

Bioinoculantes em sistema integrado de sorgo e capim Paiaguás no semiárido: evidências in sílico e fenotípicas

O objetivo do presente estudo foi buscar evidências da atuação dos bioinoculantes Biomaphos® e Azotrop® no desenvolvimento do sorgo, por meio de análise bioinformática, e por fim, conhecer a resposta do sorgo, integrado ao capim paiaguás, aos bioinoculantes comerciais combinados com diferentes doses de adubação química em condições de sequeiro. Para isso, utilizou-se as plataformas online STRING e STITCH para a elaboração de redes de interação proteica e redes de interação químico-proteína, respectivamente. Em seguida, delineou-se um estudo em blocos casualizados, com 2 repetições, utilizando-se o híbrido de sorgo BRS Ponta Negra e o capim paiaguás, e tratamentos com os bioinoculantes Biomaphos® e Azotrop® (0,2g de cada produto para 20g de sementes de sorgo) sozinhos ou combinados e associados com diferentes doses de adubação. As seguintes características agronômicas foram avaliadas: altura da planta, população de plantas, diâmetro do caule e determinação de incidência de pragas e doenças. Na época da colheita do sorgo, foi quantificada a biomassa fresca e seca da parte aérea e estimada a produtividade do sorgo por meio do método rápido. Nas redes de interação proteica produzidas a partir da molécula de entrada nitrogênio, percebeu-se na rede do sorgo a presença de proteínas ainda não caracterizadas como a Sb05g010020.1 e Sb09g020710.1. Na rede proteica do Azospirillum brasilense destaca-se as proteínas ATPase exportadora de cátions (fix), desidrogenase - subunidade A (fdhA) e proteína de ferro nitrogenase, (nifH). Por fim, mesmo que de forma menos expressiva, os microrganismos do gênero Bacillus podem atuar na fixação do nitrogênio por meio de diferentes proteínas. As redes de interação proteica das diferentes espécies, formadas a partir da molécula fósforo mostraram também proteínas ainda não caracterizadas no sorgo. No Azospirillum brasilense a proteína ppnK aparece no centro da rede interligando muitas moléculas. No Bacillus subtilis a proteína com um maior número de ligação na rede é a ppnK1. Na rede proteica do Bacillus megaterium destaca-se a proteína BMQ_0729. Nos resultados obtidos nas análises fenotípicas não foi possível observar o efeito dos bioinoculantes no desempenho do sorgo plantado em sistema integrado com o capim paiaguás. Estudos adicionais são necessários para elucidar os efeitos dos bioinoculantes nas características agronômicas e produtividade do sorgo nas condições edafoclimáticas no Vale do Jequitinhonha, uma vez que os resultados obtidos no presente trabalho ainda não foram conclusivos, possivelmente em decorrência das condições climáticas atípicas da safra 2021-2022.

Palavras-chave: Bioinformática; Redes de interação proteica; Azospirillum; Bacillus; Sorghum bicolor.

Bioinoculants in integrated system of sorghum and Paiaguás grass in the semi-arid region: in silico and phenotypic evidence

The objective of the present study was to seek evidence of the performance of Biomaphos® and Azotrop® bioinoculants in the development of sorghum, through bioinformatic analysis, and finally, to know the response of sorghum, integrated with paiaguás grass, to commercial bioinoculants combined with different doses of chemical fertilization under rainfed conditions. For this, the online platforms STRING and STITCH were used to create protein interaction networks and chemical-protein interaction networks, respectively. Then, a study was designed in randomized blocks, with 2 replications, using the BRS Ponta Negra sorghum hybrid and paiaguás grass, and treatments with Biomaphos® and Azotrop® bioinoculants (0.2g of each product for 20g of sorghum seeds) alone or combined and associated with different fertilization doses. The following agronomic characteristics were evaluated: plant height, plant population, stem diameter and influence of pests and diseases. At the time of sorghum harvest, the fresh and dry biomass of the aerial part was quantified, and the sorghum productivity was calculated using the rapid method. In the protein interaction networks produced from the input molecule await, the presence of proteins not yet characterized in the sorghum network can be observed, such as Sb05g010020.1 and Sb09g020710.1. In the protein network of Azospirillum brasilense, the ATPase proteins that export cations (fix), dehydrogenase - subunit A (fdhA) and iron protein nitrogenase (nifH) stand out. Finally, even if in a less expressive way, microorganisms of the genus Bacillus can act in the fixation of what remains through different proteins. The protein interaction networks of the different species, formed from the molecule, also met proteins not yet characteristic in sorghum. In Azospirillum brasilense, the ppnK protein appears at the center of the network interconnecting a large number of lists. In Bacillus subtilis, the protein with the highest number of connections in the network is ppnK1. In the Bacillus megaterium protein network, the BMQ_0729 protein stands out. In the results obtained in the phenotypic analyses, it was not possible to observe the effect of bioinoculants on the performance of sorghum planted in an integrated system with paiaguás grass. Additional studies are needed to elucidate the effects of bioinoculants on the agronomic characteristics and productivity of sorghum under edaphoclimatic conditions in the Jequitinhonha Valley, since the results obtained in the present work have not yet been conclusive, possibly due to the atypical climatic conditions of the 2021-2022.

Keywords: Bioinformatics; Protein interaction networks; Azospirillum; Bacillus; Sorghum bicolor.

Topic: **Experimentação Agrícola**

Received: **10/12/2022**

Approved: **12/03/2023**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Iara dos Santos Pereira

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/033280512444497>
eliane.santos@ifnmg.edu.br

Cíntia Rocha Santos

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9101205309692142>
eliane.santos@ifnmg.edu.br

Larissa Cordeiro Gandra

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7756679875843176>
eliane.santos@ifnmg.edu.br

Wagner Silva dos Santos 

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7295641656908064>
<https://orcid.org/0000-0002-7379-7124>
eliane.santos@ifnmg.edu.br

Fernanda Soares Oliveira 

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil
fernanda.soares@ifnmg.edu.br

Hércules Otacilio Santos

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7295641656908064>
<https://orcid.org/0000-0002-7379-7124>
eliane.santos@ifnmg.edu.br

Irã Pinheiro Neiva

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8193931091718626>
eliane.santos@ifnmg.edu.br

Marco Aurélio Noce

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4192913420340152>
eliane.santos@ifnmg.edu.br

Eliane Macedo Sobrinho Santos

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0451966994155112>
eliane.santos@ifnmg.edu.br



DOI: 10.6008/CBPC2237-9290.2023.001.0003

Referencing this:

PEREIRA, I. S.; SANTOS, C. R.; Gandra, L. C.; SANTOS, W. S.; OLIVEIRA, F. S.; SANTOS, H. O.; NEIVA, I. P.; NOCE, M. A.; SANTOS, E. M. S.. Bioinoculantes em sistema integrado de sorgo e capim Paiaguás no semiárido: evidências in sílico e fenotípicas. *Natural Resources*, v.13, n.1, p.28-45, 2023. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2023.001.0003>

INTRODUÇÃO

O sistema de produção de culturas anuais integradas com forrageiras é uma boa opção para se obter ganhos produtivos significativos, visto que ele proporciona ao final da colheita da cultura principal, pastagem de qualidade das espécies secundárias para os animais (FURTADO et al., 2020). Dessa forma, reduz o tempo necessário para implantação de pastagem e conseqüentemente auxilia na mitigação do déficit de alimentos em períodos críticos, bem como, na otimização dos sistemas produtivos. Dentre as culturas anuais utilizadas em sistemas integrados, o sorgo é uma excelente opção para a produção de grãos (SILVA et al., 2015) (SILVA et al., 2015), forrageiras (RIBEIRO et al., 2015) e silagem (RIBEIRO et al., 2017), principalmente em áreas onde o déficit hídrico e a baixa fertilidade do solo representam maiores riscos para o cultivo de outras culturas. Além do sorgo, as espécies de *Brachiaria* apresentam excelente adaptação aos solos brasileiros, são facilmente estabelecidas e contribuem para a infiltração de água e agregação e aeração do solo devido aos seus grandes sistemas radiculares (STUMPF et al., 2016).

