrageiro

3.4.2.1 Altura de planta e diâmetro do sorgo forrageiro

Aos 104 DAP foi realizada a avaliação da altura e diâmetro das plantas de sorgo, em cinco plantas na área útil da parcela. As medições da altura foram realizadas com uso de trena, medindo-se o colmo rente ao solo até a o local de inserção da última folha completamente desenvolvida. O diâmetro do colmo foi obtido através da medição no meio do primeiro entrenó acima do colo da planta, com o auxílio de um paquímetro (BARBOSA et al., 2013).

3.4.2.2 Área foliar e índice de área foliar

A avaliação de área e índice de área foliar ocorreu em cinco plantas por parcela, aos 104 DAP. A área foliar foi estimada a partir do método proposto por Tollenaar (1992). Foram medidos o comprimento e a maior largura (L) de todas as folhas fotossinteticamente ativas. Conforme Borrás (2003) as folhas que apresentassem ao menos 50% de sua área foliar verde, são consideradas verde. As plantas utilizadas, foram as mesmas da avaliação biométrica.

A área foliar por planta (A), foi estimada pela expressão: A= C x L x 0,75, e expressa em cm^2. A constante 0,75 é um coeficiente de correção para plantas de sorgo, pois as folhas não apresentam formato retangular. A área foliar por planta foi obtida através da soma das áreas de todas as folhas fotossinteticamente ativas. O índice de área foliar, por sua vez, foi estimado por meio da relação entre a área foliar do dossel e o espaço preenchido pela planta em um metro quadrado.

3.4.3 Produtividade de biomassa e acúmulo de N e P na parte aérea

3.4.3.1 Biomassa fresca e seca da parte aérea

Aos 104 DAP, foram coletadas cinco plantas da área útil, realizando-se um corte na base do colmo, na fase de grão pastoso, e posteriormente foi feito a pesagem do material em balança de campo. Com dados de massa e população esperada, foi estimada a produtividade de matéria fresca da parte aérea (MFPA), em Mg ha^{-1}.

Para a estimativa da MSPA, a amostra fresca foi triturada em moinho de facas, e foi acondicionada em saco de papel e pesada. Em seguida, foi colocada em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até obter peso constante, após secagem a amostra foi pesada. Com base nos dados e população de plantas, foi estimada a produtividade de matéria seca da parte aérea (MSPA), em Mg ha^{-1}.

3.4.3.2 Acúmulo de N e P no colmo, folha, panícula e total.

Aos 104 DAP foi realizada a avaliação de acúmulo e alocação de N e P em colmo, folhas e panícula. Para a determinação do teor e acúmulo de N, foram amostradas cinco plantas por parcela, que foram fracionadas em colmo, folhas e panículas. Em seguida, foram pesadas para obtenção da massa fresca de cada fração. Cada fração foi trituradas isoladamente em moinho de facas e acondicionadas em saco de papel. Em seguida, estas amostras foram colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até obter peso constante. Após a obtenção da matéria seca, foi estimada a biomassa seca de cada compartimento, e separados 0,1 g para realizar a digestão em solução sulfúrica. A determinação do teor de N nos compartimentos foi realizada pelo método de Kjeldahl (MIYAZAWA et al, 2009). O acúmulo de N na parte aérea foi estimado pela multiplicação entre o teor de N em cada fração e os valores obtidos pela massa seca das respectivas frações, sendo apresentado em kg ha^{-1}

Da massa seca triturada, foram utilizados 0,25 g para ser decomposto via digestão sulfúrica e o teor de P determinado por colorimetria (MIYAZAWA et al, 2009). O acúmulo de P foi estimado através da multiplicação entre o teor de P em cada fração e os valores obtidos pela massa seca das respectivas frações, sendo apresentado em kg ha^{-1}.

3.5 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) em função dos tratamentos, considerando o delineamento em blocos ao acaso. Nas variáveis em que os efeitos foram significativos (Teste F, $p \leq 0,05$), optou-se pela aplicação do teste de comparação de Scott Knott ($p \leq 0,05$).

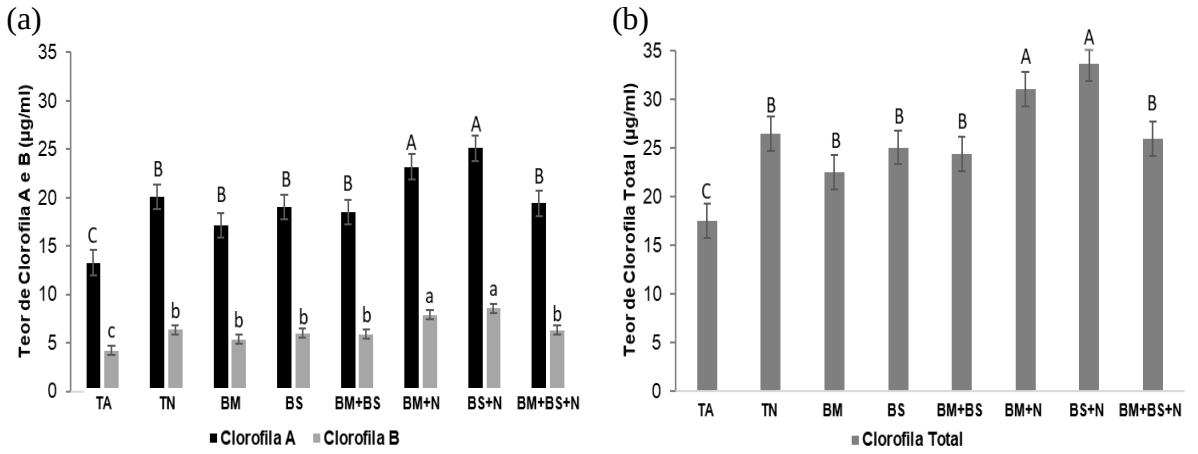
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teores de clorofilas, N e P na folha índice

4.1.1 Clorofila

O teor de clorofila *a*, *b* e total nas folhas do sorgo variou em função dos tratamentos, aos 82 DAP. A clorofila total foi superior nos tratamentos inoculados com *B. subtilis* e *B. megaterium* (33,64 µg ml^{-1} e 31,06 µg ml^{-1}), respectivamente, representando um incremento de 92,56% e 77,79% em relação a testemunha absoluta, que apresentou o menor teor de 17,47 µg ml^{-1} (Figura 3A e 3B).

Figura 4 – Teor de clorofila a e b (a) e total (b) em sorgo forrageiro em função do uso de diferentes tratamentos com inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal e da adubação nitrogenada aos 82 dias após o plantio.



Barras com a mesma letra em cada gráfico não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Scott-knott ($p< 0,001$). TA: Testemunha absoluta; TN: Testemunha nitrogenada; BM: *Bacillus megaterium*; BS: *Bacillus subtilis*; BM+N: *Bacillus megaterium* + nitrogênio; BS+N: *Bacillus subtilis* + nitrogênio; BM+BS+N: Mistura de BM+BS+ nitrogênio.

Incrementos significativos também ocorreram quando comparados a utilização de *B. subtilis* e *B. megaterium* associadas ao N, com a testemunha nitrogenada, houve aumento de 27,18 e 17,43%, respectivamente, na clorofila total. Os resultados obtidos demonstram grande relação entre o N com o teor de clorofila, resultado esperado, pois, o N é um dos constituintes da molécula de clorofila. A quantificação da clorofila fornece um indicativo sobre o estado nutricional e a capacidade da cultura quanto a absorção de luz e a atividade fotossintética da planta (BASSI et al., 2018).

De maneira semelhante a este estudo, observa-se na literatura, pesquisas envolvendo doses de nitrogênio isoladas ou associadas a BPCP em gramíneas, influenciando positivamente o teor de clorofila, como no trabalho de Sapucay et al. (2020). Os autores, avaliando três doses de N (0, 60 e 120 kg ha^{-1}), onde observou que a adubação nitrogenada de 120 kg ha^{-1} em cobertura elevou o teor de clorofila foliar no milho em 6,02% e 5,58%, em relação as doses 0 e 60 kg ha^{-1} de N, respectivamente. Mortate et al. (2020), avaliando o efeito de diferentes doses de N (0, 50, 100, 150, 200 kg ha^{-1}) em conjunto com *A. brasiliense* na cultura do sorgo, observou incremento de 40,48% no teor de clorofila com a aplicação de 200 kg ha^{-1} de N quando comparado a testemunha absoluta.

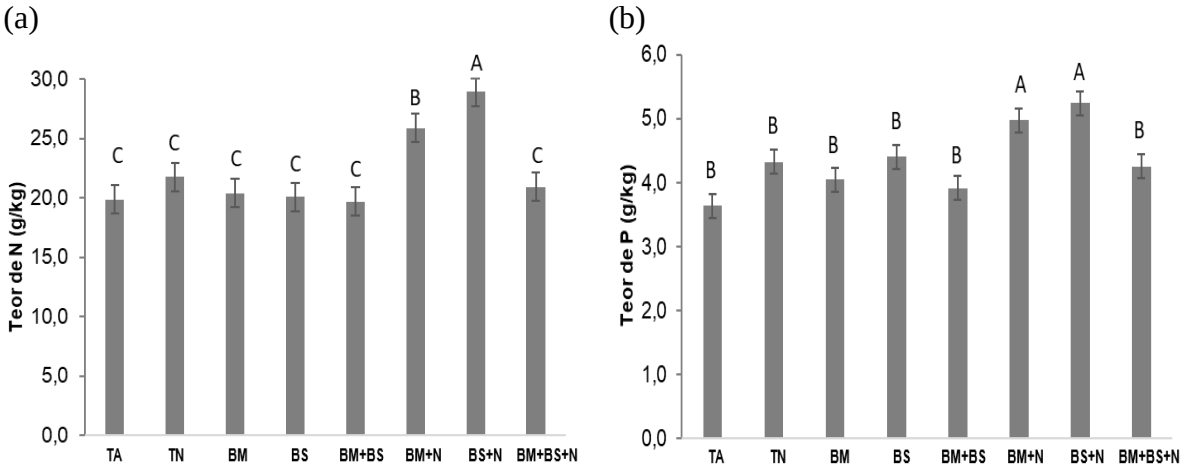
Além disso, nesse estudo foi constatado uma potencialização dos resultados com a utilização das BPCP associadas ao fertilizante nitrogenado, estudos anteriores corroboram com esses resultados, relatando efeito significativo na síntese de clorofila em sorgo com uso de BPCP (PRAVEEN et al., 2012; AQUINO et al., 2019; MORTATE et al., 2020), milho (ALMAGHRABI et al., 2014) e trigo (TURAN et al., 2012). Esse aumento no teor de clorofila observado pode ser resultado da ação das BPCP tanto no processo de fixação biológica do N, quanto por outros mecanismos de promoção do crescimento das plantas como liberação de exsudados e produção de hormônios e sideróforos, ambos contribuindo para maior eficiência de uso do N nas culturas do milho e sorgo (REPKE et al., 2013; SANTOS, 2019; AQUINO et al., 2019).

