

Azospirillum brasilense e *Pseudomonas fluorescens* aplicados via foliar em sorgo cultivar Nucover 100

Rogério Soares da Silva¹, Antonio Carlos Pereira de Menezes Filho², Hellen Regina Fernandes Batista-Ventura², Fernando Rezende Côrrea³ & Matheus Vinicius Abadia Ventura^{1,2}

¹ Centro Universitário do Sudoeste Goiano, UniBRAS, Rio Verde, Goiás, Brasil

² Instituto Federal Goiano, IF Goiano, Rio Verde, Goiás, Brasil

³ Estação de Pesquisas DeLollo, Rio Verde, Goiás, Brasil

Correspondência: Antonio Carlos Pereira de Menezes Filho, Laboratórios de Química Tecnológica e de Hidráulica e Irrigação, Instituto Federal Goiano, IF Goiano, Rio Verde, Goiás, Brasil. E-mail: astronomoamadorgoias@gmail.com

Recebido: Outubro 05, 2022

Aceito: Novembro 23, 2022

Publicado: Novembro 25, 2022

Resumo

Dentre os microrganismos promotores de crescimento de plantas, podemos destacar os gêneros *Azospirillum* e *Pseudomonas*. Esses grupos de microrganismos podem aumentar o crescimento, desenvolvimento e rendimento de várias espécies de plantas de interesse agrícola. O objetivo deste estudo, foi verificar a eficácia e a influência do produto comercial Biofree® a base de *Pseudomonas fluorescens* e *Azospirillum brasilense* aplicados via foliar na cultura do sorgo. O experimento foi desenvolvido no Centro Agro Pesquisa no Cerrado, Rio Verde, Estado de Goiás, Brasil (S 17°44'54" e W 50°51'13"). Os tratamentos foram constituídos por diferentes doses 0,0; 0,3; 0,5 e 0,7 L ha⁻¹ de Biofree® aplicado via foliar em V4/V5. Foram determinadas as variáveis altura de plantas, tamanho da panícula, estande de plantas e produtividade de grãos. Os dados foram submetidos a análise de variância ANOVA e os casos de significância foram submetidos ao teste de média Scott-Knott $p < 0,05$. A aplicação de *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* (Biofree®) promoveram incrementos na produtividade de grãos de sorgo cultivar Nucover 100.

Palavras-chave: Produtividade, Cerrado, Promotores de crescimento, Enraizadores, Doses respostas.

Abstract

Among the microorganisms that promote plant growth, we can highlight the genera *Azospirillum* and *Pseudomonas*. These groups of microorganisms can enhance the growth, development and yield of various plant species of agricultural interest. The objective of this study was to verify the efficacy and influence of the commercial product Biofree® based on *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum brasilense* applied via foliar in sorghum. The experiment was carried out at Centro Agro Pesquisa no Cerrado, Rio Verde, Goiás State, Brazil (S 17°44'54" and W 50°51'13"). The treatments consisted of different doses 0.0; 0.3; 0.5 and 0.7 L ha⁻¹ of Biofree® applied via foliar in V4/V5. The variables plant height, panicle size, plant stand, and grain yield were determined. Data were submitted to ANOVA analysis of variance and significance cases were submitted to the Scott-Knott mean test $p < 0.05$. The application of *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* (Biofree®) promoted increases in grain yield of sorghum cultivar Nucover 100.

Keywords: Productivity, Cerrado, Growth promoters, Rooters, Dose responses.

Resumen

Entre los microorganismos que favorecen el crecimiento vegetal, podemos destacar los géneros *Azospirillum* y *Pseudomonas*. Estos grupos de microorganismos pueden incrementar el crecimiento, desarrollo y rendimiento de varias especies vegetales de interés agrícola. El objetivo de este estudio fue verificar la efectividad e influencia del producto comercial Biofree® a base de *Pseudomonas fluorescens* y *Azospirillum brasilense* aplicado vía foliar en sorgo. El experimento se llevó a cabo en el Centro Agro Pesquisa no Cerrado, Rio Verde, Estado de Goiás, Brasil (S 17°44'54" y W 50°51'13"). Los tratamientos consistieron en diferentes dosis 0,0; 0,3; 0,5 y 0,7 L ha⁻¹ de Biofree® aplicado vía foliar en V4/V5. Se determinaron las variables altura de planta, tamaño de panoja,

soporte de planta y rendimiento de grano. Los datos se sometieron a análisis de varianza ANOVA y los casos significativos se sometieron a la prueba de medias de Scott-Knott $p < 0,05$. La aplicación de *Azospirillum brasilense* y *Pseudomonas fluorescens* (Biofree®) promovió incrementos en el rendimiento de grano del cultivar de sorgo Nucover 100.