Ainda que os sistemas de integração lavoura-pecuária sejam considerados sistemas produtivos sustentáveis, o uso da tecnologia tem sido associado a um aumento notável no uso de fertilizantes químicos. No entanto, o uso excessivo de agroquímicos em geral, tem resultado em contaminação, diminuição da biodiversidade em regiões agrícolas, degradação de agro ecossistemas e aumento dos custos de produção (GRAGEDA et al., 2012) (XIANG et al., 2012). Portanto, há a necessidade de explorar alternativas que permitam aumentar a produção agrícola sem impactos negativos ao meio ambiente. Dessa forma, na necessidade de gestão sustentável dos sistemas agrícolas, a importância do papel dos microrganismos aumentou de forma proeminente na conservação e fertilidade dos solos (ADESEMOYE et al., 2009) (SHARMA et al., 2011).

O *Azospirillum* spp. têm sido amplamente utilizado como bioinoculante pois, além do BNF, pode contribuir para o desenvolvimento da planta por meio de outros processos biológicos, incluindo a síntese de fitohormônios (FUKAMI et al., 2017), solubilização de fosfato (TURAN et al., 2012) e indução de tolerância a substâncias abióticas e estresses bióticos (CEREZINI et al., 2016) (FUKAMI et al., 2018) (SANTOS et al., 2019). Outras bactérias têm sido estudadas na inoculação de sementes, incluindo as sementes do sorgo. Foi relatado que a inoculação de *Bacillus* spp. em mudas de sorgo gerara melhor crescimento, em termos de comprimento da parte aérea e biomassa radicular, com aumento médio de 7 a 9% em relação às plantas não inoculadas (GROVER et al., 2013). Portanto a prática da bioinoculação de sementes tem se estabelecido como uma medida eficaz e sustentável para melhorar os rendimentos agrícolas, sobretudo os sistemas consorciados.

Os efeitos do uso de inoculantes nas sementes de sorgo em condições de sequeiro e safrinha favorecem significativamente a produtividade de grãos tanto no consórcio com o capim paiaguás, quanto solteiro (SOARES, 2017). Neste sentido, é evidente a relevância do uso de práticas alternativas voltadas para a minimização do uso intensivo de insumos agrícolas, bem como a viabilização de sua absorção (REIS, 2007). Ressalta-se, que os mecanismos moleculares envolvidos na atuação dos bioinoculantes ainda não estão totalmente esclarecidos devido à limitação de estudos disponíveis na literatura. Atualmente, várias

abordagens computacionais para identificação funcional de proteínas, como interação proteína-proteína estão disponíveis (DENG et al., 2003). O estudo das interações proteicas é fundamental para entender os processos biológicos por trás da utilização dos bioinoculantes na cultura do sorgo.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi buscar evidências da atuação dos bioinoculantes Biomaphos® e Azotrop® no desenvolvimento do sorgo, por meio de análise bioinformática, e por fim, conhecer a resposta do sorgo, integrado ao capim paiaguás, aos bioinoculantes comerciais combinados com diferentes doses de adubação química em condições de sequeiro.

METODOLOGIA

Análises in silico

O presente estudo teve início com a realização de análises de bioinformática com o objetivo de buscar evidências da atuação molecular dos bioinoculantes comerciais no desenvolvimento do sorgo. Uma rede de genes com um escore médio de confiança (0,4) foi gerada e analisada com STRING (v11.0¹) (SZKLARCZYK et al., 2019), com base em genes de *Sorghum bicolor*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*. Para obter a rede de interação proteica da plataforma STRING, utilizou-se como entrada o nome do organismo objeto de estudo e selecionou-se a opção para gerar uma rede de proteínas aleatória para cada uma das espécies de interesse.

A plataforma STRING também foi usada para realizar a anotação da via KEGG para o conjunto de proteínas alvo. Dessa forma, foi possível comparar a distribuição de cada via KEGG no conjunto de proteínas alvo e no conjunto de proteínas totais, e a análise de enriquecimento da anotação da via KEGG foi realizada no conjunto de proteínas alvo.

Os genes obtidos na rede de interação proteica a partir do STRING foram utilizados como entrada na plataforma online STITCH 5.0² (SZKLARCZYK et al., 2016), com um médio índice de confiança (0,4). Esta plataforma mostra a atuação dos compostos químicos nas redes de interação proteica gerada. Nesta plataforma além de utilizar, como entrada, as proteínas das redes produzidas no STRING, também foram produzidas redes utilizando-se os descritores nitrogênio e fósforo como entradas na plataforma STITCH.

Buscou-se com essa análise de bioinformática similaridades na atuação dos compostos químicos nas diferentes redes de interação proteica geradas para as espécies *Sorghum bicolor*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*.

Análises funcionais

Descrição do local de estudo

O experimento foi conduzido nas dependências do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - Campus Araçuaí, nas coordenadas -16,8488873, - 42,0346359, região semiárida localizada no nordeste do

¹ <http://string-db.org>

² <http://stitch.embl.de>

estado, caracterizada pelo clima do tipo Bwa segundo a classificação de Koppen, sendo este, seco, com chuvas de verão e temperatura média anual superior a 22 graus. É notório que a região apresenta um período sazonal bem definido de seca e temperatura elevada durante todo o ano (SILVA et al., 2020).

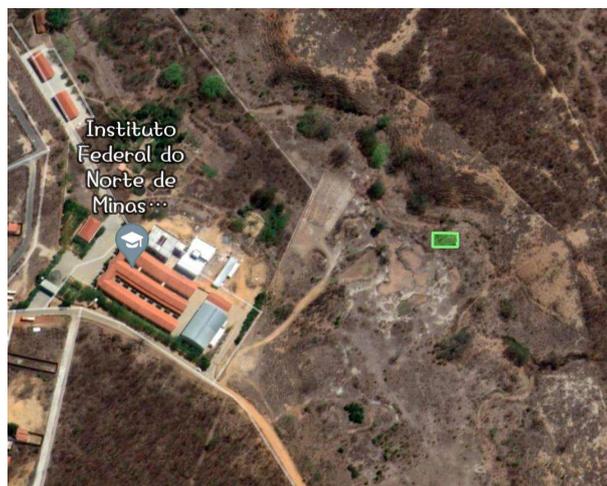


Figura 1: Área da unidade experimental no IFNMG - Campus Araçuaí.

A figura 1 é uma imagem aérea da área do experimento indicada pelo retângulo verde. Ela foi retirada do Fields Area Measure: PRO. O solo da área experimental foi classificado utilizando o método Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) como Planossolo e foi realizado uma análise química do solo (Quadro 1), onde foram coletadas as amostras a uma profundidade de 0-20 cm e de 20-40 para determinar as características químicas do solo na área experimental antes do estabelecimento dos sistemas forrageiros, obtendo-se os seguintes resultados:

Quadro 1: Resultados da análise química do solo.

pH	P	K	Ca ²	Mg ²	Al ³	H+Al	MO	P-Rem
H ₂ O	mg/dm ³	cmolc/dm ³				dag/kg		mg/L
4,8	10,51	105	3,27	2,48	0,18	1,64	1,07	33,83

A área foi previamente preparada por meio do sistema convencional, sendo realizada uma aração e duas gradagens na área experimental utilizando grade de discos.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com duas repetições. Os tratamentos consistiram nos seguintes sistemas forrageiros: (i) consórcio de sorgo + capim paiaguás sem adubação prévia. (ii) sistemas que receberam adubação química, conforme recomendação do fabricante. (ii) sistemas que receberam adubação química na metade da dose recomendada pelo fabricante. Os tratamentos contemplados em cada um dos sistemas forrageiros estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2: Disposição dos tratamentos e adubações recomendadas.

Tratamentos com dose completa de adubação recomendada	Tratamentos com meia dose de adubação recomendada
T1 – sorgo + Azotrop® + paiaguás	T5 - sorgo + Azotrop® + paiaguás
T2 – sorgo + Biomaphos® + paiaguás	T6 - sorgo + Biomaphos® + paiaguás
T3 - sorgo + Biomaphos® + Azotrop® + paiaguás	T7 - sorgo + Biomaphos® + Azotrop® + paiaguás
T4 – sorgo sem inoculantes + paiaguás	T8 – sorgo sem inoculantes + paiaguás

*T0 – Testemunha (Sem bioinoculantes e sem adubação química).

O híbrido de sorgo BRS Ponta Negra (fornecido pela Embrapa Milho e Sorgo) foi o utilizado neste estudo, numa área experimental de aproximadamente 700 m².