4.1.2 Teores de N e P na folha índice

Os teores de nutrientes no limbo foliar, coletado na fase de emissão da panícula, foram influenciados significativamente pelos tratamentos (Figura 4). O teor de N foi maior com a inoculação de *B. subtilis* associada ao N (28,91 g kg^{-1}), *B. megaterium* apresentou o segundo maior teor (25,86 g kg^{-1}), os demais tratamentos não diferiram entre si. Para o teor de P, os tratamentos com *B. subtilis* associada ao N e *B. megaterium* associada ao N também foram responsáveis pelos maiores teores 5,24 e 4,97 g kg^{-1}, respectivamente, mas não houve diferença estatística entre os mesmos (Figura 4a e 4b).

Comparando-se os teores foliares de nutrientes relatados nesse estudo (Figura 5) em relação aos teores ideais de N (25 a 35 g kg^{-1}) e P (2,0 a 4,0 g kg^{-1}) citados por Boaretto et al., (2009) e Cantarella et al., (2022). Verificou-se que as plantas apresentaram teores adequados de N apenas nos tratamentos BM+N e BS+N, os demais apresentaram teores de N abaixo da faixa adequada variando entre 19,67 e 21,74 g kg^{-1}.

Figura 5 – Teores de nitrogênio e fósforo na folha índice de sorgo forrageiro em função do uso de diferentes tratamentos com inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal e da adubação nitrogenada aos 82 dias após o plantio.



Barras com a mesma letra em cada gráfico não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Scott-knott ($p< 0,001$). TA: Testemunha absoluta; TN: Testemunha nitrogenada; BM: *Bacillus megaterium*; BS: *Bacillus subtilis*; BM+N: *Bacillus megaterium* + nitrogênio; BS+N: *Bacillus subtilis* + nitrogênio; BM+BS+N: Mistura de BM+BS+ nitrogênio.

Nos tratamentos TA e BM+BS o teor de P estava adequado, nos demais se apresentou acima da faixa de suficiência, mas próximo. Portanto, o manejo de adubação aplicado associado ao uso das BPCP supriu as demandas nutricionais da planta, possibilitando melhor condição para atingir alta produtividade e boa qualidade da forragem.

Oliveira et al. (2022), em estudo realizado no município de Mercês, zona da Mata Mineira, com o sorgo Volumax destinado a produção de biomassa, com o fornecimento de 45 kg ha^{-1} de N, 135 kg ha^{-1} de P e 45 kg ha^{-1} de K no plantio, 200 kg ha^{-1} de N e 200 kg ha^{-1} de K em cobertura, também encontraram teores foliares para N e P dentro das faixas consideradas ideais, variando entre 25,0 a 35,0 e 2,0 a 4,0 em g kg^{-1}, respectivamente.

Souza et al., (2021) avaliando a cultura do sorgo forrageiro variedade IPA467 fertirrigado com diferentes níveis de N (0; 80; 160 e 240 kg ha^{-1}), em Canindé de São Francisco, Semiárido de Sergipe, obtiveram teores de N variando entre 23,16 e 26,68 g kg^{-1}, e o teor de P oscilou entre 3,16 e 4,11 g kg^{-1}). Assim como no presente estudo, a ausência da aplicação do N resultou em teores foliares abaixo da faixa ideal. Os teores máximos alcançados pelos autores foram inferiores aos encontrados no presente trabalho.

Os resultados obtidos nesse estudo para os teores foliares demonstram grande contribuição das BPCP utilizadas no aumento dos teores foliares de N e P, suprindo as demandas desses nutrientes. Essa contribuição pode ser atribuída a FBN (COMPANT et

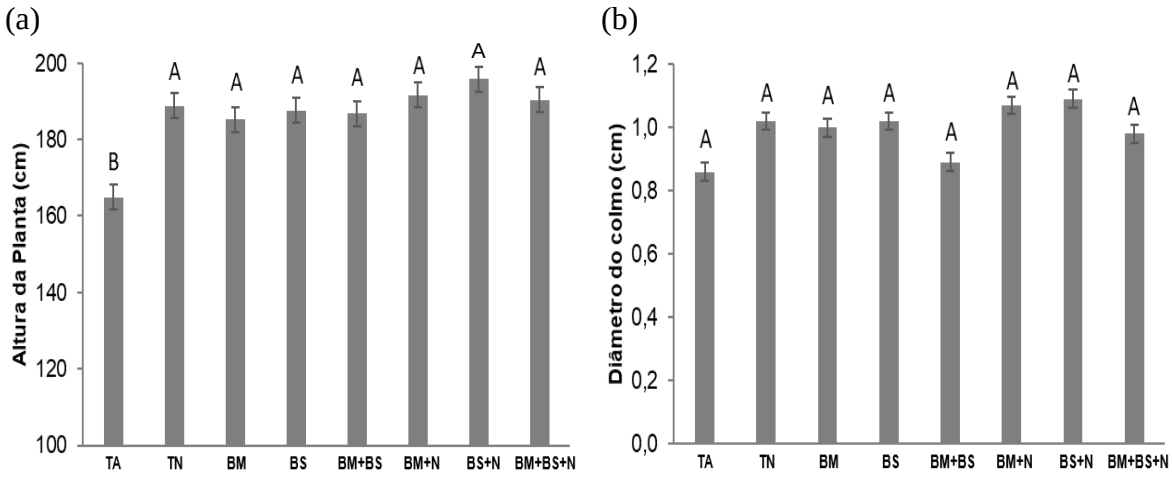
al., 2019; MAHMUD et al. 2020); a solubilização de P (KALAYU, 2019); e produção de hormônios que beneficiam o desenvolvimento do sistema radicular das plantas contribuindo para uma maior absorção de nutrientes (KUDOYAROVA et al., 2019). Encontrar a sinergia entre BPCP e o sorgo é relevante no manejo da nutrição de N e P pois possibilita maior tolerância ao estresse biótico e otimiza o desenvolvimento da cultura. (KHAN et al., 2014; GARCÍA-FRAILE et al., 2015; YADAV; SARKAR, 2019).

4.2 Crescimento das plantas do sorgo forrageiro

4.2.1 Altura de planta e diâmetro do sorgo forrageiro

A altura do sorgo Ponta Negra foi influenciada pela aplicação dos tratamentos, a testemunha absoluta apresentou menor altura (164,90 cm), equivalente a redução de 12,96% quando comparado a média dos demais tratamentos que variaram entre 185,28 e 195,81 cm (Figura 6).

Figura 6 – Altura (a) e diâmetro (b) de sorgo forrageiro em função do uso de diferentes tratamentos com inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal e da adubação nitrogenada, aos 104 dias após o plantio.



Barras com a mesma letra em cada gráfico não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Scott-knott ($p < 0,001$). TA: Testemunha absoluta; TN: Testemunha nitrogenada; BM: *Bacillus megaterium*; BS: *Bacillus subtilis*; BM+N: *Bacillus megaterium* + nitrogênio; BS+N: *Bacillus subtilis* + nitrogênio; BM+BS+N: Mistura de BM+BS+ nitrogênio.

Esses resultados foram semelhantes aos constatado por Samijan et al., (2024), que relataram altura das plantas de sorgo 13,92% menor, quando a aplicação do fertilizante nitrogenado foi omitida. A menor altura das plantas no tratamento TA pode estar associada ao

não fornecimento do N, nutriente fundamental para o crescimento dos vegetais. O N é essencial para o crescimento das plantas, tendo em vista sua atuação em vários processos metabólicos e participação na composição das moléculas de clorofilas, aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos (TAJANE et al., 2019; LI et al., 2025). As plantas de sorgo cultivadas em ambientes restritivos a disponibilidade de N, tem seu desenvolvimento afetado, reduzindo a formação de folhas, altura de plantas e o diâmetro do caule, além de diminuir o acúmulo de massa seca na parte aérea e na raiz (ZHENG et al., 2015).

Convém destacar que o uso das BPCP incrementou significativamente a altura das plantas. Com a inoculação com *B. subtilis*, *B. megaterium* e o mix dessas bactérias houve incrementos de 13,77%, 12,36% e 13,26%, respectivamente, em relação a testemunha absoluta. A altura da planta influencia diretamente a produtividade de biomassa seca da forragem, através do aumento na altura das plantas há maior possibilidade do aumento na produção de massa de colmo, folhas e panículas (PAZIANI et al., 2019). Esses incrementos podem ser atribuídos aos mecanismos utilizados pelas BPCP, como a liberação de N através da FBN e a solubilização de fosfatos potencializando o crescimento e desenvolvimento das plantas. De acordo com Barros et al., (2020), as BPCP em culturas de cereais podem contribuir com 36% a 56% do N absorvido pelas culturas agrícolas.