Palabras clave: Productividad, *Cerrado*, Promotores de crecimiento, *Rooters*, Dosis de respuesta.

1. Introdução

O sorgo (*Sorghum bicolor*) nativo da África, está circunscrito na família Poaceae, esse, domesticado por volta de 3.000 a 5.000 anos atrás (Cardoso et al., 2017). É um dos cereais de grande destaque no mundo, sendo amplamente cultivado nos continentes Africano, Asiático e Americano, principalmente, na América Central, como fonte de alimento devido ao seu elevado teor energético (Cavalcante, 2022; Balasubramanian et al., 2020).

O sorgo granífero é uma cultura que vem ganhando destaque no cenário agrícola no território brasileiro, onde dados atuais de produção, destacam crescente demanda de área cultivável, nesses dados de plantio, temos cerca de 950,2 mil hectares plantados e aproximadamente 3,041 milhões de toneladas produzidas na safra 2021/2022, representando um aumento de 6,5% superior, em relação ao ciclo anterior (Conab, 2022).

Esse processo expansionista sobre a área cultivada, pode ser atribuída a versatilidade da cultura, tendo em vista que pode ser empregada na alimentação humana e animal pelas características funcionais e nutritivas (polissacarídeos, compostos fenólicos e carotenóides (Taleon et al., 2012; Cardoso et al., 2015; Degener, 2015; Xiong et al., 2019; Gunawan et al., 2022), e amplamente empregada na substituição ao milho na entressafra em função da redução da janela de plantio (Roby et al., 2017), sendo observado que a cultura se mantém bem em regiões semiáridas apresentando boa produção e aptidão a mudanças variáveis sobre o clima (Afify et al., 2011).

Por outro lado, o crescimento populacional mundial, exerce características fundamentais no aumento da produção de grãos, e a necessidade de incrementar recursos na otimização sobre o desenvolvimento dessa cultura em diferentes áreas cultiváveis pelo mundo (Taylor, 2019; Cavalcante et al., 2022). Dessa forma, uma alternativa que visa potencializar a produtividade de grãos é a utilização de novas tecnologias sustentáveis (Taylor, 2019; Adnan et al., 2019).

Parte dessa estratégia de agricultura sustentável, é encontrar meios tecnológicos capazes de aumentarem os rendimentos e que, apresentem uma redução sobre o uso de fertilizantes químicos (Sandini et al., 2019). Uma dessas alternativas é o emprego de microrganismos promotores de crescimento de plantas em especial cultiváveis economicamente. Dentre esse grande grupo de microrganismos promotores de crescimento de plantas, pode-se destacar os gêneros de bactérias *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Phosphobacteria* e *Pseudomonas* que vem apresentando em diversos estudos, alto potencial estimulante sobre o sistema rizosférico e nos órgãos aéreos de vegetais (Madsen; Alexander, 1982; Cassán et al., 2020; Muthukumar et al., 2021). Esses grupos bacterianos podem aumentar e ao mesmo tempo, acelerar o crescimento, desenvolvimento e rendimento de várias espécies de vegetais de interesse agrícola como (soja, milho, sorgo, milheto) (Shafeek et al., 2018). Essas bactérias são capazes de colonizar centenas de espécies de plantas e melhorar assim, significativamente seu crescimento, desenvolvimento e produtividade em condições de campo não controladas (Coniglio et al., 2019).

O gênero *Azospirillum* apresenta descrição como: bactéria gram-negativa, aeróbica ou microaerofílica, pertence a classe das Alphaproteobacterias, estando circunscrita na família Rhodospirillaceae apresentando entorno de 200 variações conforme levantamento realizado por Quadros et al. (2014). Esse gênero é composto por um grande e complexo grupo de bactérias de vida livre e que podem ser endofíticas facultativas. E é nesse sentido, que as espécies desse gênero pode ser inoculadas em plantas de interesse econômico (Quadros et al., 2014). Atualmente, vem sendo empregada principalmente em culturas de gramíneas, devido as suas características benéficas, que estimulam o crescimento por múltiplos mecanismos, incluindo a síntese de fitohormônios, aumento da nutrição nitrogenada, mitigação sobre o estresse controle biológico sobre a microbiota patogênica e aumento de produtividade (Bashan; Bashan, 2010; Domenico, 2019; Kargapolova et al., 2020).