Aplicação dos inoculantes

Os inoculantes utilizados na pesquisa foram o Biomaphos® e Azotrop® (Figura 2). As sementes do sorgo foram tratadas com os bioinoculantes supracitados antes do plantio, na proporção de 0,2g de cada produto para 20g de sementes de sorgo, e o dobro (0,4g) nos dois em conjunto, sendo 0,2g de Biomaphos® e 0,2g de Azotrop® para a mesma quantidade de sementes. O Azotrop® utilizado é um inoculante líquido e turfoso para as culturas de soja, feijão, milho, trigo e pastagens. Composto pelas cepas Ab-V5 e Ab-V6 de *Azospirillum brasilense* estirpe CNPSo 2083 e CNPSo 2084, na concentração de 2×10^{11} UFC/L (Registro no MAPA AZOTROP Líquido: PR-93923-10074-1). O Biomaphos® é um inoculante para solubilização de fósforo, formulado com as Cepas *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084 (BRM034840)) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119 (BRM033112)), na concentração de 4×10^9 células viáveis/mL.



Figura 2: Inoculação das sementes de sorgo com os bioinoculantes.

Implantação do experimento

O experimento foi disposto em linhas com o distanciamento de 0,7m entre elas, 4 fileiras por parcela totalizando 40 plantas por parcela. O plantio do sorgo ocorreu no dia 23 de novembro de 2021, manualmente, colocando 3 sementes por berço com o espaçamento de 12,5 cm entre si.



Figura 3: Plantio do capim paiaguás entre as fileiras do sorgo.

Quanto ao capim paiaguás (Figura 3), foi jogado a lanço entre as linhas, 15 dias após o plantio do

sorgo. O solo foi adubado conforme exigência dos tratamentos, sendo metade da área experimental adubada com adubo químico NPK 4-14-8 (quatro partes de nitrogênio, quatorze partes de fósforo e oito partes de potássio), na dosagem recomendada pelo fabricante e na outra parte da área experimental metade da dose recomendada pelo fabricante. Para controle de plantas daninhas durante o período de pós-emergência, foi realizada a capina manual semanalmente até os 50 DAS (Dias Após Semeadura).

Avaliação das características agronômicas do sorgo e capim Paiaguás

As seguintes características agronômicas da cultura do sorgo foram medidas aos 50 e 70 DAS durante seu desenvolvimento (esses momentos foram utilizados para caracterizar os estádios vegetativo, reprodutivo e de maturação da cultura, respectivamente): altura da planta (medida do solo ao final da panícula em 10 plantas selecionadas aleatoriamente), população de plantas (contagem do número total de plantas por metro transformadas em ha⁻¹) e diâmetro do caule (medição do diâmetro do caule de 10 plantas com paquímetro digital) e determinação de incidência de pragas e doenças.

Na época da colheita do sorgo, foi quantificada a biomassa fresca e seca da parte aérea e calculada a produtividade estimada do sorgo por meio do método rápido, utilizando-se o peso médio de grãos, folhas e pendões e o número de plantas por hectare. A biomassa seca foi obtida por secagem em estufa a 105°C. Os efeitos dos tratamentos sobre as variáveis foram determinados por análise de variância e para comparação de médias entre tratamentos foi utilizado o teste de Tukey ($P \leq 0,05$).

DISCUSSÃO

As análises bioinformáticas revelaram genes com possibilidades de envolvimento no mecanismo de atuação dos bioinoculantes Biomaphos® e Azotrop® no desenvolvimento do sorgo (Figura 4 e Figura 5). Na figura 4, apresenta-se redes de interação proteica produzidas a partir da molécula de entrada nitrogênio. Percebeu-se na rede do sorgo a presença de proteínas ainda não caracterizadas como a Sb05g010020.1 e Sb09g020710.1. Entretanto, possuem semelhança à proteína que catalisa a desidratação da forma S de NAD(P)HX (Sb05g010020) e a proteína transportadora de elétrons (Sb09g020710), respectivamente. Portanto, podem ser proteínas importantes na fixação de nitrogênio do solo, auxiliando no desenvolvimento do sorgo.

Na rede proteica do *Azospirillum brasilense* destaca-se as proteínas ATPase exportadora de cátions (fixI), desidrogenase - subunidade A (fdhA) e proteína de ferro nitrogenase, (nifH). As principais reações enzimáticas na fixação de nitrogênio no solo são catalisadas pelo complexo da nitrogenase, que possui 2 componentes: a proteína de ferro e a proteína de molibdênio-ferro (STRING-DB). Por fim, mesmo que de forma menos expressiva, os microrganismos do gênero *Bacillus* podem atuar na fixação do nitrogênio por meio de diferentes proteínas, conforme mostrado na figura 4.

Na figura 5, pode-se perceber as redes de interação proteicas das diferentes espécies, formadas a partir da molécula fósforo. No sorgo aparecem proteínas ainda não caracterizadas, de forma semelhante ao que aconteceu na rede com o nitrogênio. No *Azospirillum brasilense* a proteína ppnK aparece no centro da

rede interligando muitas moléculas. Essa proteína catalisa a fosforilação de NAD a NADP. Utiliza ATP e outros trifosfatos de nucleosídeos, bem como polifosfato inorgânico como fonte de fósforo (STRING-DB). Ligando-se a esta proteína e a outras moléculas da rede estão as proteínas CCC97180.1 e nadD. No *Bacillus subtilis* a proteína com um maior número de ligação na rede é a ppnK1, cuja função já foi apresentada anteriormente. Outras proteínas envolvidas com o mecanismo de ação do fósforo neste microrganismo foram: nadE, nadD, coaE e coaD. Na rede proteica do *Bacillus megaterium* destaca-se a proteína BMQ_0729, que catalisa a fosforilação de NAD a NADP, com maior número de ligações na rede, seguida pelas proteínas BMQ_2205 e BMQ_1239 que são enzimas NAD⁺ sintetase (STRING-DB).

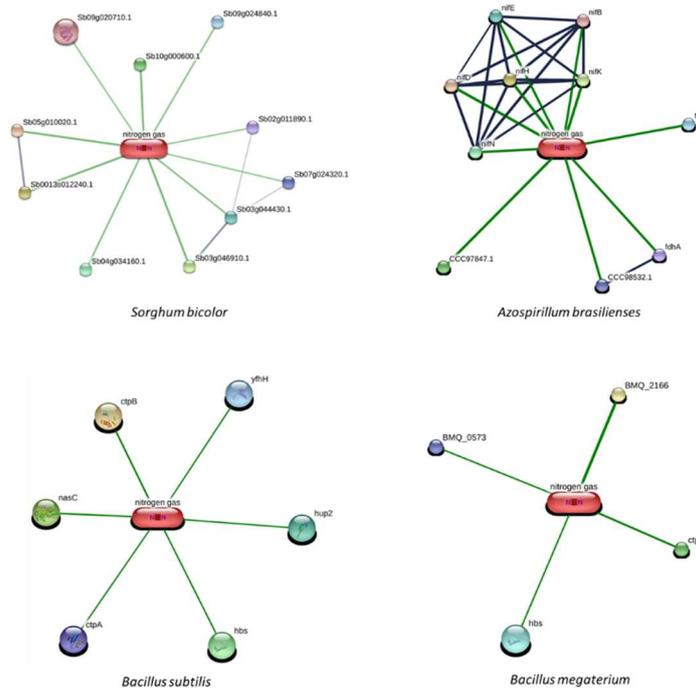


Figura 4: Rede de interação proteica envolvendo a molécula nitrogênio nas espécies *Sorghum bicolor*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*.

Na figura 6, é possível observar uma análise comparativa entre redes de interação proteica dos microrganismos presentes nos bioinoculantes Biomaphos[®] e Azotrop[®] e do sorgo, com o intuito de encontrar evidências de atuação molecular dos microrganismos no desenvolvimento da planta. Percebe-se na rede proteica do sorgo a presença de proteínas ainda não caracterizadas e, portanto, pode ser um campo promissor de estudo para melhor compreender o mecanismo molecular que os bioinoculantes realizam no desempenho da planta. Estudos funcionais são requeridos para certificar como as proteínas das redes dos bioinoculantes atuam (direta ou indiretamente) sobre as proteínas da rede do sorgo. Por exemplo, as proteínas ilvI (acetolactate synthase), murE e BMQ_2166 pertencentes às redes do *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* respectivamente, são proteínas bastante interconectadas nas redes e podem desempenhar um papel chave no mecanismo molecular desenvolvido pelos bioinoculantes nas plantas. E as suposições aqui levantadas é que essas referidas proteínas atuem por meio de moléculas químicas como o ácido pirúvico, 4-(N-methyl-N-nitroso) *aminoantipyrine* e fosfatos, conforme mostrado na figura 6.