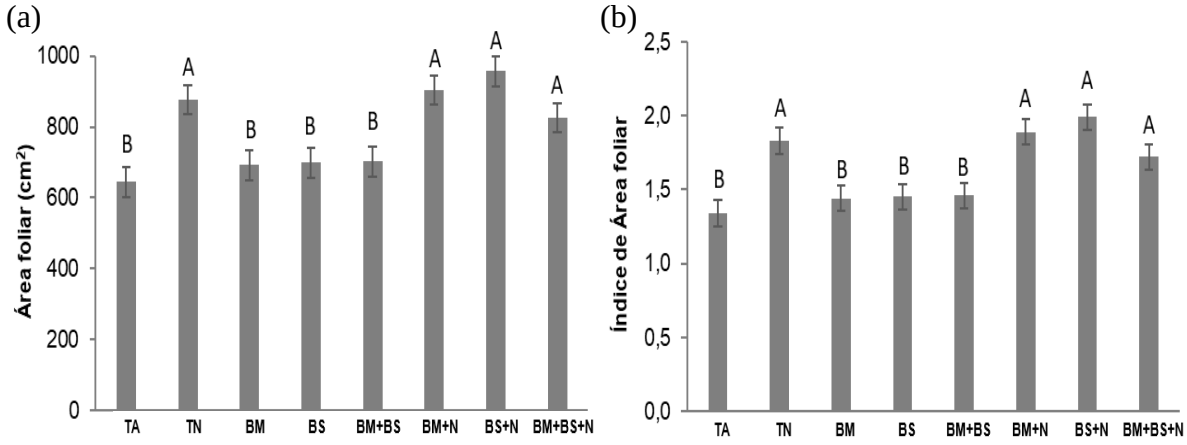
Os tratamentos não causaram alterações significativas no diâmetro do colmo, tendo variado entre 0,86 e 1,09 cm (Figura 6b). Resultados semelhantes foram encontrados por Nakao et al. (2014), em estudo de campo com inoculação de *A. brasiliense* nas doses (0; 50; 100; 150 e 200 mL ha^{-1}) e a adubação mineral comum a todas as parcelas, que foi de 44 kg ha^{-1}de $(NH_2)_2CO$ (ureia), 49 kg ha^{-1}de P_20_5 (superfosfato triplo) e 83 kg ha^{-1}de k_2O (cloreto de potássio). Entretanto, resultados diferentes foram relatados por Pereira et al. (2014), em que o diâmetro do colmo do sorgo granífero variou entre 1,87 cm (testemunha) e 2,20 cm (média dos tratamentos), com incremento de 17,6% pela adubação com N. Esse resultado pode ser justificado pela baixa fertilidade natural do ambiente onde foi realizado o estudo com o sorgo granífero, permitindo alta resposta a adubação com N no diâmetro do colmo.

O diâmetro é um parâmetro de alta herdabilidade genética das plantas genitoras, dessa forma, a falta de resposta dos tratamentos nesse estudo pode ser atribuída ao teor de nutrientes no solo serem suficiente para a expressão dessa característica morfológica (ALBUQUERQUE et al., 2013; PEIFFER et al., 2014).

4.2.2 Área foliar e índice de área foliar

Os maiores incrementos na área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF) do sorgo, aos 104 DAP, foram observados nas plantas que receberam a aplicação de N (TN, BM+N, BS+N e BM+BS+N) (Figuras 7a e 7b).

Figura 7. Área foliar e índice de área foliar em sorgo forrageiro Ponta Negra em função da inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal (*Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis*) e da adubação nitrogenada, aos 104 dias após o plantio.



Barras com a mesma letra em cada gráfico não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Scott-knott ($p < 0,05$). TA: Testemunha absoluta; TN: Testemunha nitrogenada; BM: *Bacillus megaterium*; BS: *Bacillus subtilis*; BM+N: *Bacillus megaterium* + nitrogênio; BS+N: *Bacillus subtilis* + nitrogênio; BM+BS+N: Mistura de BM+BS+ nitrogênio.

Esses resultados obtidos se justificam pelo N ser um nutriente de alta demanda para a cultura, por exercer importante função nos processos bioquímicos da planta, uma vez que é constituinte de proteínas, enzimas, nucleotídeos e aminoácidos que formam a estrutura de ácidos nucleicos e das proteínas, e, portanto, com diversas funções relevantes nas atividades fisiológicas, a disponibilidade de N afeta diretamente a área foliar das culturas (ZHENG et al., 2015).

Quando consideramos a inoculação como único fator de variação, os resultados deste trabalho demonstraram que a utilização de microrganismo não causou diferença significativa para a AF e IAF, tanto na presença quanto ausência do fertilizante nitrogenado. Sandini et al (2024), estudando em casa de vegetação o efeito da inoculação de *A. brasiliense*, *B. subtilis* e três doses de N (0, 50% e 100%) em plantas de milho, verificaram que não houve efeitos sobre a AF e IAF das plantas. Entretanto, também são relatados resultados positivos por Guerra et al. (2024), que constatou diferença significativa na AF em plantas de milho com aplicação de *B. subtilis*, proporcionando incremento de 21,88% na AF em comparação com a testemunha.

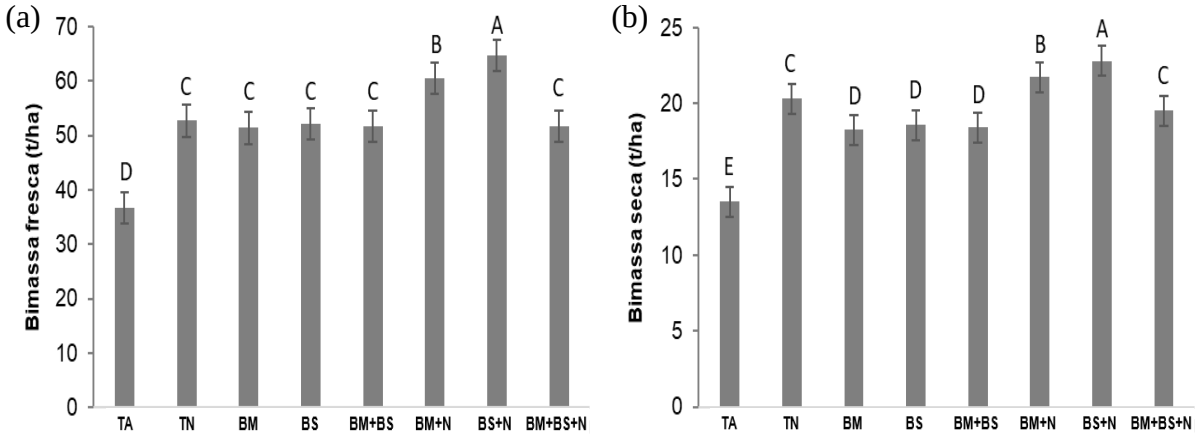
Nas condições locais deste estudo, o período de avaliação aos 104 dias pode ter sido tardio para a ocorrência de efeitos significativos para estas variáveis quanto a inoculação, devido ao processo natural de senescência foliar, levando a redução do número e do percentual de folhas verdes e consequentemente da área foliar. A senescência foliar é um processo benéfico para a sobrevivência de toda planta, contudo a redução da taxa de fotossíntese líquida e a morte celular precoce podem resultar em rendimento reduzido em ambientes agrícolas (GEPSTEIN; GLICK, 2013; ALORYI et al., 2023).

4.3 Produtividade de biomassa e acúmulo de N e P na parte aérea

4.3.1 Matéria fresca e seca da parte aérea

A produtividade de matéria fresca (MFPA) e matéria seca (MSPA) da parte aérea foram influenciadas significativamente pelos tratamentos (Figura 8a e 8b).

Figura 8 – Produtividade de matéria fresca da parte aérea (a) e matéria seca da parte aérea (b) de sorgo forrageiro em função do uso de diferentes tratamentos com inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal e da adubação nitrogenada aos 104 dias após o plantio.



Barras com a mesma letra em cada gráfico não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Scott-knott ($p < 0,001$). TA: Testemunha absoluta; TN: Testemunha nitrogenada; BM: *Bacillus megaterium*; BS: *Bacillus subtilis*; BM+N: *Bacillus megaterium* + nitrogênio; BS+N: *Bacillus subtilis* + nitrogênio; BM+BS+N: Mistura de BM+BS+ nitrogênio.

A maior produtividade de MFPA (64,72 t ha^{-1}) foi obtida com a inoculação de *B. subtilis* associada ao fertilizante nitrogenado, com incremento de 22,90% em relação a TN (52,66 t ha^{-1}). A aplicação de *B. megaterium* também apresentou incremento na MFPA (60,45 t ha^{-1}), com aumento de 14,79% em relação a TN.

Analisando os dados da MFPA e MSPA percebemos que os resultados dos tratamentos isolados de *B. subtilis e B. megaterium* ambas associadas a adubação nitrogenada apresentaram resultados superior à testemunha absoluta e a nitrogenada (Figura 8a e 85b). Considerando os valores de referência do Manual de Adubação para o Estado de Pernambuco, os resultados de MSPA obtidos foram superiores em 52,08% 44,93% com a inoculação de *B. subtilis e B. megaterium* ambas associadas a adubação nitrogenada, respectivamente.

Esses resultados estão de acordo com os demais apresentados neste estudo, quando se observou os maiores teores de clorofila, índice de área foliar, teores de N e P na folha índice, com a utilização das BPCP e N. Provavelmente, a inoculação do sorgo com BPCP e a adubação com N possibilitou a planta uma maior eficiência metabólica, e consequentemente permitiu elevar a produtividade de biomassa. Perazzo et al. (2014), em estudo que avaliaram as características agronômicas de 32 cultivares de sorgo no semiárido brasileiro, encontraram correlação entre a produção de MFPA, produção de MSPA e a altura, diâmetro da planta e área foliar.