Entre os benefícios promovidos por esse grupo bacteriano, estão a capacidade de realizar a fixação biológica de nitrogênio (FBN), que supre uma parte das necessidades de Nitrogênio (N₂) das culturas e a síntese de fitohormônios como auxinas, giberelinas e citocininas, proporcionando maior crescimento do sistema radicular, possibilitando assim, melhor absorção de nutrientes, além de maior tolerância ao estresse hídrico, corroborando no aumento da produção de biomassa da parte aérea que beneficiará a microbiota do solo mantendo úmido e diminuindo o processo de lixiviação (Hungria, 2011). Complementando essa ideia, Hungria & Nogueira (2017) mostraram em seu estudo, que gramíneas submetidas ao tratamento com variantes de *Azospirillum brasilense*

promoveram incremento de 10% no teor de N₂ e 15% de incremento na biomassa.

Outro grupo importante já citado acima, é as bactérias inseridas no gênero *Pseudomonas* (bacilos) encontradas em solos, água doce e água salgada, que são inseridas no grupo gram-negativas (Michel-Briand; Baysse, 2002). Em especial, *Pseudomonas fluorescens*, é uma espécie estudada, onde os relatos benéficos para a agricultura, vem demonstrando que influenciam sobre o controle alguns fitopatógenos nocivos, produzindo grupos de metabólitos especiais antipatogênicos e com capacidade de solubilizarem fontes de fosfatos não lábeis que os vegetais não podem acessar, por estarem retidos no solo. Esses são alguns dos diversos benefícios de se estudar e usar essas bactérias promotoras em grandes quantidades (Oliveira et al., 2015; Kazi et al., 2016).

Nesse contexto, estudos com as espécies *A. brasilense* e *P. fluorescens*, corroboram para enfatizar o potencial aumento relativo a algumas variáveis como produtividade e crescimento. Valverde et al. (2015) constataram em seu estudo, que a aplicação de *P. fluorescens* promoveu um maior tamanho da panícula e aumento no rendimento e enchimento de grãos, além de maior aporte de massa seca de raiz e ganho de massa fresca quando comparados ao tratamento controle (Kazi et al., 2016).

Existem diferentes práticas de inoculação (tratamentos de sementes aplicados por agricultores ou industriais, aplicações em sulcos, foliares ou pulverizados no solo) desenvolvidas e aprimoradas nas últimas duas décadas para uma ampla variedade de culturas, em condições de campo. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi verificar a eficácia e a influência do produto comercial Biofree® a base de *Azospirillum brasilense* sorovar AbV6 e *Pseudomonas fluorescens* sorovar CCTB03 na cultura do sorgo cultivar Nucover 100.

2. Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido no Centro Agro Pesquisa no Cerrado, Rio Verde, Goiás, Brasil, com as seguintes coordenadas geográficas (S 17°44'54" e W 50°51'13") e com 708 m de altitude. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (LVDF) (Santos et al., 2018). Previamente à instalação do experimento, realizou-se a coleta de amostras de solo e análise química para quantificação de macronutrientes e micronutrientes (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização do solo da área experimental na camada 0,00 a 0,20 m, Centro Agro pesquisa.

	Resultados Analíticos								
	P (mg dm ⁻³)	MO (g dm ⁻³)	pH*	K	Ca ^{2+*}	Mg ^{2+*}	Al ^{3+*}	CTC	SB
Profundidade	mg dm ⁻³								
0,00-0,20 m	14	ns	4,90	75,0	1,97	0,75	0,06	8,00	36,40
	V	Ca/CTC	Mg/CTC	Argila**	Silte**	Areia**	m		
	36,40	24,60	9,40	525,0	175,0	300,0	2,00		

Nota: *cmolc dm⁻³. **g dm⁻³. MO = matéria orgânica. CTC = capacidade de troca catiônica. SB = soma de bases. V = saturação de bases. Ca/CTC = quantidade de Cálcio na CTC. Mg/CTC = quantidade de magnésio na CTC. m = saturação por Alumínio. Fonte: Autores, 2022.

Foi utilizada a cultivar de sorgo Nucover 100, semeado em 26 de Março de 2022 em sistema de semeadura direta (220.000 plantas por hectare e espaçamento de 0,50 m), a colheita ocorreu em 14 de Julho de 2022. Todos os tratamentos culturais realizados na área do ensaio foram feitos conforme as recomendações preconizadas para a cultura na região como manejo de plantas daninhas, doenças e pragas.

Após 20 dias de semeadura, foi realizada aplicação de Atrazina SD 500 SC®, (Atrazina 500 g L⁻¹) pulverização tratorizada com barras 150 L ha⁻¹, classe (herbicida seletivo de ação sistêmica, grupo químico Triazina) para o controle de plantas infestantes na área experimental. Em diferentes períodos, foi realizado 3 aplicações de inseticida para controle de pulgão, primeiro tempo com Galil SC® 0,3 L ha⁻¹, classe (inseticida sistêmico, grupos químicos Neonicotinoide e Piretroide), (Imidacloprido 250 g L⁻¹ (25% m/v), Bifentrina 50 g L⁻¹ (5% m/v)) segundo tempo Engeo Pleno™ S 0,3 L ha⁻¹, classe (inseticida sistêmico de contato e ingestão), (Tiametoxam 141 g L⁻¹ (14,1% m/v), Lambda-Cialotrina 106 g L⁻¹ (10,6% m/v), Nafta de Petróleo 72,76 g L⁻¹ (7,27% m/v)) e terceiro tempo com Imida 0,2 + Acefato Nortox® 1,0 Kg⁻¹ (Acefato 750 g kg⁻¹).