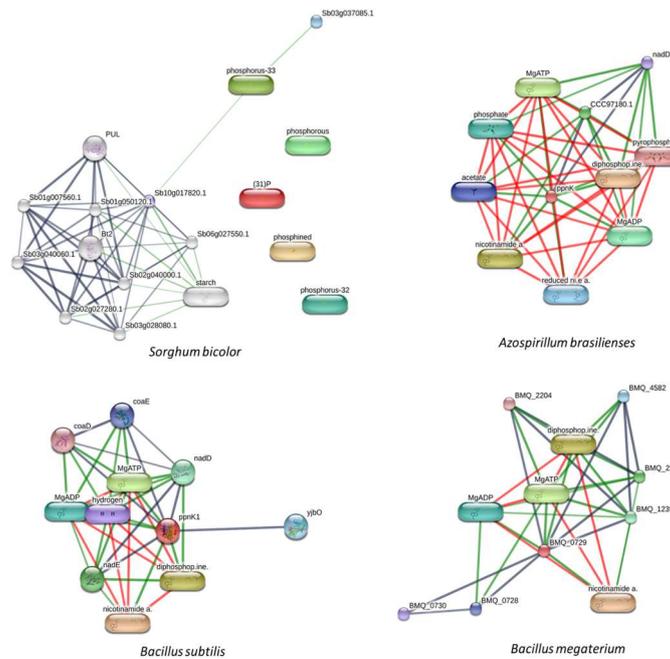


Figura 5: Rede de interação proteica envolvendo a molécula fósforo nas espécies *Sorghum bicolor*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*.

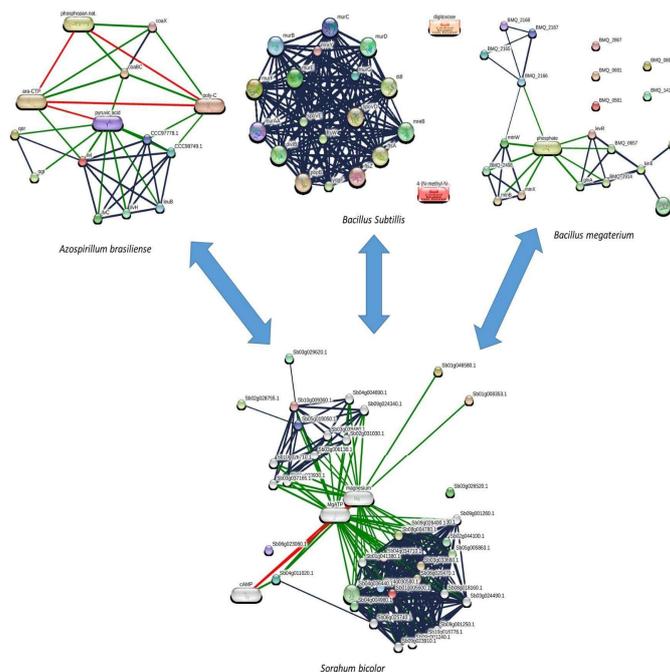


Figura 6: Análise comparativa de redes de interação proteica nas espécies *Sorghum bicolor*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*.

A análise de bioinformática com nível de confiança STRING de 0,4 revelou diferentes vias metabólicas em plantas de sorgo e nos microrganismos presentes nos bioinoculantes Biomaphos® e Azotrop® (Tabela 1). As plantas de sorgo não micorrízicas produziram principalmente proteínas associadas à “replicação e reparo de DNA”, enquanto os microrganismos de gênero *Azospirillum* produziram proteínas associadas à “biossíntese de aminoácidos e biossíntese de metabólitos secundários”. Os microrganismos do gênero *Bacillus*, por sua vez, produziram proteínas das vias metabólicas “biossíntese de peptidoglicano e metabolismo do amido e da sacarose”. É possível observar uma interconexão entre as vias KEGGs do sorgo e

dos microrganismos, sugerindo, uma atuação potencial dos bioinoculantes no desenvolvimento desta planta.

Tabela 1: Vias metabólicas desempenhadas pelas proteínas das redes do *Sorghum bicolor*, *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*.

Via KEGG- <i>Azospirillum brasilenses</i>			
Via ID	Descrição da via	Quantidade de genes	Taxa de descoberta falsa (FDR)
290	Biossíntese de valina, leucina e isoleucina	6	7.69e-11
0	Biossíntese de pantotenato e CoA	5	1.41e-08
1210	Metabolismo do ácido 2-oxocarboxílico	4	2.38e-05
1230	Biossíntese de aminoácidos	6	2.38e-05
660	Metabolismo do ácido dibásico C5-ramificado	3	4.26e-05
1110	Biossíntese de metabólitos secundários	6	0.000671
1100	Vias metabólicas	8	0.00152
650	metabolismo de butanoato	2	0.0161
260	Metabolismo da glicina, serina e treonina	2	0.0377
Via KEGG - <i>Bacillus subtilis</i>			
Via ID	Descrição da via	Quantidade de genes	Taxa de descoberta falsa (FDR)
550	Biossíntese de peptidoglicano	10	6.73e-19
471	Metabolismo de D-Glutamina e D-glutamato	2	0.0165
Via KEGG - <i>Bacillus megaterium</i>			
Via ID	Descrição da via	Quantidade de genes	Taxa de descoberta falsa (FDR)
2060	Sistema fosfotransferase (PTS)	7	8.98e-12
500	Metabolismo do amido e da sacarose	3	0.00301
520	Metabolismo de açúcares de aminoácidos e açúcares nucleotídeos	3	0.00344
Via KEGG - <i>Sorghum bicolor</i>			
Via ID	Descrição da via	Quantidade de genes	Taxa de descoberta falsa (FDR)
3030	Replicação do DNA	16	1.25e-31
3430	Reparo de incompatibilidade	14	3.23e-28
3420	Reparo por excisão de nucleotídeos	14	2.51e-26
710	Fixação de carbono em organismos fotossintéticos	5	1.6e-07
3440	recombinação homóloga	5	3.93e-07
10	Glicólise / Gliconeogênese	5	3.69e-06
3410	Reparação de excisão de base	4	3.69e-06
1200	metabolismo do carbono	5	3.81e-05
1230	Biossíntese de aminoácidos	5	4.41e-05
1120	Metabolismo microbiano em diversos ambientes	4	0.00192
562	Metabolismo do fosfato de inositol	2	0.0145
51	Metabolismo da frutose e da manose	2	0.0171

Nos resultados obtidos nas análises fenotípicas não foi possível observar o efeito dos bioinoculantes no desempenho do sorgo plantado em sistema integrado com o capim paiaguás. Conforme observado na figura 7, o sorgo apresentou desenvolvimento adequado ao longo do período experimental.



Figura 7: Desenvolvimento do sorgo na área experimental.

No primeiro tempo de coleta de dados (DAS 1), não foi observado efeito estatisticamente significativo dos tratamentos com relação à biomassa aérea fresca e seca, o que significa que até essa fase do sorgo os bioinoculantes não manifestaram efeito sobre a planta do sorgo. Da mesma forma, na maturidade fisiológica (DAS 2), a biomassa aérea fresca e seca foi semelhante entre os tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2: Biomassa do sorgo (parte aérea) em resposta à utilização de bioinoculantes e adubação química.

Tratamentos	Biomassa fresca	Biomassa seca
T0	0,445	0,277
T1	0,287	0,160
T2	0,287	0,181
T3	0,407	0,220
T4	0,427	0,227
T5	0,310	0,152
T6	0,405	0,200
T7	0,230	0,097
T8	0,520	0,276
DP	0,08	0,05

Para a altura da planta, observou-se uma resposta semelhante em relação à biomassa, não sendo evidenciadas diferenças na altura das plantas dos diferentes tratamentos, tanto no DAS 1 quanto no DAS 2 (Figura 8).

A utilização de bioinoculantes em outras plantas como o tomateiro e plantas de pimenta malagueta apresentou resultados variados na altura das plantas em diferentes momentos de análises, apontando que em análises mais tardias alguns bioinoculantes permitem que as plantas atinjam maior altura (DESGAN et al., 2008) (CASTILLO et al., 2009). Em sorgo, Díaz et al. (2007), obtiveram, na maturidade fisiológica, maior altura de plantas com *R. intraradices*, comparadas com plantas adubadas e não adubadas, porém não foram observadas variações na biomassa fresca e seca.