Gandra et al. (2024), avaliando a cultura do sorgo inoculada com *B. subtilis* e *B. megaterium* em casa de vegetação, localizada no Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG)-Campus Araçuaí, no Médio Jequitinhonha, relataram que a MFPA e MSPA apresentaram incremento médio 27% em resposta ao tratamento com inoculante, em comparação com plantas testemunha, aos 50 dias após o plantio.

Os resultados obtidos por Aquino et al. (2019) que também inocularam o sorgo com diversas BPCP, como *B. subtilis* e *B. megaterium* corroboram o presente estudo. Os autores observaram que a MFPA e MSPA nas plantas inoculadas se destacaram em relação ao grupo de plantas do controle negativo (plantas sem inoculantes e sem adubação nitrogenada).

Resultados superiores ao deste trabalho foram alcançados por Santos et al. (2013), em estudo realizado na área Experimental de Bebedouro da Embrapa Semiárido, em Petrolina - PE, localizada no baixo médio Vale do São Francisco. No estudo, foram avaliados cinco genótipos de sorgo forrageiro para a região semiárida brasileira (BRS Ponta Negra, BRS 655, BR 601, BRS 506 e BRS 610), e apresentaram produtividade variando de 48,90 a 89,04 t ha^{-1}, e 17,01 a 25,02 t ha^{-1} de MFPA e MSPA, respectivamente. As variedades BRS 506 e BRS Ponta Negra apresentaram as maiores produtividades tanto de MFPA (89,4 e 76,2 t ha^{-1}) quanto de MSPA (25,2 e 19,7 t ha^{-1}). Entretanto, é importante destacar que as condições de alta radiação solar, em Petrolina - PE, pode ter sido o grande diferencial para atingir esse teto produtivo, potencializando a atividade fotossintética, e consequentemente a produção de biomassa.

De maneira geral, o sorgo BRS Ponta Negra no presente estudo apresentou altas produtividades tanto de MFPA quanto de MSPA, principalmente levando em consideração as produtividades reladas para cultivares destinadas a produção de forragem, como por Perazzo et al. (2017). Em estudo que avaliou as características agronômicas de 24 genótipos de sorgo no semiárido brasileiro, encontraram produtividade variando de 22,64 a 44,03 t ha^{-1}, e 8,18 a 14,38 t ha^{-1} de MFPA e MSPA, respectivamente.

4.2.3 Acúmulo de N e P no colmo, folha, panícula e total

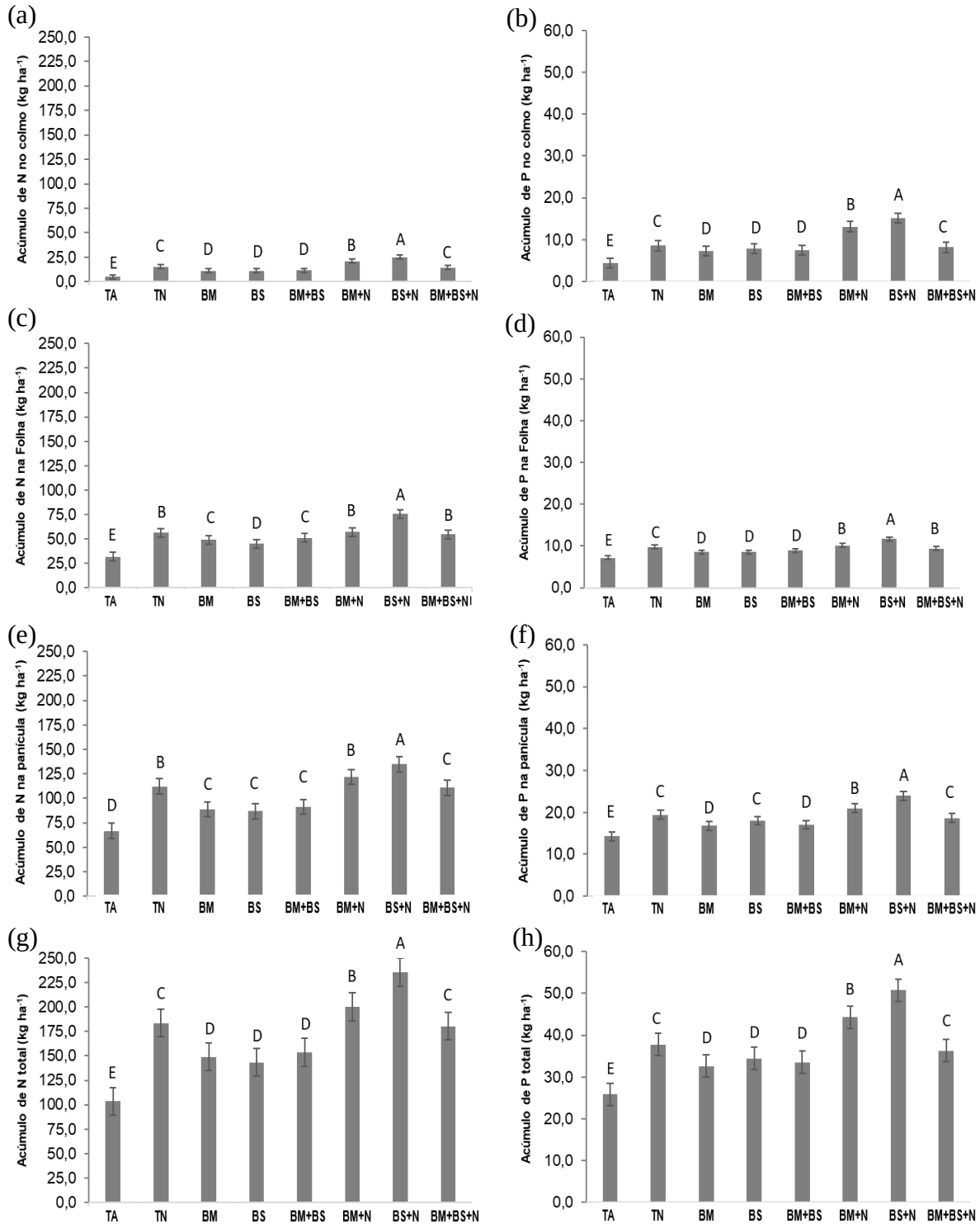
O acúmulo de nutrientes foi influenciado significativamente pelos tratamentos, sendo o acúmulo total de N superior ao do P em todos os compartimentos avaliados (colmo, folhas e panícula) e acúmulo total (Figura 9).

O nutriente com maior acúmulo total foi o N com 235,61 kg ha^{-1}, o P teve um acúmulo total de 50,73 kg ha^{-1} com a utilização de *B. subitilis* associado ao N. A maior demanda de N em relação ao P ocorre porque o N é um dos elementos mais importantes para a nutrição das plantas, sendo essencial para o crescimento e desenvolvimento do sorgo, pois participa do metabolismo e composição da maioria das biomoléculas, como ácidos nucleicos, aminoácidos, clorofila, cofatores, enzimas, vitaminas, metabólitos secundários e hormônios. Além disso, as plantas necessitam de N em quantidades maiores em detrimento de outros elementos, pois é utilizado para realização da fotossíntese em grandes quantidades (PALUCH-LUBAWA et al., 2024).

A inoculação de *B. subtilis* associada ao N permitiu os maiores acúmulos de N, incrementos de 63,37%, 34,67%, 20,19% e 28,11% respectivamente para o colmo, folhas, panícula e total, em relação a testemunha nitrogenada. Para o acúmulo de P, o uso *B. subtilis* associada ao N permitiu os maiores acúmulos alcançando incrementos de 77,14%, 19,75%, 23,10% e 34,46%, respectivamente para o colmo, folhas, panícula e total, em relação a testemunha nitrogenada.

Nesse estudo, os maiores acúmulos com o uso de *B. subtilis* associada ao N, pode estar relacionado a capacidade de produção da urease, relatada em estudo por Antunes (2016) que realizou a caracterização dos parâmetros fisiológicos e bioquímicos promotores de crescimentos dessas BPCP, e a sua maior adaptabilidade ao ambiente em estudo permitindo maior absorção do N.

Figura 9 – Acúmulo de nitrogênio (a, c, e, g) e fósforo (b, d, f, h) no colmo, folha, panícula e total em sorgo forrageiro em função do uso de diferentes tratamentos com inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal e da adubação nitrogenada aos 104 dias após o plantio.



Barras com a mesma letra em cada gráfico não diferem estatisticamente de acordo com o teste de Scott-knott ($p < 0,001$). TA: Testemunha absoluta; TN: Testemunha nitrogenada; BM: *Bacillus megaterium*; BS: *Bacillus subtilis*; BM+N: *Bacillus megaterium* + nitrogênio; BS+N: *Bacillus subtilis* + nitrogênio; BM+BS+N: Mistura de BM+BS+ nitrogênio.

Santana et al., (2020) encontraram resultados semelhantes ao deste trabalho, avaliando diferentes inoculantes e doses de N visando atenuar os efeitos adversos do déficit hídrico na cultura do sorgo variedade BRS Ponta Negra, em estudo realizado em vasos. Os autores relataram que os inoculantes à base de diferentes linhagens de *Bacillus* aumentaram em 53,88% e 34,2% no acúmulo de N e P, respectivamente, na parte aérea em condições climáticas adversas. Os autores ainda afirmaram que as plantas de sorgo que receberam N tiveram a absorção de nutrientes reduzida devido à seca, demonstrando a relevância do uso de BPCP em plantas afetadas pelo estresse hídrico. Além disso, as plantas de sorgo inoculadas apresentaram maior vigor quando submetidas ao estresse hídrico, pois retomaram rapidamente seu crescimento e desenvolvimento, em relação às plantas sem BPCP.

