

**PROSPECÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FÓSFORO,
PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS DE SOJA E
BIOCONTROLADORAS DO FUNGO *Sclerotinia sclerotiorum***

PROSPECTION OF PHOSPHORUS SOLUBILIZING BACTERIA, GROWTH PROMOTERS OF
SOYBEAN PLANTS AND BIOCONTROLLERS OF *Sclerotinia sclerotiorum*

Ismail Teodoro de Souza Júnior¹
Debora Curado Jardim²
Carlos Eduardo Bezerra³
Glauceane Nascimento Nunes⁴

RESUMO

Os solos do Cerrado brasileiro possuem o fósforo como o elemento mais limitante, por ter uma quantidade baixa e uma alta capacidade de retenção na fase sólida, desta forma, o P se apresenta em sua maioria adsorvido ao solo. A utilização de bactérias representa uma alternativa sustentável para mobilizar o fósforo nos solos. O objetivo deste estudo foi prospectar bactérias com atividade solubilizadora de fósforo com potencial de serem utilizadas para promoção de crescimento de plantas de soja e biocontrole de *S. sclerotiorum*. Foram realizados os isolamentos bacterianos de diferentes solos e localidades do MT. Após foram selecionados os isolados com maior capacidade solubilizadora de fosfato e realizado experimento com plantas de soja em casa de vegetação em DIC, com 11 tratamentos, sendo eles nove isolados VG09, VG27, VG42, VG46, VG47, VG68, VG82, VG89, VG91, adubação (NPK) e a testemunha sem adubação fosfatada. Foram avaliados comprimento das raízes, altura das plantas, peso fresco e seco das raízes e da parte aérea. Por fim, foi realizado o teste de sanidade de sementes com *S. sclerotiorum*, avaliando as nove bactérias, o fungicida químico Certeza N (tiofanato-metílico e fluazinam) além da testemunha. Os isolados bacterianos VG91, VG09 e VG27 se destacaram por proporcionar incrementos na maioria dos parâmetros de promoção de crescimento de plantas de soja avaliados. O tratamento biológico de sementes com as bactérias VG42, VG 27, VG46, VG47 e VG91 proporcionaram o controle satisfatório do *S. sclerotiorum* em sementes de soja.

Palavras-chave: *Glycine max* L.; Mofo branco; Fosfato; Agricultura sustentável.

¹ Docente do Curso de Agronomia do Univag

² Docente do curso de Agronomia do Univag

³ Docente e Coordenador do Curso de Agronomia do Univag

⁴ Estudante do curso de Agronomia do Univag

ABSTRACT

The soils of the Brazilian Cerrado have phosphorus as the most limiting element, as it has a low quantity and a high retention capacity in the solid phase, thus, the P is mostly adsorbed to the soil. The use of bacteria represents a sustainable alternative to mobilize phosphorus in soils. This study aimed to prospect bacteria with phosphorus solubilizing activity with the potential to be used to promote the growth of soybean plants and the biocontrol of *S. sclerotiorum*. Bacterial isolations were carried out from different soils and locations in MT. Afterward, the isolates with the highest phosphate solubilizing capacity were selected, to test in an experiment with soybean plants in a greenhouse in DIC, with 11 treatments, nine of which were isolates VG09, VG27, VG42, VG46, VG47, VG68, VG82, VG89, VG91, fertilization (NPK) and the control without phosphate fertilization. Root length, plant height, and fresh and dry weight of roots and shoots were evaluated. Finally, the seeds health test was realized with *S. sclerotiorum*, evaluating the nine bacteria, the chemical fungicide Certeza N (thiophanate-methyl and fluazinam), and the treatment control. The bacterial isolates VG91, VG09, and VG27 stood out for providing increases in most of the soybean plant growth promotion parameters evaluated. Biological seed treatment with the bacteria VG42, VG 27, VG46, VG47, and VG91 provided satisfactory control of *S. sclerotiorum* in soybean seeds.