Paiva et al. (2021), observaram uma resposta positiva do uso do *Azospirillum brasilense* na altura de plantas de sorgo BRS 332, em relação à testemunha. Tal crescimento se estendeu até o estágio de florescimento onde o foco da planta é a formação de grãos. No entanto, uma resposta semelhante à do estudo foi encontrada por Maschio (2021), onde não foi constatado o efeito da inoculação com o Biomaphos sobre a altura das plantas de BRS 658, não diferenciando os resultados das plantas sem o tratamento. Isso foi observado por de Sousa et al. (2021), ao utilizarem *Azospirillum brasilense*, onde alegam não encontrarem interações e interferências da inoculação nas variáveis diâmetro do colmo e altura das plantas de sorgo.

Nenhum dos tratamentos ultrapassaram o diâmetro do caule, permanecendo de forma equivalente à testemunha nos dois estádios de desenvolvimento do sorgo (Figura 9). Entretanto, Maschio (2021), constatou o efeito expressivo do uso do Biomaphos no diâmetro do colmo com uma diferença média de 0,89 mm dos tratamentos sem inoculação.

Para a cultura do milho, Matos et al. (2017), em concordância com outros autores, encontraram resultados relevantes nos diâmetros, com o uso de *Azospirillum brasilense*. Na cultura do sorgo, Trindade et al. (2020), afirmam que nas variáveis estudadas (população final, altura da planta, diâmetro do colmo e número de folhas), não demonstraram distinção de resultado estatisticamente com o uso de inoculação com

o *A. brasilense* em comparação aos tratamentos sem inoculação. De forma semelhante, Mortate et al. (2020), em seu estudo, aponta que não houve mudanças significativas utilizando bactérias fixadoras de nitrogênio na cultura.

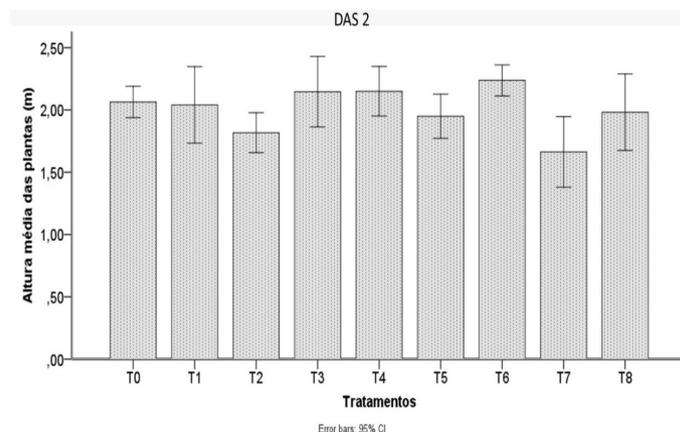


Figura 8: Altura média das plantas (m) de sorgo em cada tratamento entre 50 e 70 dias após semeadura.

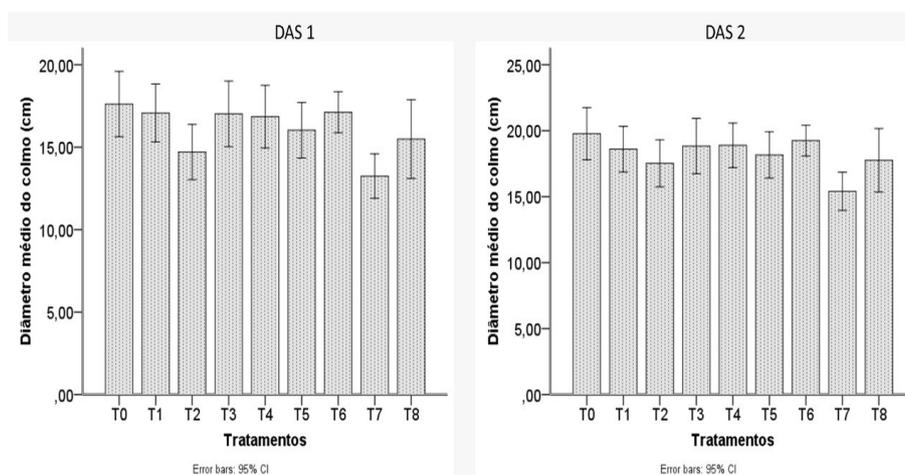


Figura 9: Diâmetro médio do colmo do sorgo (cm) em cada tratamento entre 50 e 70 dias após semeadura.

Na população de plantas (Figura 10), foi possível observar que os tratamentos não apresentaram discrepâncias nos valores obtidos. Conforme Portugal et al. (2017), em um estudo realizado na cultura do milho, a inoculação com o *Azospirillum brasilense* não demonstrou eficácia na primeira safra de produção de milho em relação a população de plantas, visto que houve declínio de 3,83% de sua população final. No entanto, na segunda safra foi observado uma maior produtividade com índice superior a 20% quando comparado à safra anterior. Resultados distintos foram encontrados por Thomazini et al. (2019), onde o uso dele bioinoculante expressou resultados satisfatórios nesta variável, o que colaborou para a expansão da produtividade de grãos da cultura.

Por outro lado, o sorgo apresentou dados divergentes do que foi mencionado acima. Neste sentido, a literatura carece de estudos voltados aos efeitos do uso de inoculantes sobre a população de plantas de sorgo, o que dificulta as possíveis hipóteses sobre os impactos ocasionados nessa cultura.

Ainda que as condições climáticas para a safra 2021-2022 tenham sido atípicas na região de estudo, a produtividade de sorgo na área experimental superou 1 tonelada por hectare em todos os tratamentos analisados (Figura 11). Para a safra brasileira 2022/23, a previsão é de 2,9 milhões de toneladas produzidas,

1,8% maior que a safra anterior, em uma área de 1.054,3 mil hectares, incremento de 1,7%, e uma produtividade estimada de 2.815 kg/ha, aumento de 3,5% em relação ao ano anterior (CONAB, 2022).

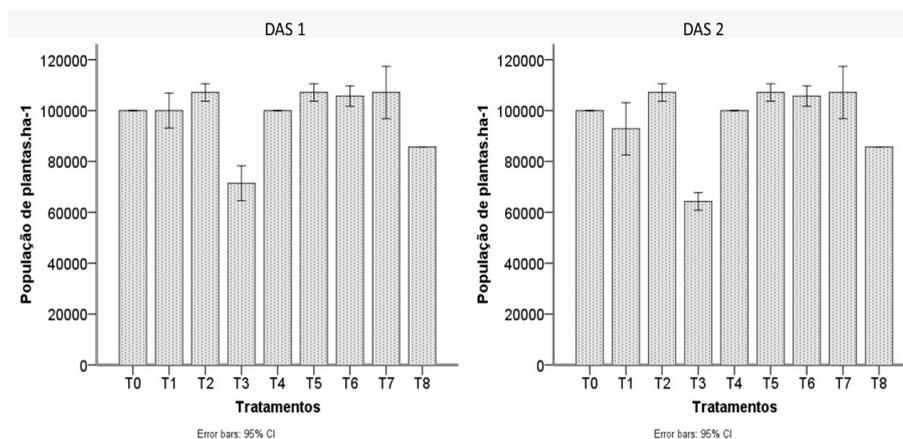


Figura 10: População de plantas há-1 em cada tratamento entre 50 e 70 dias após semeadura.

Nas condições de estudo não foi observada a potencialização na produção nos tratamentos com inoculantes e/ou adubação química. Vários autores (GARZA et al., 2003) (OLALDE et al., 2008) confirmaram que a inoculação combinada de diferentes bioinoculantes promove efeitos aditivos ou sinergias nas plantas, fenômeno não observado no presente estudo com a inoculação dos bioinoculantes Biomaphos® e Azotrop®, sozinhos ou combinado, bem como em outros resultados com sorgo onde foram utilizados os mesmos microrganismos (MENDOZA et al., 2004) (DÍAZ et al., 2011). Grageda et al. (2012) e Xiang et al. (2012), destacam que estudos com microrganismos benéficos em condições naturais são necessários, pois a maioria é estabelecida em situações controladas. Dessa forma, relata-se que as condições climáticas em que o presente estudo ocorreu foram atípicas na safra 2021-2022, o que pode ter interferido potencialmente nos resultados dos experimentos.