Valores superiores ao deste estudo foram relatados por Franco (2011) em condições de campo na fazenda experimental da UNIMONTES em Janaúba, localizada em Minas Gerais. Avaliando os híbridos de sorgo BRS 601 (forrageiro) e DKB 599 (granífero), encontraram um acúmulo de 303,98 e 55,26 kg ha^{-1} de N e P, respectivamente.

As BPCP contribuem com o fornecimento de N através da FBN, sendo capazes de formar associações por meio de associações rizosféricas e/ou colonização dos tecidos internos da planta estabelecendo associações endofíticas (ROPER; GUPTA, 2016), permitindo realizar a conversão do N atmosférico que está indisponível para absorção pelas plantas em uma forma prontamente disponível para absorção (CEREZINE et al., 2020). De acordo com Saeid et al., (2018) as bactérias também realizam a solubilização de fosfato e aumentam a fertilidade do solo devido à sua capacidade de converter P insolúvel em P solúvel através de mecanismos como a liberação de ácidos orgânicos, quelação e troca iônica, possibilitando maior absorção pelas plantas.

Além dos mecanismos diretos, as BPCP podem afetar a capacidade da planta de adquirir N e P do solo indiretamente, por meio do crescimento do sistema radicular e mineralização de P orgânico (EMAMI et al., 2019). Diante do exposto, podemos deduzir que a inoculação de *B. subtilis* contribuiu para maior absorção de N e P pelas plantas, portanto parte do N adicional extraído pela cultura pode ter sido aportado pela FBN, e o P possivelmente através da solubilização de P que estavam em formas não disponíveis.

Convém destacar que o maior acúmulo de nutrientes ocorreu na panícula. Considerando o tratamento com melhores resultados (*B. subtilis* associado ao N*)* a ordem de acúmulo decrescente de N foi a seguinte: panícula>folha>colmo (134,67; 75,67; e 25,27 kg ha^{-1}) respectivamente, e referente ao P a ordem de acúmulo decrescente foi: panícula>colmo>folha (23,92; 15,11 e 11,70 kg ha^{-1}). Esse resultado é proveniente da maior proporção da panícula em

detrimento do colmo e das folhas, e dos maiores teores de nutrientes na panícula, pois o acúmulo é calculado através da relação entre o teor de nutriente e a biomassa de cada compartimento.

O fornecimento de aminoácido e fonte de N para síntese de proteína microbiana, aumenta a digestibilidade da fibra da forragem e consequentemente seu consumo pelos ruminantes (ALVES et al., 2014; GOMES et al., 2023; LIU et al., 2023; SHI et al., 2024). Portanto, a adequada nutrição mineral da planta tem efeito sobre a qualidade da forragem, pois a produção de vários compostos como aminoácidos e carboidratos essenciais para a nutrição animal dependem da disponibilidade dos nutrientes, logo a forragem obtida foi de alto valor nutricional.

5 CONCLUSÕES

- A inoculação de *B. subtillis e B. megaterium* não influenciaram os parâmetros biométricos avaliados, a área foliar e índice de área foliar, em relação a testemunha nitrogenada, mas permitiram maiores teores clorofila *a*, *b* e total, N e P em relação a testemunha nitrogenada;

- A inoculação de *B. subtillis* associada ao N promoveu maior eficiência na absorção do N e P obtendo desempenho superior à testemunha nitrogenada, e consequentemente permitiu maior produtividade e maior acúmulo de nutrientes nas plantas de sorgo forrageiro.

- Os resultados indicam que a adubação nitrogenada, a princípio, é potencializada quando se inocula o BRS Ponta Negra com o *B. subtillis*. Entretanto, para recomendação mais abrangente (para outros ambientes), recomenda-se novas experimentações em condições edafoclimáticas diferentes às deste trabalho.

- Para os próximos estudos com Sorgo forrageiro associado a BPCP, é necessário realizar variações na dose de N para que seja possível determinar a redução da dose desse fertilizante diante da potencialização do uso de N pelas BPCP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEDINZADEH, M.; ETESAMI, H.; ALIKHANI, H. A. Characterization of rhizosphere and endophytic bacteria from roots of maize (*Zea mays* L.) plant irrigated with wastewater with biotechnological potential in agriculture. **Biotechnology Reports**, v. 21, p. e00305, 2019. https://doi.org/10.1016/j.btre.2019.e00305

ADEDEJI, A. A.; BABALOLA, O. O. Secondary metabolites as plant defensive strategy: a large role for small molecules in the near root region. **Planta**, v. 252, n. 61, 2020. https://doi.org/10.1007/s00425-020-03468-1

ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS, J. R.; MOURA FILHO, G.; REIS, L. S. Plantas de Cobertura e Adubação Nitrogenada na Produção de Milho em Sistema De Plantio Direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 7, p.721-726, jul. 2013. http://dx.doi.org/10.1590/s1415- 43662013000700005

ALI, A. Y. A.; IBRAHIM, M. E. H., ZHOU, G.; NIMIR, N. E. A.; ELSIDDIG, A. M. I.; JIAO, X.; ZHU, G., SALIH, E. G. I.; SULIMAN, M. S. E. S.; ELRADI, S. B. M. Gibberellic acid and nitrogen efficiently protect early seedlings growth stage from salt stress damage in Sorghum. **Scientific Reports**, v.11, n. 1, p.1–11, 2021. https://doi.org/10.1038/s41598-021-84713-9

ALMEIDA, I. V. **Bactérias promotoras de crescimento vegetal em milho: absorção de levedura, solubilização de fosfato e produção**. 2020. 69 F. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020.

ALORYI, K. D.; JING, H. C.; DIJKWEL, P. P. Comparison of leaf senescence regulation between distantly related plant species uncovers knowledge gaps and opportunities for plant improvement strategies. **Environmental and Experimental Botany**, v. 214, p. 105474, 2023. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2023.105474

ALVES, E. M.; Magalhães, D. R.; Freitas, M. A.; Santos, E. J.; Pereira, M. L. A.; Pedreira, M. S. Nitrogen metabolismo and microbial synthesis in sheep fed diets containing slow release urea to replace the convencional urea. **ActaScientiarum.Animal Sciences**, v. 36, n. 1, p. 55-62, 2014. https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v36i1.21377

ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Principais indicadores do setor de fertilizantes**. Acesso em: junho de 2023.

ANTUNES, J. E. L. **Bactérias diazotróficas endofíticas em cana-de-açúcar: estratégia para uma agricultura sustentável**. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.

AQUINO, J. P. A.; MACEDO JUNIOR, F. B.; ANTUNES, J. E. L.; FIGUEIREDO, M. V. B.; ALCÂNTARA NETO, F.; ARAUJO, A. S. F. Plant growth-promoting endophytic bacteria on maize and sorghum. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, p. e56241-e56241, 2019. https://doi.org/10.1590/1983-40632019v4956241

ASIF, M.; ADNAN, M.; SAFDAR, M. E; AKHTAR, N.; KHALOFAH, A.; ALZUAIBR, F. M. O uso integrado de fósforo e estimulante de crescimento (actibion) melhora a produtividade e a qualidade do sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L.). **Jornal da King Saud University-Science**, v. 3, n. 7, p.102236., 2022. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102236

BARRESI, OSVALDO; LAVADO, R. S.; CHIOCCHIO, V. M. ¿ Los hongos endófitos septados oscuros (DSE) pueden movilizar selectivamente el fósforo inorgánico y promover así el crecimiento del sorgo? Un estudio preliminar. **Revista argentina de microbiologia**, v. 3, p. 101-110, 2022. https://doi.org/10.1016/j.ram.2022.02.003

BARROS, B. G. D. F.; FREITAS, A. D. S. D.; TABOSA, J. N.; LYRA, M. D. C. C. P. D.; MERGULHÃO, A. C. D. E. S.; SILVA, A. F. D.; OLIVEIRA, W. S.; JUNIOR, P. I. F.; SAMPAIO, E. V. D. S. B. Biological nitrogen fixation in field-grown sorghum under different edaphoclimatic conditions is confirmed by N isotopic signatures. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 117, p. 93-101, 2020. https://doi.org/10.1007/s10705-020-10051-3

BASSI, D.; MENOSSI, M.; MATTIELLO, L. Nitrogen supply influences photosynthesis establishment along the sugarcane leaf. **Scientific reports**, v. 8, n. 2327, p. 1-13. https://doi.org/10.1038/s41598-018-20653-1

BHATTACHARYA, A. Changing environmental condition and phosphorus-use efficiency in plants. **Changing climate and resource use efficiency in plants**, p. 241-305, 2019. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816209-5.00005-2

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2 ed. Campinas: IAC, 1997. p.45-47 (Boletim Técnico, 100

CEREZINI, P.; PÍPOLO, A. E.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Gas exchanges and biological nitrogen fixation in soybean under water restriction. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, n. 26, p. 4011-4017, 2014. https://doi.org/10.4236/ajps.2014.526419

COELHO, D. S.; SIMÕES, W. L.; SALVIANO, A. M.; SOUZA, M. A.; SANTOS, J. E. Acúmulo e distribuição de nutrientes em genótipos de sorgo forrageiro sob salinidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 2, p. 178-192, 2017. https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n2p178-192

COMEXSTAT – **Estatísticas de Comércio Exterior do Brasil**. Disponível em: http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home Acesso em: junho de 2022.