Após o florescimento das plantas aos 60 dias após a semeadura, foi realizado 1 aplicação de fungicida Orkestra® SC, classe (fungicida de ação protetora e sistêmica, grupos Estrobilurina (Piraclostrobina) e Carboxamida (Fluxapiraxade)), (Fluxapiraxade 167 g L⁻¹ (16,7% m/v), Piraclostrobina 333 g L⁻¹ (33,3% m/v) 0,3 + 1,0 kg⁻¹ Unizeb® Gold, classe (fungicida e acaricida de contato), (Mancozebe 750 g L⁻¹ (75% m/v)).

Segundo a classificação de Köppen e Geiger (1928), clima da região é classificado como Aw (tropical), com chuva nos meses de Outubro a Maio, e com seca nos meses de Junho a Setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 35 °C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais e o relevo é suave ondulado (6% de declividade) (Silva et al., 2017). O delineamento experimental utilizado foi em bloco casualizados, com 4 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos consistiram em quatro doses do Biofree® (Tabela 2).

Tabela 2. Descrição dos tratamentos, safrinha 2022, Rio Verde, Goiás, Brasil.

Tratamentos	Doses	Estádio	Data
1	0,0 L ha ⁻¹ de Biofree		
2	0,3 L ha ⁻¹ de Biofree	V4/5	14/04/2022
3	0,5 L ha ⁻¹ de Biofree		
4	0,7 L ha ⁻¹ de Biofree		

Fonte: Autores, 2022.

As parcelas experimentais foram constituídas de 12 linhas de 15 metros, totalizando 6 m x 15 m = 90 m². As aplicações dos tratamentos foram feitas utilizando pulverizador costal com pressurização por CO₂ munido de barra de 3 m, contendo seis pontas de pulverização do tipo TJ 110.015 (0,50 m entre pontas), aplicando volume de calda equivalente a 150 L ha⁻¹, com pressão constante de 50 psi. As condições ambientais foram sempre monitoradas para obter uma condição favorável de temperatura média 25 °C, UR média de 65%, nebulosidade de 60% e velocidade do vento média de 2,0 km h⁻¹. As aplicações foram sempre realizadas entre 16:50 e 17:30 h, período que foi possível reunir as melhores condições climáticas para as aplicações.

Os dados biométricos: altura de plantas (AP) foram determinadas com o auxílio de uma fita métrica, medindo desde o colo até o ápice da panícula; tamanho da panícula (TP) foi determinado com o auxílio de uma fita métrica, medindo desde a base da panícula até o ápice da panícula; o estande de plantas (EP) foi determinado por meio da contagem do número total de plantas colhidas em 2 metros.

A produtividade de grãos foi determinada colhendo e trilhando as plantas de uma área de 10 m² central de cada parcela experimental, totalizando 40 m² por tratamento. Foi determinado o teor de água da massa total de grãos e corrigido para 13% (b.u) e os valores extrapolados para kg ha⁻¹. Os dados foram submetidos a análise de variância ANOVA e os casos de significância foram submetidos ao teste de média Scott-Knott com $p < 0,05$, utilizando o software estatístico Sisvar® (Ferreira, 2011).

3. Resultados e Discussão

As variáveis altura de plantas (AP) e estande de plantas (EP) não foram significativas em função dos tratamentos como se observa na (Tabela 3). Corroborando com nossos achados, diversos estudos apresentam resultados similares, Trindade et al. (2020) obtiveram resultados próximos ao deste estudo para população final com médias de 108924 e 106963 plantas ha⁻¹, altura de planta com a presença entre 2,95 e 3,03 m, diâmetro entre 19,76 e 19,59 mm e número de folhas entre 10,85 e 11,30 na presença ou ausência em plantas de sorgo em diferentes doses de *A. brasilense*, respectivamente. O mesmo é observado no estudo de Nakao et al. (2018) para sorgo dupla-aptidão na presença ou ausência de doses de *A. brasilense*.