Diferentes estudos têm revelado o potencial dos bioinoculantes na redução das doses de fertilização química (SHARMA et al., 2011) (CARPIO et al., 2005). Isso não foi observado no presente estudo ao se comparar o efeito da combinação dos bioinoculantes com 2 doses diferentes de adubação química. Os tratamentos se igualaram à produção de 100 % de adubação química (Figura 11). Este resultado foi relevante, uma vez que torna o meio de produção sustentável, já que os resultados de produtividade foram semelhantes mesmo quando metade da dose de adubação química foi utilizada. O efeito benéfico dos bioinoculantes também repercute favoravelmente na redução da necessidade de fertilizantes, razão pela qual Adesemoye et al. (2009) e Xiang et al. (2012), enfatizaram os efeitos comparativos dos bioinoculantes com a aplicação convencional de fertilizantes minerais nas lavouras. Xiang et al. (2012), destacam que os biofertilizantes, além do efeito benéfico na produtividade agrícola, possuem grande relevância nos agroecossistemas, pois podem reduzir o uso de adubação mineral e sua consequente contaminação no meio ambiente.

Em geral, o impacto na produtividade do sorgo por microrganismos benéficos pode ser atribuído aos seus diferentes mecanismos simbióticos (VASSEY 2003) (SMITH et al., 2008). Com relação ao uso dos bioinoculantes na cultura do sorgo, a literatura ainda é escassa e muitas vezes conflitante. A inoculação das

plantas de sorgo via foliar proporcionou aumento no índice de clorofila foliar, elevação da altura da planta e diâmetro do colmo, contribuição positiva na massa seca das partes da planta, peso de grãos por panícula e produtividade (NAKAO et al., 2014). Por outro lado, a aplicação da bactéria diazotrófica *Azospirillum brasilense*, tanto via inoculação de sementes quanto via foliar, não aumentou a produção de massa verde e massa seca de sorgo (CRUZ, 2019). Portanto, é importante a continuidade dos estudos utilizando bioinoculantes no cultivo do sorgo, investigando diferentes condições de estudo, tais como sequeiro, irrigação, adubação e dose suficiente de cada bioinoculante.

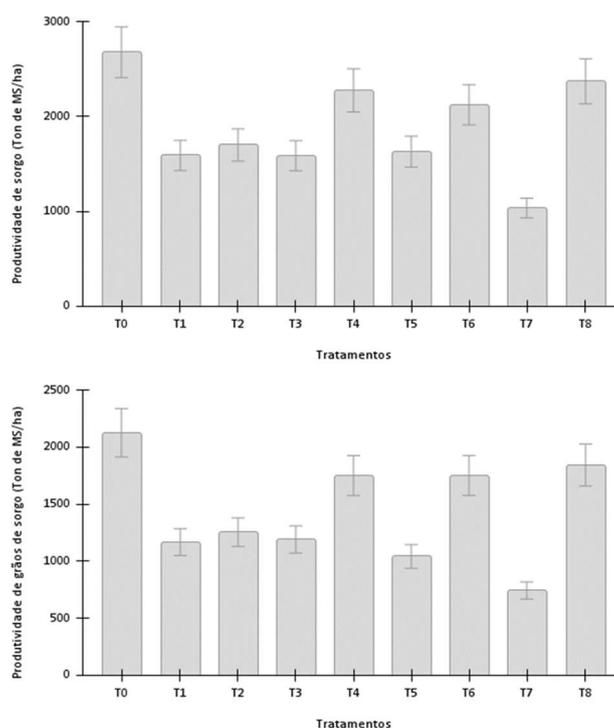


Figura 11: Produtividade de sorgo (Ton de MS/ha) em cada tratamento no momento da colheita.

Importantes pragas de insetos do sorgo incluem espécies sugadoras de folhas, espécies que se alimentam de folhas, brocas do colmo ou caule, pragas da panícula e do grão armazenado. As estratégias modernas de controle incluem controles culturais, controle biológico, pesticidas (químicos, botânicos ou microbianos) e resistência da planta hospedeira. Uma abordagem integrada é recomendada e baseada em uma combinação de reguladores de crescimento de insetos e práticas de conservação para proteger os inimigos naturais no nível da paisagem (OKOSUN et al., 2021).

Os resultados do presente estudo não demonstraram a eficácia do manejo de bioinoculados em combinação com a adubação química na resposta do sorgo quanto à ocorrência de pragas e doenças (Figura 12). Na literatura consultada não foram encontrados relatos sobre a atuação dos bioinoculantes Biomaphos® e Azotrop® na ocorrência de pragas e doenças na cultura do sorgo.

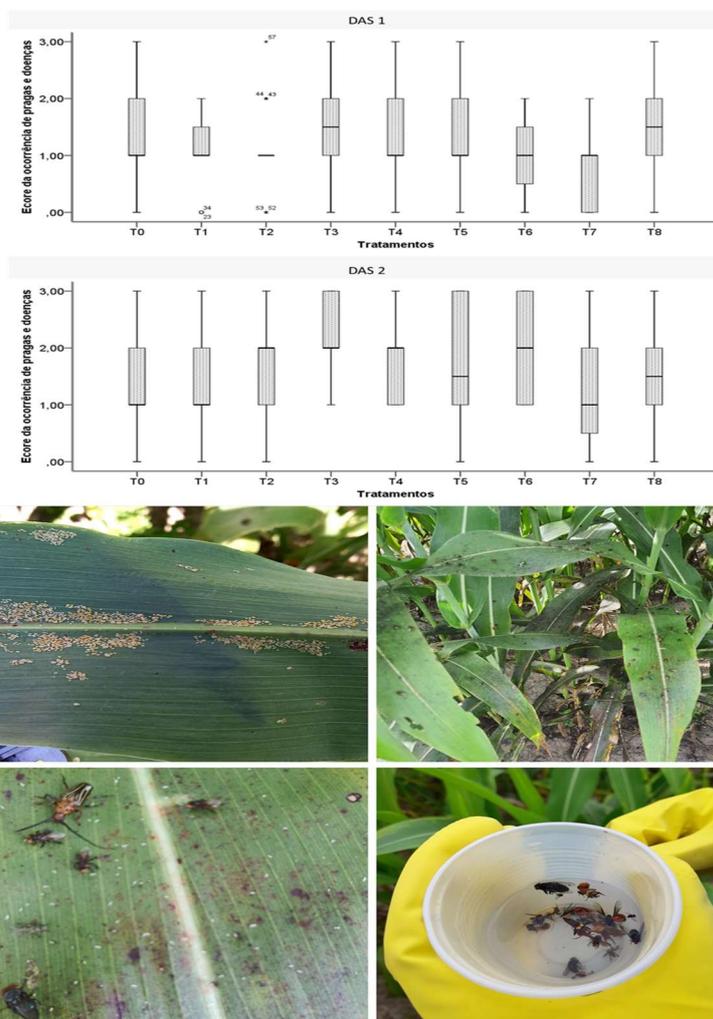


Figura 12: Ocorrência de pragas e doenças na cultura do sorgo.

Para o estabelecimento de pastagens ou cultivos agrícolas, a integração entre agricultura e pecuária representa um avanço na sustentabilidade dessa atividade, pois alia agregação de renda diversificada, uso racional da propriedade e redução nos custos de produção, minimizando os efeitos negativos da produção agropecuária sobre o meio ambiente (MARTUSCELLO et al., 2017). Na integração, o sorgo tem se destacado pela facilidade de cultivo e comercialização, possibilidade de comercialização em grão, silagem e substituição à cultura do milho.

No presente estudo, embora o sorgo tenha apresentado um desenvolvimento satisfatório, o capim paiaguás não se desenvolveu. Por outro lado, Nakao (2018) teve sucesso no estabelecimento da integração sorgo-capim paiaguás, observando que as produtividades de matéria seca do sorgo e/ou capim, quando o sorgo foi inoculado por *Azospirillum brasilense*, aumentaram significativamente.

São várias as explicações para o ocorrido, desde a competitividade entre as culturas até a inviabilidade das sementes. Em ambientes consorciados, ocorre uma competição interespecífica por luz e nutrientes que pode modificar o estabelecimento das culturas utilizadas (CORRÊA et al., 2020). A competição por luz pode alterar as taxas de crescimento e desenvolvimento da forragem e, portanto, sua dinâmica de perfilhamento, estrutura do pasto (MARTUSCELLO et al., 2017) e produção de forragem (SILVA et al., 2015). A competição por nutrientes no solo em ambientes consorciados também modifica os padrões de crescimento das plantas, podendo afetar diretamente o sucesso da integração lavoura-pecuária, o que é

essencial para plantas forrageiras que crescem sob maior competição por luz e nutrientes (MARTUSCELLO et al., 2017).