COMPANT, S.; SAMAD, A.; FAIST, H.; SESSITSCH, A. A review on the plant microbiome: ecology, functions, and emerging trends in microbial application. **Journal of advanced research**, v. 19, p. 29-37, 2019. https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.03.004

CUI, M.; YANG, B.; REN, G.; STEVANATO, P.; FAN, X.; HUANG, P.; SUN, J.; DU, D. Increased and fluctuating phosphorus nutrient availability positively affects the growth of the invasive plant Solidago canadensis. **Flora**, v. 309, p. 152422, 2023. https://doi.org/10.1016/j.flora.2023.152422

CUNHA-ZERI, G.; GUIDOLINI, J. F.; BRANCO, E. A.; OMETTO, J. P. How sustainable is the nitrogen management in Brazil? A sustainability assessment using the Entropy Weight Method. **Journal of Environmental Management**, v. 316, p. 115330, 2022. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115330

DONG, C. J.; WANG, L. L.; LI, Q.; SHANG, Q. M. Bacterial Communities in the Rhizosphere, Phyllosphere and Endosphere of Tomato Plants. **Plos One**, San Francisco, v. 14, n. 11, p.1-17, 2019. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223847

DUARTE, Naiara Lopes. **Cultura do sorgo (Sorghum bicolor [L.] Moench): uma revisão sobre sua versatilidade tecnológica, processamento e pós-colheita.** 2021. 52f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2021. Disponível em: http://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/. Acesso em: 10 jul. 2024.

ELBON, A; WHALEN, J. K. Fornecimento de fósforo para hortaliças a partir de fungos micorrízicos arbusculares: uma revisão. **Agricultura Biológica e Horticultura**, v. 31, n. 2, p. 73-90, 2015. https://doi.org/10.1080/01448765.2014.966147

EMAMI, S.; POURBABAEI, AA; ETESAMI, H.; MOTESSHAREZADEHET, B. Efeito de bactérias rizosféricas e endofíticas com múltiplas características promotoras do crescimento vegetal no crescimento do trigo. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 19, p. 19804-19813, 2019. https://doi.org/10.1007/s11356-019-05284-x

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2004. 403p.

ETESAMI, H; GLICK, B. R. Halotolerant plant growth–promoting bacteria: Prospects for alleviating salinity stress in plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 178, p. 104124, 2020. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104124

FERREIRA, C. M. H.; VILAS-BOAS, Â.; SOUSA, C. A.; SOARES, H. M. V. M.; SOARES, E. V. Comparison of five bacterial strains producing siderophores with ability to chelate iron under alkaline conditions. **AMB Express**, v. 9, n. 78, 2019. https://doi.org/10.1186/s13568-019-0796-3

FRANCO, A. A. N. **Marcha de absorção e acúmulo de nutrientes na cultura do sorgo**. 2011. Dissertação (Mestrado agronomia) Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido - Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES.

FRANCO, M. O. DETMANN, E.; BATISTA, E. D.; RUFINO, L. M.; PAULINO, M. F.; VALADARES FILHO, S. C. Nutritional performance and metabolic characteristics of cattle fed tropical forages with protein and starch supplementation. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, n. 3, p. e20190487, 2021. https://doi.org/10.1590/0001-3765202120190487

GALINDO, F. S.; PAGLIARI, P. H.; RODRIGUES, W. L.; AZAMBUJA, P. M. R.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA, F. Investigação da inoculação de Azospirillum brasilense e aplicação de silício em respostas de produtividade de milho. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, p. 2406-2418, 2020. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00306-x

GANDRA, L. C.; SANTOS, W. S.; OLIVEIRA, F. S.; SANTOS, H. O.; MOREIRA, S. D.; NEIVA, I. P.; SANTOS, E. M. S. Performance of forage plants bioinoculated with BiomaPhos®. **Peer Review**, v. 6, n. 3, p. 255-275, 2024. https://doi.org/10.53660/PRW-1784-3420

GARCÍA-FRAILE, P.; MENÉNDEZ, E.; RIVAS, R. Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry. **Aims Bioengineering**, v. 2, n. 3, p. 183-205, 2015. https://doi.org/10.3934/bioeng.2015.3.183

GEPSTEIN, S.; GLICK, B. R. Strategies to ameliorate abiotic stress-induced plant senescence **Plant Mol. Biol**., v. 82, p. 623-633, 2013. https://doi.org/10.1007/s11103-013-0038-z

GOMES, M. L. R.; SILVA FILHO, J. R. V.; ALVES, F. C.; SILVA, M. N. P.; SOUZA, C. M.; SOUZA, L. C.; VOLTOLINI, T. V. Degradabilidade ruminal in situ de dietas a base de palma forrageira associada à silagem de pornunça. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 44, n. 2, p. 549–566, 2023. https://doi.org/10.5433/1679-0359.2023v44n2p549

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; OLIVEIRA, A. R.; ARAUJO, G. G. L.; SILVA, E. F. F.; WILLADINO, L. G. Biometrics and grain yield of sorghum varieties irrigated with salt water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 4, pp. 285-290, 2019. http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n4p285-290

GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; TABOSA, J. N.; SANTOS, J. E.; WILLADINO, L. G.; Cultivation of forage sorghum varieties irrigated with saline effluent from fish-farming under semiarid conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 5, p. 461-465, 2016. https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n5p461-465

HOSSAIN, M. S.; ISLAM, M. N.; RAHMAN, M. M.; MOSTOFA, M. G.; KHAN, M. A. R. Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 8, p. 100300, 2022. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100300

KALAYU, G. Phosphate solubilizing microorganisms: Promising approach as biofertilizers. **International Journal of Agronomy**, v. 2019. https://doi.org/10.1155/2019/4917256

KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; AHMAD, E. Mecanismo de solubilização de fosfato e funções fisiológicas de microrganismos solubilizadores de fosfato, **in**.: **Phosphate Solubilizing Microorganisms**. ed. M. KHAN, A. ZAIDI; J. MUSARRAT. Suiça. Springer International Publishing, p. 31-62, 2014.

KUDOYAROVA, G.; ARKHIPOVA, T.; KORSHUNOVA, T.; BAKAEVA, M.; LOGINOV, O.; DODD, I. C. Phytohormone Mediation of Interactions Between Plants and Non-Symbiotic Growth Promoting Bacteria Under Edaphic Stresses. **Frontiers in Plant Science**, v. 10 p. 100063, 2019. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01368

LI, CHENG-ZHI; FENG, YU-XI; YU, XIAO-ZHANG. Evaluating the significance of amino acids (AAs) in cyanide-treated rice plants under different nitrogen fertilization using the relative importance index of AA. **Chemosphere**, v. 312, p. 137213, 2023. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137213

LI, Fei.; Yan, H.; Wang, Z.; Liu, T.; Fan, G.; Ren, Y.; Zhang, Y.; Ren. G.; Zhu, W.; Jiang,Y.; Li, H.; Huang, Y.; Song, G.; Li, M.; Deng, Z.; Su, D.; Meng, F.; Gao, F.; Han, F.; Yan, P.; Li, J.; Li, G.. Interpretation of genotype-environment-nitrogen management interactions in the early maturing sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) region of China. **Journal of Agriculture and Food Research**, p. 101600, 2025. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101600

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and Carotenoids: Measurement and Characterization by UV-VIS Spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, 2001. https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01

LIU, H.; Struik, PC.; Zhang, Y.; Jing, J.; Stomph, T. J. Forage quality in cereal/legume intercropping: A meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 304, p. 109174, 2023. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109174

MACHADO, M.R.I.M.de; JUNIOR, J. P. S. da. A mesorregião da Mata Pernambucana e os impactos socioambientais gerados em função do monocultivo da cana de açúcar. Disponível em:<https://www.uff.br/vsinga/trabalhos/Trabalhos%20Completos/Maria%20Rita%20Machado>. Acesso em: 15/04/2024

MAHMUD, K.; MAKAJU, S.; IBRAHIM, R.; MISSAOUI, A. Current progress in nitrogen fixing plants and microbiome research. **Plants**, v. 9, n. 1, p. 97, 2020. https://doi.org/10.3390/plants9010097

MAHMUD, A. A.; UPADHYAY, S. K.; SRIVASTAVA, A. K.; BHOJIYA, A. A. Biofertilizers: A Nexus between soil fertility and crop productivity under abiotic stress. **Current Research in Environmental Sustainability**, v. *3*, p. 100063, 2021. https://doi.org/10.1007/s10653-022-01433-3#ref-CR85]

MAGALHÃES, P. C., DURÃES, F. O. M., RODRIGUES, J. A. S. Fisiologia da planta de sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 86. 4p, 2010.

MARTINS, M. R.; JANTALIA, C. P.; REIS, V. M.; DÖWICH, I.; POLIDORO, J. C.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Impact of plant growth-promoting bacteria on grain yield, protein content, and urea-15 N recovery by maize in a Cerrado Oxisol. **Plant and Soil**, v. 422, p. 239-250, 2018. https://doi.org/10.1007/s11104-017-3193-1

MEIO-NORTE, Embrapa. **Exportação e balanço de nutrientes de culturas agrícolas do Nordeste brasileiro**, 2023. Disponivel em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/251100/1/ExportacaoBalancoNutrientesCulturasAgricolasDoc288.2023-1.pdf

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. S.; MELO, W. J. Análise química de tecido vegetal. **in**.: 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.

MORTATE, R. K.; NUNES, B. .M; COSTA, E. M.; ROCHA, E. M. F.; VENTURA, M. V. A.; PEREIRA, L. S. Resposta de sorgo inoculado com *Azospirillum brasilense* a doses de nitrogênio em cobertura. **Revista Ciência Agrícola**, v. 18, n. 1, p. 65-72, 2020. https://doi.org/10.28998/rca.v18i1.7388

MULANI, R.; MEHTA, K.; SARAF, M.; GOSWAMI, D. Decoding the mojo of plant-growth-promoting microbiomes. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 115, p. 101687, 2021. https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101687

NAKAO, A. H.; SOUZA, M. F. P.; DICKMANN, L.; CENTENO, D. C.; RODRIGUES, R. A. F. Resposta do sorgo granífero à aplicação de diferentes doses e épocas de inoculante (*Azospirillum brasiliense*) via foliar. **Enciclopédia Bioesfera**, 2014, 10, 18, 2702-2714. https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/2879

NASCIMENTO, A. R. L.; FREIRE, C. S.; SILVA, A. F. A.; OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; SANTOS, R. L. Manejo da adubação nitrogenada em solo alcalino cultivado com sorgo sudão. **Revista Geama**, v. 6, n. 2, p. 72-80, 2020.