Em comparação com plantas de milho, Martins et al. (2016) não encontraram distinção estatística entre os diâmetros e colmos de plantas de milho com a aplicação de *A. brasilense* e fitohormônios. Nunes et al. (2021) encontraram resultados semelhantes, onde a altura de plantas não foi influenciada pelo uso de microrganismos promotores de crescimento de plantas. O mesmo foi observado por Brennecke et al. (2016) e Souza (2022) sobre o crescimento de gramíneas, onde encontraram resultados semelhantes aos nossos achados, onde mostram que a estação do ano exerce certa influência sobre o crescimento das gramíneas, além das condições climáticas. Ainda, Brennecke et al. (2016) encontraram os maiores valores de alongamento do colmo através do tratamento de

semente.

A cerca da não resposta no incremento da altura de plantas, pode ser justificado pela estirpe utilizada (Reis Júnior, et al., 2012). De acordo com Bartchechen et al. (2010), o uso de bactérias diazotróficas pode aumentar a produção de fitohormônios elevando assim, a atividade de enzimas fotossintéticas no fotossistemas I e II, acarretando melhores taxas de produtividade.

Por sua vez, a variável tamanho da panícula (TP) e produtividade de grãos em sacas por hectare (PROD) foram significativas em função dos tratamentos (Tabela 3). Em comparação, a produtividade de grãos aplicando doses de extrato de algas na cultura de sorgo apresentou taxa superior 64,20% sobre a testemunha, no entanto, inferior quando comparado com as doses de *A. brasilense* que apresentaram diferença significativa por Trindade et al. (2020) em concordância ao nosso achado. A produtividade de panícula também foi superior para dosagens com *A. brasilense* e inferior com extrato de algas ainda nesse estudo. Resultados em discordância foram obtidos por Nakao et al. (2018) onde não verificaram diferença estatística entre a presença ou ausência da bactéria em plantas de sorgo dupla-aptidão. Possivelmente, o uso isolado de *A. brasilense* sem adição de *P. fluorescens* tenha chegado a esse resultado negativo pelos pesquisadores.

Tabela 3. Análise de variância para as variáveis altura de plantas (AP), estande de plantas (EP), tamanho da panícula (TP) e produtividade de grãos em sacas por hectare (PROD), em função dos tratamentos, safrinha 2022, Rio Verde-Goiás, Brasil.

FV	GL	Quadrados médios	
		AP	EP
Tratamentos	3	79,06 ^{ns}	43,73 ^{ns}
Blocos	3	62,23	15,23
Resíduo	9	43,56	18,95
CV (%)		7,37	9,40

FV	GL	Quadrados médios	
		TP	PROD
Tratamentos	3	67,42 ^{**}	175,87 ^{**}
Blocos	3	69,41 ^{ns}	15,48
Resíduo	9	23,28	2,12
CV (%)		8,15	3,52

Nota: ns não significativo e *; ** significativo respectivamente a 5 e 1% de probabilidade segundo teste F. DAA: dias após aplicação; FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade e CV: coeficiente de variação.

A aplicação de Biofree[®] entre as doses 0,3 a 0,7 L ha⁻¹, influenciaram no aumento do tamanho da panícula, quando comparado a aplicação de 0,0 L ha⁻¹ (testemunha) onde observa-se que o uso de Biofree[®] independente da dose, promoveu um incremento médio de 18,07% (3,75 cm). A aplicação de 0,5 L ha⁻¹ de Biofree[®] promoveu o maior incremento na produtividade de grãos (45,35%, 15,43 sacas por hectare) quando comparado a testemunha. Já o uso de 0,7 L ha⁻¹ de Biofree promoveu uma taxa de ganho médio de 28,07% (9,55 sacas por hectare). Apesar de ter promovido o menor incremento dentre as doses anteriores, a aplicação de 0,3 L ha⁻¹ de Biofree[®] promoveu aumento significativo de 13,37% (4,55 sacas por hectare) (Tabela 4).

Resultados encontrados por Leite et al. (2018) corroboram com esse estudo, pois estes incrementos no tamanho da panícula e na produtividade provavelmente se deve a estimulação na produção de fitohormônios pela *P. fluorescens*. Embora o aumento substancial nos parâmetros sobre o crescimento tenham apresentado resultados pouco satisfatórios, sugere-se que, o tempo de estabelecimento (crescimento) dos microrganismos testados apresentaram um tempo superior para que fosse possível delinear a resposta no cultivar de sorgo sobre o estabelecimento dos microrganismos avaliados, nossa sugestão também é discutida no estudo de Kazi et al. (2016).

Microrganismos promotores de crescimento estimulam a produção de citocininas, giberelinas e auxinas (Fukami, et al., 2017; Gouda, et al., 2018), desempenhando importantes funções sobre substâncias responsáveis pelo

crescimento e desenvolvimento de plantas que corroboram no aumento da produtividade de grãos (Fukami, et al., 2018).