A fim de verificar a viabilidade das sementes utilizadas no sistema de integração lavoura-pecuária, um experimento foi realizado em casa de vegetação simulando os tratamentos das condições de campo. Tanto o sorgo quanto o capim Paiaguás desenvolveram adequadamente, atestando a viabilidade das sementes. Corroborando com os resultados obtidos, o sorgo se desenvolveu adequadamente não apresentando diferenças significativas na altura da planta e diâmetro do colmo entre os tratamentos (Figura 13).

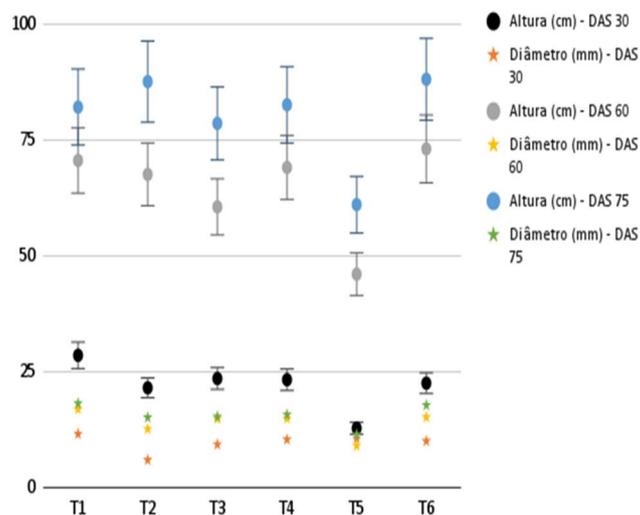


Figura 13: Desenvolvimento do ILP sorgo e capim paiaguás em casa de vegetação.

CONCLUSÃO

Este trabalho forneceu uma nova visão sobre os mecanismos moleculares de atuação dos bioinoculantes Biomaphos® e Azotrop® sobre o *Sorghum bicolor* e pode estimular os pesquisadores neste campo da bioinformática a integrar todos os dados existentes para explorar funções e vias metabólicas significativas envolvidas na resposta do sorgo aos bioinoculantes. Apresenta-se como perspectivas futuras, estudos para entender como as proteínas de resposta aos bioinoculantes podem se tornar biomarcadores potenciais para o desenvolvimento de novos bis insumos de forma mais eficiente e econômica. Além disso, possibilita o desenvolvimento de bioinoculantes com atuações complementares potencializando o desempenho das plantas. Mais estudos são necessários para substanciar as funções e vias enriquecidas contempladas nas redes de interação proteica do sorgo e dos microrganismos dos gêneros *Azospirillum* e *Bacillus*.

Um dos desafios mais importantes da agropecuária hoje é a criação ou incorporação de práticas conservacionistas nos sistemas de produção que reduzam o uso de água, pesticidas e fertilizantes, mas sem impactar negativamente na quantidade e qualidade da produção. No presente estudo, foi demonstrada a similaridade na produtividade de grãos de sorgo entre os bioinoculantes utilizados com meia adubação química e adubação completa. Do ponto de vista do manejo agroecológico, a redução da adubação por meio

desses bioprodutos pode representar uma prática viável que promova uma melhor conservação dos sistemas de produção.

Estudos adicionais são necessários para elucidar os efeitos dos bioinoculantes nas características agronômicas e produtividade do sorgo nas condições edafoclimáticas no Vale do Jequitinhonha, uma vez que os resultados obtidos no presente trabalho ainda não foram conclusivos, possivelmente em decorrência das condições climáticas atípicas da safra 2021-2022.

REFERÊNCIAS

ADESEMOYE, A. O.; KLOPPER, J. W.. Plant: microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. **Applied microbiology and biotechnology**, v.85, n.1, p.1-12, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2196-0>

CARPIO, L. A.; DAVIES, F. T.; ARNOLD, MICHAEL A.. Arbuscular mycorrhizal fungi, organic and inorganic controlled-release fertilizers: effect on growth and leachate of container-grown bush morning glory (*Ipomoea carnea* ssp. *fistulosa*) under high production temperatures. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.130, n.1, p.131-139, 2005.

CASTILLO, C.; SOTOMAYOR, L.; ORTIZ, C.; LEONELLI, G.; BORIE, F.; RUBIO, R.. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on an ecological crop of chili peppers (*Capsicum annuum* L.). **Chilean J. Agric. Res.**, v.69, n.1, p.79-87, 2009.

CEREZINI, P.; KUWANO, B. H.; SANTOS, M. B. D.; TERASSI, F. HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.. Strategies to promote early nodulation in soybean under drought. **Field Crops Research**, v. 196, p. 160-167, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.06.017>

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. 2022

CORRÊA, D. P.; GERMANO, M. H. S.; SILVA, P. K. M.; MENDEIRO, W. S.; SILVA, D. G.; FIORELLI, E. C.; FERREIRA, E.. Associação milho-forrageira em Rolim de Moura, Rondônia. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.5, p.25136-25155, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-097>

CRUZ, L. P. O.. **Produção de sorgo inoculado via tratamento de sementes e via foliar com Azospirillum brasilense**. 2019.

SILVA, A. G.; FRANCISCHINI, R.; GOULART, M. M. P.. Desempenho agrônomo e econômico de híbridos de sorgo granífero na safrinha em Montividiu (GO). **Revista de Agricultura**, v.90, n.1, p.17-30, 2015. DOI: <https://doi.org/10.37856/bja.v90i1.117>

SILVA, A. G.; NETO, A. H.; TEIXEIRA, I. R.; COSTA, K. A. P. D.; BRACCINI, A. L.. Seleção de cultivares de sorgo e braquiária em consórcio para produção de grãos e palhada. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, n.5, p.2951-2964, 2015.

SILVA, S. C.; SBRISSIA, A. F.; PEREIRA, L. E. T.. Ecophysiology of C4 forage grasses: understanding plant growth for optimising their use and management. **Agriculture**, v.5, n.3, p.598-625, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture5030598>

PAIVA, A. P. L.; MAGALHAES, P.; CARVALHO, L. P.; JALES, H.; GOMES, J. C. C.; LANA, U. D. P.; MARRIEL, I.. **Azospirillum brasilense para mitigação do estresse hídrico no sorgo BRS 332 submetido a diferentes doses de nitrogênio**. 2021.

SOUSA, B. T.; ROTTA, W. S.; MINZON, P. R. S.; MARTINS, A. P. C.; ZUCARELI, V.. **Produção de sorgo sacarino cultivado com Azospirillum brasilense e doses de nitrogênio**. 2021.

DENG, M.; ZHANG, K.; MEHTA, S.; CHEN, T.; SUN, F.. Prediction of protein function using protein-protein interaction data. **J. Comput. Biol.**, v.10, n.6, p.947-960, 2003.

DESGAN, Y. H.; KUSVARAN, S; ORTAS, I.. Responses of soilless grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal (*Glomus fasciculatum*) colonization in re-cycling and open systems. **Afr. J. Biotech.**, v.7, p.606-3613, 2008.

DÍAZ, F. A.; PECINA, Q. V.; MONTES, G. N.; JAQUES H. C.; GARZA C. I.. Impacto de inoculantes microbianos en sorgo cultivado bajo déficit de humedad en el suelo. **ResearchGate**, v.23, v.1, p.283-292, 2011. DOI: <https://doi.org/10.13140/2.1.4912.4485>

DÍAZ, M. R.; DÍAZ, F. A.; GARZA, C. I.; RAMÍREZ, L. A.. Brassinoesteroides e inoculación de micorriza arbuscular (*Glomus intraradices*) en el crecimiento y producción de sorgo en campo. **Terra Latinoamer**, v.25, p.77-83, 2007.