OLANREWAJU, O. S.; AYILARA, M. S., AYANGBENRO, A. S.; BABALOLA, O. O. Genome mining of three plant growth-promoting Bacillus species from maize rhizosphere. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 193, n. 12, p. 3949-3969, 2021. https://doi.org/10.1007/s12010-021-03660-3

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; BINI, D.; MARRIEL, I. E.; GOMES, EA.; DOS SANTOS, F. C.; COTA, L. V.; SOUSA, S. M.; ALVES, V. M. C.; LANA, U. G. P.; SOUZA, F. F. (2021). **Inoculante à base de bactérias solubilizadoras de fosfato nas culturas do milho e da soja (BiomaPhos®): dúvidas frequentes e boas práticas de inoculação**. Sete Lagoas: EMBRAPA, 2021. 17 p. (EMBRAPA MILHO E SORGO, Comunicado Técnico 252).

OROZCO-MOSQUEDA, M.; D.; C. GLICK, B. R.; SANTOYO, G. ACC deaminase in plant growth-promoting bacteria (PGPB): An efficient mechanism to counter salt stress in crops, **Microbiological Research**, v. 235, 2020, p. 126439. https://doi.org/10.1016/j.micres.20o20.126439

PALUCH-LUBAWA, E.; Tanwar U. K.; Stolarska E.; Arasimowicz-Jelonek M.; Mattoo, A. K.; Sobieszczuk-Nowicka, E. Increasing nitrogen use efficiency in agronomically important plants: An insight into gene characteristics on a genome-wide scale in barley. **Computers in Biology and Medicine**, v. 183, p. 109277, 2024. https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2024.109277

PAZIANI, S. D. F.; DUARTE, A. P.; NUSSIO, L. G.; FREITAS, R. S.; GALLO, P. B.; MATEUS, G. P. Correlações entre variáveis quantitativas e qualitativas de milho e de sorgo para silagem. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 3, p. 408-416, 2019. https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v18n3p408-416

PEIFFER, J. A.; ROMAY, M. C.; GORE, M. A.; FLINT-GARCIA, S. A.; ZHANG, Z.; MILLARD, M. J.; GARDNER, C. A. C.; MCMULLEN, M. D.; HOLLAND, J. B.; BRADBURY, P. J.; BUCKLER, E. S. The Genetic Architecture of Maize Height. **Genetics Bethesda**, v. 196, n. 4, p.1337-1356, fev. 2014. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1534/genetics.113.159152

PERAZZO, A.F.; CARVALHO, G.G.P.; SANTOS, E.M.; PINHO, R.M.A.; CAMPOS, F.S.; MACEDO, C.H.O.; AZEVÊDO. C.A.G.; TABOSA, J.N. Agronomic evaluation of 32 sorghum cultivars in the Brazilian semi-arid region. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.43, n.5, p.232-237, 2014. https://doi.org/10.1590/S1516-35982014000500002

PERAZZO, A. F.; CARVALHO, G. G.; SANTOS, E. M.; BEZERRA, H. F.; SILVA, T. C., PEREIRA, G. A.; RAMOS, R. C. S.; RODRIGUES, J. A. Agronomic Evaluation of Sorghum Hybrids for Silage Production Cultivated in Semiarid Conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. June, p. 1–8, 2017. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01088

PEREIRA, C. M. V.; CARDOSO, R. M. C. **Sorgo**. São Paulo: Ícone Editora Ltda., 1987, 63p.

PEREIRA, R. G.; SILVA, G. F.; OLIVEIRA, F. H. T de; DIÓGENES, T. B. A.; MEDEIROS, P. V. Q. Desempenho agronômico do sorgo granífero adubado com nitrogênio e fósforo no semiárido do Rio Grande do Norte. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 24 – 36, 2014.

PINHEIRO, A. G.; L. S. B., JARDIM, A. M. R. F., JÚNIOR, G. N. A.; ALVES, C. P.; SOUZA, C. A. A.; LEITE, R. M. C.; SILVA, T. G. F. Lacunas de produtividades e estratégias de cultivo na melhoria da produção de forragem para a região semiárida brasileira-Revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 04, p. 2403-2426, 2021.

PINHO, FIORINI e SANTOS, 2014. **Botânica**. In: BORÉM, A.; PIMENTEL, L.; PARRELLA, R. Sorgo: do plantio a colheita. UFV, Viçosa - MG, 2014. 275p.

POURHADIAN, H.; KAMKAR, B.; SOLTANI, A.; MOKHTARPOUR, H. Evaluation of forage maize yield gap using an integrated crop simulation model-satellite imagery method (Case study: four watershed basins in Golestan Province). **Archives of Agronomy and Soil Science**, V. 65, n. 2, p. 253–268, 2019. https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1493579

PRAVEEN, K. G.; DESAI, S.; AMALRAJ, L. D.; E., AHMED, S. K. M. H.; REDDY, G. Pseudomonas spp. from diverse agro-ecosystems of India for Sorghum bicolor L. **J Biofert Biopest S**, v. 7, p. 2, 2012. https://doi.org/10.4172/2155-6202.S7-001

QUINTINO, A. D. C.; ABREU, J. G.; ALMEIDA, R. G.; MACEDO, M. C. M.; CABRAL, L. D. S.; GALATI, R. L. Valor nutritivo de silagem de capim-piatã em monocultivo e em consórcio com sorgo de corte e pastejo. **Ciência Animal Brasileira**, v. 17, n.02, p. 185-191, 2016. https://doi.org/10.1590/1089-6891v17i219107

RATNAVATHI, C. V.; KOMALA, V. V. Sorghum Grain Quality. *In*: RATNAVATHI, C. V.; PATIL, J. V.; CHAVAN, U. D. **Sorghum biochemistry:** an industrial perspective. Academic Press, 2016. cap. 1, p. 1-61

REPKE, R. A.; CRUZ, S. J. S.; SILVA, C. J.; FIGUEIREDO, P. G.; BICUDO, S. J. Eficiência da *Azospirillum brasilense* combinada com doses de nitrogênio no desenvolvimento de plantas de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 214-226, 2013. https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v12n3p214-226

RIBAS, P. M. Importância econômica: cultivo do sorgo. Sete Lagoas, MG: Embrupa Milho e Sorgo, 2009. 71p

RODRIGUES, M.; WITHERS, P. J. A.; SOLTANGHEISI, A.; VARGAS, V.; HOLZSCHUH, M.; PAVINATO, P. S. Tillage systems and cover crops affecting soil phosphorus bioavailability in Brazilian Cerrado Oxisols. **Soil and Tillage Research**, v. 205, p. 104770, 2021. https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104770

ROPER, M. M.; GUPTA, V. V. S. R. Enhancing Non-symbiotic N2 Fixation in Agriculture. **The Open Agriculture Journal**, v. 10, n. 1, p. 7±27, 2016. https://doi:10.2174/1874331501610010007

SAEID, A; PROCHOWNIK, E.; DOBROWOLSKA-IWANEK, J. Phosphorus solubilization by Bacillus species. **Molecules**, v. 23, n. 11, p. 2897, 2018. https://doi.org/10.3390/molecules23112897

SALEEM, M.; NAWAZ, F.; HUSSAIN, M. B.; IKRAM, R. M. Comparative effects of individual and consortia Plant Growth Promoting Bacteria on physiological and enzymatic mechanisms to confer drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, p. 3461-3476, 2021. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00620-y

SAMIJAN, S.; NURWAHYUNI, E.; MINARSIH, S.; SUPRIYO, A.; JAUHARI, S.; HINDARWATI, Y.; SETIAPERMAS, MN.; PRAPTANA, R.; WINARNI, E.; ARISTYA, V. Optimizing Sorghum Productivity Using Balanced Fertilizers on Dryland. **Phyton**, v. 93, n. 7, 2024. https://doi.org/10.32604/phyton.2024.048339

SANDINI, A. H.; GUIMARÃES, A. G.; BOTELHO, G. R.; JUNIOR, C. D. C. T.; SANTOS, E. A. F.; BELEN, G. D. Crescimento vegetativo de genótipos de milho com diferentes inoculantes e adubações nitrogenadas. **Scientia agraria**, v. 20, n. 2, p. 1, 2024. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v20i2.95536

SANTANA, S. R. A..; VOLTOLINI, T. V..; ANTUNES, G. D. R..; SILVA, V. M..; SIMÕES, W. L.; MORGANTE, C. V.; JÚNIOR, P. I. F. Inoculation of plant growth-promoting bacteria attenuates the negative effects of drought on sorghum. **Archives of microbiology**, v. *202*, p. 1015-1024, 2020. https://doi.org/10.1007/s00203-020-01810-5

SANTOS, R. D. D.; PEREIRA, L. G. R.; NEVES, A. L. A.; RODRIGUES, J. A. S.; COSTA, C. T. F.; OLIVEIRA, G. F. D. Agronomic characteristics of forage sorghum cultivars for silage production in the lower middle San Francisco Valley. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. *35*, p. 13-19, 2013. https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v35i1.1307