Os resultados encontrados por Duarte et al. (2020) também corroboram com os nossos achados, onde a aplicação de *P. fluorescens* e *A. brasilense*, provocam aumento da produtividade de grãos em gramíneas. Esses microrganismos promotores de crescimento em conjunto, podem aumentar o crescimento das plantas por uma ampla variedade de mecanismos, como solubilização de nutrientes, fixação biológica de N₂, produção de fitohormônios, atividade antifúngica, produção de compostos orgânicos voláteis, indução de resistência sistêmica, simbioses benéficas planta-microrganismo e na interferência sobre a produção de toxinas patogênicas, o que justifica o incremento sobre a taxa de produtividade de grãos e tamanho da panícula no vegetal (Ehteshami et al., 2018; Nagargade et al., 2018; Duarte et al., 2020).

Tabela 4. Teste de média para as variáveis tamanho da panícula (TP) e produtividade de grãos em sacas por hectare (PROD), em função dos tratamentos, safrinha 2022, Rio Verde, Goiás, Brasil.

Tratamentos	Médias	
	TP	PG
	Nº de plantas	Sc ha ⁻¹
0,0 L ha ⁻¹ de Biofree [®]	17,00 b	34,02 d
0,3 L ha ⁻¹ de Biofree [®]	20,50 a	38,57 c
0,5 L ha ⁻¹ de Biofree [®]	22,25 a	49,45 a
0,7 L ha ⁻¹ de Biofree [®]	19,50 a	43,57 b
Erro padrão	0,80	0,73

Nota: Sc = sacas. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

4. Conclusões

A altura e o estande de plantas não foram influenciados pela aplicação foliar de *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* a partir do produto comercial (Biofree[®]). Embora essa aplicação associada, promoveu aumento substancial no tamanho das panículas e de produtividade de sorgo por saca por hectare do cultivar Nucover 100.

5. Agradecimentos

Ao Centro Universitário do Sudoeste Goiano – UniBRAS; ao Centro Agro Pesquisa do Cerrado, Goiás, Brasil; e ao órgão de fomento em pesquisa FAPEG.

6. Referências

- Adnan, N., Nordin, S. M., Bahruddin, M. A. & Tareq, A. H. (2019). A State-of-the-art review on facilitating sustainable agriculture through green fertiliser technology adoption: assessing farmers behavior. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 439-452. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.040>
- Afify, A. E.-M. M. R., El-Beltagi, H. S., Abd El-Salam, S. M. & Omran, A. A. (2011). Bioavailability of iron, zinc, phytate and phytase activity during soaking and germination of white sorghum varieties. *PLoS ONE*, 6, 255-212. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025512>
- Bashan, Y. & Bashan, L. E. (2010). How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth – a critical assessment. *Advances in Agronomy*, 108, 77-136. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)08002-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)08002-8)
- Balasubramanian, V., Madhuri, N. & Rudakiya, D. M.; Datta, M. (2020). Sweet sorghum: a potential resource for bioenergy production, refining biomass residues for sustainable energy and bioproducts. New York: Academic Press, p. 215-242, 2020.
- Brennecke, K., Bertipaglia, L. M. A., Antoniazzi, A. & Souza, E. F. (2016). Inoculação da bactéria *Pseudomonas*