FUKAMI, J.; OLLERO, F. J.; MEGÍAS, M.; HUNGRIA, M.. Fitohormônios e indução de genes de tolerância e defesa ao estresse vegetal por meio da inoculação foliar e seminal com células e metabólitos de *Azospirillum brasilense* promovem o crescimento do milho. **AMB Express**, v.7, n.1, p.1-13, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0453-7>

FUKAMI, J.; CEREZINI, P.; HUNGRIA, M.. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **Amb Express**, v.8, n.1, p.1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1>

FUKAMI, J.; OSA, C. D. L.; FERNÁNDEZ, R. V.; NOGUEIRA, M. A.; MEGÍAS, M.; HUNGRIA, M.. Antioxidant activity and induction of mechanisms of resistance to stresses related to the inoculation with *Azospirillum brasilense*. **Archives of microbiology**, v.200, n.8, p.1191-1203, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00203-018-1535-x>

FURTADO, J. I. F.; OLIVEIRA, I. C. M.; ANDRADE, C. L. T.; RESENDE, R. M. S.. Análise técnica da irrigação subótima na cultura do sorgo em consórcio com espécies forrageiras. **Embrapa Milho**, 2020.

- GARZA, M. B. I.; VÁSQUEZ, P. V.; GARCÍA, D. G.; COUOH, C. T.; MARTÍNEZ, I. R.; CAMPOS, A. T.; SILVA, R. G.; MONTOYA, D. A.; GONZÁLES, J. C. M.; MENDOZA, S. A.; CABRERA, O. G.; GARZA, J. V.; MEDINA, J. F. A.. Resposta de cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. **Agricultura técnica en México**, v.29, n.2, p.213-225, 2003.
- GRAGEDA, C. O.; DÍAZ, F. A.; PEÑA, C. J.; Y VERA, N. J.. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. **Rev. Mex. Cien. Agr**, v.3, p.1261-1274, 2012.
- GROVER, M.; MADHUBALA, R.; ALI, S. K. Z.; YADAV, S. K.; VENKATESWARLU, B.. Influence of Bacillus spp. strains on seedling growth and physiological parameters of sorghum under moisture stress conditions. **Journal of Basic Microbiology**, v.54, p.951-961, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1002/jobm.201300250>
- MARTUSCELLO, J. A.; AMORIM, P. L.; CUNHA, D. N. F. V.; FERREIRA, P. S.; RIBEIRO, L. S.; SOUZA, M. W.. Morfogênese e estrutura do capim-braquiária em sistema de integração agricultura e pecuária. **Revista Ciência Agrícola**, v.15, n.1, p.33-42, 2017. DOI: <https://doi.org/10.28998/rca.v15i1.2537>
- MASCHIO, H. A.. **Fornecimento de fósforo mineral associado à inoculação de microrganismos solubilizadores de fosfato na cultura do sorgo**. 2021.
- MATOS, F. B.; OLIVEIRA, F. F.; PIETROSKI, M.; MULLER, P. F.; TAKESHITA, V.; CAIONE, G.. Uso de Azospirillum brasilense para o aumento da eficiência da adubação nitrogenada em milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.16, n.1, p.131-141, 2017.
- MENDOZA, A. H.; ANTONIA, C. M.; CUAUHTÉMOC, J. H.. Aislamiento, selección, producción y evaluación de un inoculante basado en cepas nativas de Azospirillum en el norte de Tamaulipas. **ResearchGate**, 2004. DOI: <https://doi.org/10.13140/2.1.5090.4324>
- MORENO, R. D.; FRANCO, A. D.; CANO, I. G.; LEÓN, A. R.. Brassinoesteroides e inoculación con Glomus intraradices en el crecimiento y la producción de sorgo en campo. **Terra Latinoamericana**, v.25, n.1, p.77-83, 2007.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.28998/rca.v18i1.7388>
- NAKAO, A. H.. **Consortiação de sorgo granífero ou de dupla aptidão com capim-paiaguás em função da inoculação com Azospirillum brasilense para produção de silagem**. 2018.
- 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 brasilense) via foliar. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.18, 2014.
- OKOSUN, O. O.; ALLEN, K. C.; GLOVER J. P.; REDDY, G. V.. Biology, ecology, and management of key sorghum insect pests. **Journal of Integrated Pest Management**, v.12, n.1, p.4, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1093/jipm/pmaa027>
- OLALDE, P. V.; SERRATOS, R.. Biofertilizantes: micorrizas y bacterias promotoras de crecimiento. **ResearchGate**, 2008.
- PORTUGAL, J. R.; ARF, O.; PERES, A. R.; GITTI, D. C.; GARCIA, N. F. S.. Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação com Azospirillum brasilense em milho no Cerrado. **Revista Ciência Agrônômica**, v.48, p.639-649, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170074>
- REIS, V. M.. **Uso de bactérias fixadoras de nitrogênio como inoculante para aplicação em gramíneas**. 2007.
- RIBEIRO, M. G.; COSTA, K. A. P.; SILVA, A. G.; SEVERIANO, E. C.; SIMON, G. A.; CRUVINEL, W. S.; SILVA, V. R.; SILVA, J. T.. Grain sorghum intercropping with Brachiaria brizantha cultivars in two sowing systems as a double crop. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, n.39, p.3759-3766, 2015.
- RIBEIRO, M. G.; COSTA, K. A. D. P.; SOUZA, W. F. D.; CRUVINEL, W. S.; SILVA, J. T. D.; JÚNIOR, D. R. D. S.. Silage quality of sorghum and Urochloa brizantha cultivars monocropped or intercropped in different planting systems. **Acta scientiarum. Animal Sciences**, v.39, p.243-250, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v39i3.33455>
- SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M.. Microbial inoculants: reviewing the past and previewing an outstanding future for the use of beneficial bacteria in agriculture. **AMB Express**, v.9, n.205, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0932-0>
- SHARMA, M. P.; REDDY, U. G.; ADHOLEYA, A.. Response of arbuscular mycorrhizal fungi on wheat (Triticum aestivum L.) grown conventionally and on beds in a sandy loam soil. **Indian Journal of microbiology**, v.51, n.3, p.384-389, 2011.
- SILVA, A. A.; CARDOSO, K. M.. diagnóstico e caracterização da arborização urbana de vias públicas da cidade de Araçuaí, semiárido de Minas Gerais. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v.15, n.4, p.73-92, 2020.
- SMITH, S. E.; READ, D. Mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry. **Mycorrhizal symbiosis**, v.611, p.18, 2008.
- SOARES, D. A.. **Manejo da adubação nitrogenada e inoculação em sorgo granífero outonal consorciado ou não com capim-paiaguás**. 2017.
- STUMPF, L.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S.; PINTO, M. A. B.; JUNIOR, L. A. D.; SCHEUNEMANN, T.. Sistema radicular da Urochloa brizantha: desenvolvimento e influência nos atributos de um solo degradado. **Interciência**, v.41, n.5, p.334-339, 2016.
- SZKLARCZYK, D.; GABLE, A.; LYON, D.; JUNG, A.; WYDER, S.; CEPAS, J. H.; SIMONOVIC, M.; DONCHEVA, N. T.; MORRIS, J. H.; BORK, P.; JENSEN, L. J.; MERING, C. V.. String v11: protein-protein association networks with increased coverage, supporting functional discovery in genome-wide experimental datasets. **Nucleic acids research**, v.47, n.1, p.607-613, 2019.
- SZKLARCZYK, D.; SANTOS, A.; MERING, C. V.; JENSEN, L. J.; BORK, P.; KUHN, M.. Stitch 5: augmenting protein-chemical

interaction networks with tissue and affinity data. **Nucleic acids research**, v.44, n.1, p.380-384, 2016.

TRINDADE, V. D. R.; VIANA, R. D. S.; SÁ, M. E. D.; MÁXIMO, A. L. D. S.; ANDRADE, M. G. D. O.. Características agronômicas de sorgo dupla aptidão submetidos à aplicação de extrato de algas e *Azospirillum brasilense* via foliar. **Research, Society and Development**, v.9, n.8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5172>

TURAN, M.; GULLUCE, M.; VON WIRÉN, N.; SAHIN, F.. Yield promotion and phosphorus solubilization by plant growth-

promoting rhizobacteria in extensive wheat production in Turkey. **J Plant Nutr Soil Sci**, v.175, p.818-826, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpln.201200054>

VASSEY, J. K.. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant Soil**, v.255, p.571-586, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1026037216893>

XIANG, W.; ZHAO, L.; XU, X.; QIN, Y.; YU, G.. Mutual information flow between beneficial microorganisms and the roots of host plants determined the bio-functions of biofertilizers. **Am. J. Plant Sci**, v.3, n.8, 2012.

Os autores detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.