Keywords: *Glycine max* L.; white mold; phosphate; Sustainable Agriculture

1. INTRODUÇÃO

Atualmente agricultura é de suma importância para o Brasil e para o mundo, sendo uma das principais fontes produtoras de matérias primas para alimentos, biocombustíveis, produção de energia assim como elevados números de empregos. O setor agrícola é o que mais vem se destacando em relação a contribuição do PIB nacional. Estudos mostram saltos significativos na produção nacional, há quatro décadas atrás o país produzia apenas 38,1 milhões de toneladas de grãos (EMBRAPA, 2018), já na safra 2023, essa produção foi elevada para 322,8 milhões de toneladas, isso se deu pela busca de novas tecnologias, maior responsabilidade no desenvolvimento da agricultura, ecossistemas, estratégias econômicas e investimentos tanto em pesquisas como no alargamento de novas técnicas que possibilitam uma maior produção em menor área (CONAB, 2023).

Nas regiões tropicais no Brasil, são notórios vários tipos de solo, sendo a maioria intemperizados e ácidos, limitando o fósforo (P) e elevando a capacidade de adsorção desse nutriente devido à alta atração que ele tem com o ferro e o alumínio ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), sendo assim inviável a absorção desse nutriente para as plantas. O Cerrado brasileiro possui o fósforo como o elemento mais limitante na área agrícola, por ter uma quantidade baixa e uma alta capacidade de retenção na fase sólida (PANIVATO et al., 2017),

deste modo os adubos fosfatados dispõe baixa eficiência, apenas 10 % a 25% se torna disponível para a planta, as sobras ficam impossibilitado de absorção devido a precipitação com ferro e alumínio nos solos ácidos (SILVA et al., 2019).

Essa baixa disponibilidade de fósforo no solo, faz com que se exija da planta um bom mecanismo de absorção que ocorre através das raízes, fazendo com que o P atue em diversas funções essenciais para a manutenção da viabilidade celular, formando elo entre as unidades ribonucleosídeos que o compõe e fazendo parte da estrutura de macromoléculas vitais como os ácidos nucleicos DNA e RNA, (MARSCHNER, 2012).

Na produção agrícola se destaca o uso de fertilizantes químicos, seja pela facilidade de transporte, pela alta circulação ou o alto teor de nutrientes presente, sendo principalmente o arranjo mais encontrado o NPK (nitrogênio, fósforo e potássio). Porém atualmente vem se destacando o uso de biofertilizantes, ou seja, fertilizantes a base de ativos compostos pela ação dos microrganismos, agindo diretamente sobre toda ou parte das plantas cultivadas, assim cada vez mais estão sendo indicado, pelos benefícios que os acompanham, nesse contexto se enquadra a prospecção de bactérias solubilizadoras de fósforo. Para que se possa avançar com o uso dos biofertilizantes, é necessário que haja uma maior contribuição entre indústria, pesquisadores, políticas públicas que beneficiem tanto o sistema de produção como o pleno funcionamento do mesmo (SILVA, 2021).

Uma alternativa de manejo para tornar o P disponível para a planta é o uso de microrganismos como bactérias, elas possuem habilidades de elevar a solubilização de compostos fosfatados insolúveis, baseando-se na população microbiana do solo, bactérias solubilizadoras de fosforo em sua maioria atinge entre 1% e 50% de sua população total. Dentre os mecanismos utilizados pelos microrganismos na transformação de fosfato pouco solúveis em solúveis, estão a ocorrência de processos como o desencadeamento de metabólitos de enzimas extracelulares e ácidos orgânicos, processos de acidificação, reações de trocas e quelação (ABREU et al., 2017).

Manter a produtividade em alta exige cuidados desde o preparo do solo, plantio até a colheita, e um dos cuidados que se deve ter é com os patógenos que podem interferir em grandes resultados, entre eles se destaca a *S. sclerotiorum*, que é um fungo que pode surgir tanto em regiões temperadas, quanto em subtropicais e tropicais, causando o mofo branco que é disseminado pelas sementes, e que pode acometer várias partes da planta (SAHARAN; MEHTA, 2007; SILVA et al., 2008). As opções de controle fitopatógenos mais utilizado ainda

é o controle químico, porém é necessário se ter muito cuidado nesse manejo para que não ocorra contaminações tanto de subprodutos como do meio ambiente e resistência aos princípios ativos.