- fluorescens no índice de crescimento da *Brachiaria decumbens* spp. *Revista Acadêmica Ciência Animal*, 14, 217-224. <https://doi.org/10.7213/academica.14.2016.24>
- Calvacante, W. S. S., Silva, N. F., Teixeira, M. B., Cabral, F. R., Corrêa, F. R. & Cunha, F. N. (2021). Comportamento de diferentes doses de bioestimulantes na cultura do sorgo. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, 12(11), 45-54. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.011.0005>.
- Cardoso, L. M.; Pinheiro, S. S.; Martino, H. S. D.; Pinheiro-Sant'Ana, H. M. (2017). Sorghum (*Sorghum bicolor* L.): nutrients, bioactive compounds, and potential impact on human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(2), 372-390. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.887057>
- Cassán, F.; Coniglio, A.; López, G.; Molina, R.; Nievas, S.; Carlan, C. L. N.; Donadio, F.; Torres, D.; Rosas, S.; Pedrosa, F. O.; Souza, E.; Zorita, M. D.; Bashan, L.; Mora, V. (2020). Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. *Biological and Fertility of Soils*, 56, 461-479. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>
- Conab - Companhia Nacional de Abastecimento. (2022). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Conab, Safra 2021/22, Brasília, 8(7), 2022.
- Coniglio, A., Mora, V., Puente, M. & Cassán, F. (2019). *Azospirillum* as biofertilizer for sustainable agriculture: *Azospirillum brasilense* AZ39 as a model of PGPR and field traceability. *Microbial Probiotics for Agricultural Systems*, 1, 45-70. https://doi.org/10.1007/978-3-030-17597-9_4
- Degener, J. F. (2015). Atmospheric CO₂ fertilization effects on biomass yields of 10 crops in northern Germany. *Frontiers in Environmental Science*, 3, 48. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00048>
- Domenico, P. (2019). Effect of *Azospirillum brasilense* on garlic (*Allium sativum* L.) cultivation. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 02(03), 008-013. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2019.2.3.0039>
- Duarte, C. F. D., Cecato, U., Hungria, M., Fernandes, H. J., Biserra, T. T., Mamédio, D. & Nogueira, M. A. Inoculação de bactérias promotoras do crescimento vegetal em *Urochloa ruziziensis*. *Research, Society and Development*, 9(8), e630985978-e630985978. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5978>
- Ehteshami, S. M., Khavazi, K. & Asgharzadeh, A. (2018). Forage sorghum quantity and quality as affected by biological phosphorous fertilization. *Grass and Forage Science*, 73(4), 926-937. <https://doi.org/10.1111/gfs.12388>
- Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35(6), 1039-1042. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- Fukami, J., Ollero, F. J., Megías, M. & Hungria, M. (2017). Phytohormones and induction of plant-stress tolerance and defense genes by seed and foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* cells and metabolites promote maize growth. *AMB Express*, 7(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0453-7>
- Gouda, S., Kerry, R. G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H. S. & Patra, J. K. (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological Research*, 206, 131-140. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>
- Gunawan, S.; Dwitarsari, I.; EAHMAWATI, N.; DARMAWAN, R.; APARAMARTA, H. W.; WIDJAJA, T. Effect of process production on antinutritional, nutrition, and physicochemical properties of modified sorghum flour. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 15, n. 10, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104134>
- Hungria, M. (2011). Inoculação com *Azospirillum brasilense*: Inovação em rendimento a baixo custo. Londrina: Embrapa Soja, n. 325, jan. 2011, 36 p. (Documentos, n. 325).
- Hungria, M.; Nogueira, M. A. (2017). Inoculação de braquiárias com *Azospirillum*. Embrapa Soja. Folder, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-depublicacoes/-/publicacao/1085771/inoculacao-de-braquiarias-com-azospirillum>. Acesso em: 11 de Novembro de 2022.
- Kargapolova, K. Y.; Burygin, G. L.; Tkachenko, O. V.; Evseeva, N. V.; Pukhalskiy, Y. V.; Belimov, A. A. (2020). Effectiveness of inoculation of *in vitro*-grown potato microplants with rhizosphere bacteria of the genus *Azospirillum*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, v. 141, p. 351-359, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-020-01791-9>
- Kazi, N., Deaker, R., Wilson, N., Muhammad, K. & Trethowan, R. (2016). The response of wheat genotypes to inoculation with *Azospirillum brasilense* in the field. *Field Crops Research*, 196, 368-378. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.012>