SANTOS, J. P. A. S.; SILVA, J. O. N.; SALVADOR, K. R. S.; GUERRA, T. M.; JARDIM, A. M. D. R. F.; SILVA, N. S. G.; AVIZ, R. O.; LEITE, M. L. D. M. Eficiência bioeconômica da adubação mineral na cultura do sorgo. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, p. e563111335912-e563111335912, 2022. http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i13.35912

SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Inoculantes microbianos: revisando o passado, discutindo o presente e prevendo um futuro marcante para o uso de bactérias benéficas na agricultura. **Expresso AMB**, v.9, p. 205, 2019. https://doi.org/10.1186/s13568-019-0932-0

SANTOS, F.G.; Rodrigues, J. A. S.; Schaffert, R. E.; LIMA, J. M. P.; Pitta, G. V. E. Casela, C. R.; Ferreira, A. S. BRS Ponta Negra - Variedade de Sorgo Forrageiro. **Comunicado Técnico 145**. EMBRAPA, Sete Lagoas, MG, 2007. https://core.ac.uk/download/pdf/15429016.pdf

SAPUCAY, M. J. L.; FERREIRA, A. S.; OLIVEIRA, A. L. M.; ZUCARELI, C. Rizobactérias em pós-emergência e adubação nitrogenada de cobertura no desempenho agronômico do milho. **MAGISTRA**, v. 31, p. 653-660, 2020. https://periodicos.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/4319

SILVA, T. I.; SANTANA, L. D.; CAMARA, F. T.; PINTO, A. A.; BRITO, L. L. M.; MOTA, A. Productivity and agronomic characteristics of five sorghum genotypes. **Revista Espacios**, v. 38, n.27, p. 16-27, 2017

SHI, Z.; Liang, G.; Liu, W.; Li, S.; Qin, Y. Optimization of nitrogen and phosphorus fertilization for enhanced forage production and quality of Festuca Krylovianacv. Huanhu artificial grassland in alpine regions. **Heliyon**, v. 10, n. 15, 2024. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35116

SOUZA, E. G. F.; NASCIMENTO, D. L. D.; SILVA, R. S. D.; SILVA, T. P. D.; PEREIRA, D. D. F.; BARROS, J. S.; CRUZ, E. A. D.; SILVA, M. D. O. LEAF DIAGNOSIS AND PRODUCTIVITY OF FORAGE SORGHUM FERTIGATED WITH NITROGEN DOSES IN TWO HARVESTS. **Revista Brasileira De Milho e Sorgo**, v. 20, p. 12-12, 2021. https://doi.org/10.18512/rbms2021v20e1201

TAJANE, D.; USADADIA, V. P.; D.; BORASE, S.; SAWADHKAR, S.; Effect of irrigation and nitrogen on production potential of sorghum (*sorghum bicolor* l.) under south Gujarat condition. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences,** v. 8 n. 9, p. 1801–1806, 2019. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.809.208

TURNER, N. C. Turgor maintenance by osmotic adjustment: 40 years of progress. **Journal of Experimental Botany**, v. 69, n. 13, p. 3223-3233, 2018. https://doi.org/10.1093/jxb/ery181

VISHNUPRADEEP, R.; BRUNO, L. B.; TAJ, Z.; KARTHIK, C.; CHALLABATHULA, D.; KUMAR, A.; FREITAS, E.; RAJKUMAR, M. Plant growth promoting bacteria improve growth and phytostabilization potential of Zea mays under chromium and drought stress by altering photosynthetic and antioxidant responses. **Environmental Technology & Innovation**, v. 25, p. 102154, 2022. https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102154

ZHENG, H.; LIU, I.; QIN, Y. CHEN, Y.; FAN, MEstablishing dynamic thresholds for potato nitrogen status diagnosis with the SPAD chlorophyll meter. **Journal of Integrative Agriculture**, v.14, n.1, p.190-195, 2015 https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60925-4

YADAV, K. K.; SARKAR, S. Biofertilizantes, impacto na fertilidade do solo e produtividade das culturas sob agricultura sustentável. **Environmental Ecology**. V. 37, p. 89-93, 2019.

APÊNDICE A – ÁREA EXPERIMENTAL.

APÊNDICE B – PLANTAS DE SORGO AOS 74 DAP INÍCIO DA EMISSÃO DAS PANÍCULAS.

APÊNCICE C – TEORES DE CLOROFILA A (CB), CLOROFILA B (CB), CLOROFILA TOTAL (CT), NITROGÊNIO NA FOLHA ÍNDICE (NFI), FÓSFORO NA FOLHA ÍNDICE (NFI), ALTURA (ALT), DIÂMETRO (DIÂ), ÁREA FOLIAR (AF), ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF) EM SORGO FORRAGEIRO EM FUNÇÃO DO USO DE DIFERENTES TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL E DA ADUBAÇÃO NITROGENADA.

Fator	CA	CB	CT	NFI	PFI	ALT	DIÂ	AF	IAF	MFPA	MSPA
		---- µg ml^{-1} ----		---- g kg^{-1} ----		---- cm ----		----cm^2 ----		---- t/ha^{-1} ----	
TA	13,28 C	4,19 C	17,47 C	19,84 C	3,63 B	164,90 B	0,86 A	644,21 B	1,34 B	36,71 D	13,53 E
TN	20,10 B	6,35 B	26,45 B	21,74 C	4,32 B	188,80 A	1,02 A	877,38 A	1,83 A	52,66 C	20,31 C
BM	17,14 B	5,38 B	22,52 B	20,38 C	4,04 B	185,28 A	1,00 A	691,89 B	1,44 B	51,34 C	18,25 D
BS	19,04 B	6,00 B	25,04 B	20,06 C	4,4 B	187,60 A	1,02 A	698,74 B	1,45 B	52,04 C	18,58 D
BM+BS	18,50 B	5,87 B	24,37 B	19,67 C	3,91 B	186,77 A	0,89 A	702,01 B	1,46 B	51,63 C	18,42 D
BM+N	23,19 A	7,87 A	31,06 A	23,73 B	4,97 A	191,60 A	1,07 A	904,46 A	1,89 A	60,45 B	21,74 B
BS+N	25,09 A	8,55 A	33,64 A	28,91 A	5,24 A	195,81 A	1,09 A	956,90 A	1,99 A	64,72 A	22,80 A
BM+BS+N	19,40 A	6,29 A	25,93 A	20,92 C	4,25 B	190,38 A	0,98 A	825,74 A	1,72 A	51,74 C	19,52 C
Valor de F	$20,66^{***}$	$35,35^{***}$	$25,87^{***}$	$12,19^{***}$	$3,99^{***}$	$6,70^{***}$	$2,09^{ns}$	$2,70^{***}$	$2,63^{***}$	$112,90^{***}$	$94,91^{***}$
CV (%)	8,14	7,29	7,56	8,74	12,32	3,84	11,29	7,81	7,85	2,91	3,00

Letras idênticas, maiúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Scott-knott; ns não significativo; *** significativo a 0,1%, de probabilidade. TA: Testemunha absoluta; TN: Testemunha nitrogenada; BM: *Bacillus megaterium*; BS: *Bacillus subitilis*; BM+N: *Bacillus megaterium* + nitrogênio; BS+N: *Bacillus subitilis* + nitrogênio; BM+BS+N: Mistura de BM+BS+ nitrogênio.

APÊNDICE D – ACÚMULO DE NITROGÊNIO NO COLMO (ACNC), ACÚMULO DE FÓSFORO NO COLMO (ACPC), ACÚMULO DE NITROGÊNIO NA PANÍCULA (ACNP), ACÚMULO DE FOSFORO NA PANÍCULA (ACPP), ACÚMULO DE NITROGÊNIO NA FOLHA (ACNF), ACÚMULO DE FÓSFORO NA FOLHA (ACPF), ACÚMULO DE NITROGÊNIO TOTAL (ACNT) E ACÚMULO DE FÓSFORO TOTAL (ACPT) EM SORGO FORRAGEIRO EM FUNÇÃO DO USO DE DIFERENTES TRATAMENTOS COM A INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL E DA ADUBAÇÃO NITROGENADA.

Fator	ACNC	ACPC	ACNF	ACPF	ACNP	ACPP	ACNT	ACPT
	---------- g kg^{-1} ----------							
TA	4,84 E	4,38 D	32,07 E	7,19 E	66,70 D	14,25 E	103,61 E	25,82 E
TN	15,45 C	8,53 C	56,19 B	9,77 B	112,04 B	19,43 C	183,68 C	37,73 C
BM	11,19 D	7,27 C	49,13 C	8,52 C	88,76 C	16,77 D	149,08 D	32,56 D
BS	11,21 D	7,86 C	45,21 D	8,56 C	86,93 C	18,01 C	143,35 D	34,43 D
BM+BS	11,49 D	7,47 C	51,03 C	8,94 C	91,23 C	17,07 D	153,75 D	33,48 D
BM+N	21,18 B	13,11B	57,28 B	10,14 B	121,83 B	21,01 B	200,29 B	44,26 B
BS+N	25,27 A	15,11 A	75,67 A	11,70 A	134,67 A	23,92 A	235,61 A	50,73 A
BM+BS+N	14,66 C	8,16 C	54,72 B	9,41 B	110,94 B	18,69 C	180,32 C	36,26 C
Valor de F	71,733***	61,691***	75,977***	30,469***	32,827***	40,033***	71,584***	66,764***
CV (%)	10,47	9,76	5,37	5,21	7,57	4,95	5,64	5,05

Letras idênticas, maiúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Scott-knott; ns não significativo; *** significativo a 0,1%, de probabilidade. TA: Testemunha absoluta; TN: Testemunha nitrogenada; BM: *Bacillus megaterium*; BS: *Bacillus subitilis*; BM+N: *Bacillus megaterium* + nitrogênio; BS+N: *Bacillus subitilis* + nitrogênio; BM+BS+N: Mistura de BM+BS+ nitrogênio.