- Leite, R. D. C., Dos Santos, J. G., Silva, E. L., Alaves, C. R., Hungria, M., Leite, R. D. C. & Dos Santos, A. C. (2018). Productivity increase, reduction of nitrogen fertiliser use and drought-stress mitigation by inoculation of *Marandu* grass (*Urochloa brizantha*) with *Azospirillum brasilense*. *Crop and Pasture Science*, 70(1), 61-67. <https://doi.org/10.1071/CP18105>
- Madsen, E. L. & Alexander, M. (1982). Transport of *Rhizobium* and *Pseudomonas* through soil. *Soil Science Society of America Journal*, 46(3), 557-560. <https://doi.org/10.2136/sssaj1982.03615995004600030023x>
- Martins, D. C., Borges, I. D., Cruz, J. C. & Martins Netto, D. A. (2016). Produtividade de duas cultivares de milho submetidas ao tratamento de sementes com bioestimulantes fertilizantes líquidos e *Azospirillum* sp. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 15(2), 217-228. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v15n2p217-228>
- Michel-Briand, Y. & Baysse, C. (2002). The pyocins of *Pseudomonas aeruginosa*. *Biochimie*, 84(5-6), 499-510. [https://doi.org/10.1016/S0300-9084\(02\)01422-0](https://doi.org/10.1016/S0300-9084(02)01422-0)
- Muthukumar, A., Sandhya, G. M. & Dakshayani, G. (2021). Morphological and biochemical characterization – A comparative analysis of non-commercial and commercial plant growth promoting microorganisms. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 10(2), 867-874. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2021.1002.102>
- Nagargade, M., Tyagi, V. & Singh, M. K. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: a biological approach toward the production of sustainable agriculture. *Role of Rhizospheric Microbes in Soil*, 205-223. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8402-7_8
- Nakao, A. H., Andreotti, M., Soares, D. A., Modesto, V. C. & Dickmann, L. (2018). Intercropping *Urochloa brizantha* and sorghum inoculated with *Azospirillum brasilense* for silage. *Revista Ciência Agrônômica*, 49(3), 501-511. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180057>
- Nunes, L. R. Milho em segunda safra: espaçamento entre linhas, consórcio com *Urochloa brizantha* e coinoculação de *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens*. Dissertação (Mestrado), Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, Goiás, Brasil, 2021.
- Oliveira, M. A., Zucareli, C., Ferreira, A. S., Domingues, A. R., Spolaor, L. T. & Neves, C. S. V. J. (2015). Adubação fosfatada associada à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no desempenho agrônômico do milho. *Revista de Ciências Agrárias*, 1(38), 18-25. <https://doi.org/10.19084/rca.16864>
- Quadros, P. D., Roesch, L. F. W., Silva, P. R. F., Vieira, V. M., Roehrs, D. D. & Camargo, F. A. O. (2014). Desempenho agrônômico a campo de híbridos de milho inoculados com *Azospirillum*. *Revista Ceres*, 61(2), 209-218. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2014000200008>
- Reis Junior, F. B. D., Machado, C. T. D. T., Machado, A. T. & Sodek, L. (2012). Inoculação de *Azospirillum amazonense* em dois genótipos de milho sob diferentes regimes de nitrogênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32, 1139-1146. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300022>
- Roby, M. C., Salas Fernandez, M. G., Heaton, E. A., Miguez, F. E. & Vanloocke, A. (2017). Biomass sorghum and maize have similar water-use-efficiency under nondrought conditions in the rain-fed Midwest U. S. *Agricultural and Forest Meteorology*, 247, 434-444. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.08.019>
- Sandini, I. E., Pacentchuk, F., Hungria, M., Nogueira, M. A., Cruz, S. P., Nakatani, A. S. & Araújo, R. S. (2019). Seed inoculation with *Pseudomonas fluorescens* promotes growth, yield and reduces nitrogen applications in maize. *International Journal of Agriculture & Biology*, 22(6), 1369-1375. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.1210>
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Dos Anjos, L. H. C., De Oliveira, V. A., Lumberras, J. F., Coelho, M. R. & Cunha, T. J. F. (2018). Sistema brasileiro de classificação de solos. 5ª Ed., Brasília: Embrapa, 2018. 355 p.
- Shafeek, M. R., Rakha, M. K. A., Mahmoud, A. R. & Ali, A. H. (2018). Impact of inoculation with P-fixers bacteria and nutrient compound on growth, yield and nutritional values of garlic plant (*Allium sativum* L.). *Middle East Journal of Agriculture*, 07(03), 816-825. <https://www.curreweb.com/mejar/mejar/2018/816-825.pdf>
- Silva, N. F., Cunha, F. N., Teixeira, M. B., Soares, F. A. L., Vidal, V. M. & Morais, W. A. (2017). Reposição hídrica e adubação nitrogenada na cana-de-açúcar via gotejamento subsuperficial: cana-planta e cana-soca. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 11(6), 1862. <https://doi.org/10.7127/rbai.v11n600642>
- Souza, R. M. D. (2022). Coinoculação de alho com *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens*.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Universidade Federal de Santa Catarina, p. 68.

- Taleon, V., Dykes, L., Rooney, W. L. & Rooney, L. W. (2012). Effect of genotype and environment on flavonoid concentration and profile of black sorghum grains. *Journal Cereal Science*, 56(2), 470-475. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.05.001>
- Taylor, J. R. N. Sorghum and Millets: Taxonomy, History, Distribution, and Production. Sorghum and Millets. AACC International Press, 2019. p. 1-21. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811527-5.00001-0>
- Trindade, V. D. R., Viana, R. S., Sá, M. E., Máximo, A. L. S. & Andrade, M. G. O. (2020). Características agronômicas de sorgo dupla aptidão submetidos à aplicação de extrato de algas e *Azospirillum brasilense* via foliar. *Research, Society and Development*, 9(8). <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5172>
- Valverde, C., Gonzalez Anta, G. & Ferraris, G. (2015). *Pseudomonas* and *Azospirillum*. Handbook for *Azospirillum*. Springer, Cham, p. 389-409. https://doi.org/10.1007/978-3-319-06542-7_21
- Xiong, Y., Zhang, P., Warner, R. D. & Fang, Z. (2019). Sorghum grain: from genotype, nutrition, and phenolic profile to its health benefits and food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(6), 2025-2046. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12506>

Copyrights

Copyright for this article is retained by the author(s), with first publication rights granted to the journal.

This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).