Portanto, este estudo teve como objetivo prospectar isolados bacterianos com atividade solubilizadora de fósforo com potencial de serem utilizadas na cultura da soja para promoção de crescimento de plantas e controle de *S. sclerotiorum*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Isolamento de bactérias provenientes do solo e aferição dos halos de degradação em meio fosfato

O trabalho foi realizado no Laboratório de Fitopatologia e em casa-de-vegetação do Centro Universitário de Várzea Grande - UNIVAG, localizado no município de Várzea Grande-MT, entre o período de agosto de 2022 a novembro de 2023. As amostras de solos foram coletadas em áreas das seguintes regiões do estado de Mato Grosso, Baixada Cuiabana (região do Pedra 90), Chapada dos Guimarães (Cacheira do Maribondo), Serra de São Vicente, Rosario Oeste, e Várzea Grande (Campo Experimental do UNIVAG) e em área de vegetação nativa do bioma amazônico tais amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em geladeira 4°C, até a realização do isolamento.

Para realizar o isolamento utilizou-se a metodologia de Santos (2013), em frascos Erlenmeyer, contendo 50 mL de tampão PBS (tampão fosfato-salino), foram acrescentados 5g de solo e raízes. Estes frascos foram mantidos sob agitação constante em 120 rpm, em temperatura ambiente, por 4 horas. Em seguida foram realizadas diluições seriadas das suspensões das amostras de solos e raízes de cada local. Após, 100 µL das diluições, 10⁻⁴, 10⁻³ e 10⁻² foram plaqueadas em placas Petri com o auxílio da alça de Drigalski contendo meio sólido rico em fosfato inorgânico seletivo para bactérias solubilizadoras de fosfato inorgânico (10 g L⁻¹ de glicose; 5 g L⁻¹ de NH₄Cl; 1 g L⁻¹ de MgSO₄·7H₂O; 8 g L⁻¹ de CaHPO₄; 30 g L⁻¹ de Ágar; pH 7,2) (1,44 g L⁻¹ de Na₂HPO₄; 0,24 g L⁻¹ de KH₂PO₄; 0,20 g L⁻¹ de KCl; 8,00 g L⁻¹ de NaCl; pH 7,4) sendo feito três repetições para cada diluição, as mesmas foram acondicionadas em câmara de crescimento a 28 °C. Para avaliação, as placas foram verificadas 21 dias após a repicagem, sendo selecionadas as colônias bacterianas que apresentarem halos de degradação. Cada isolado bacteriano foi repicado em tubo de ensaio com rosca e armazenado em geladeira a 4°C.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), sendo 82 tratamentos compostos por cada isolado bacteriano, com quatro repetições. As colônias isoladas

foram caracterizadas em relação as características morfológicas, como cor, brilho, forma e borda. Para as colônias bacterianas que apresentarem halo de degradação, realizou-se o teste de quantificação da degradação de fosfato, para isso as bactérias foram repicadas em pontos nas placas em meio de cultura à base de fosfato e após sete dias, foi realizada a avaliação através da mensuração do halo de degradação, com auxílio de um paquímetro.

2.2 Avaliação de bactérias solubilizadoras de fosfato na promoção do crescimento de plantas de soja em casa de vegetação

O teste in planta foi realizado na casa de vegetação do campo experimental do Centro Universitário de Várzea Grande – UNIVAG. Primeiramente foi realizada análise do solo por meio de amostras compostas, onde foi verificado os teores de nutrientes disponíveis no solo através da análise química, para saber situação do solo e para realizar a correção de acordo com a análise (Quadro 1).

Quadro 1. Análise química do solo experimental do Centro Universitário de Várzea Grande – UNIVAG, na profundidade de 0 a 20 cm.

Prof.	pH	pH	mg dm ⁻³		cmolc dm ⁻³				g dm ⁻³		g kg ⁻¹		
0 a 20 cm	H ₂ O	CaCl ₂	P	K	Ca	Mg	Al	H	H + Al	M.O.	Areia	Silte	Argila
	6,5	5,8	30,5	60,8	1,07	0,59	0,0	0,9	0,9	4,71	826	66	108
	Zn	Cu			Fe			Mn		B			S
	mg dm ⁻³												
	3,90	1,30			93,10			27,58		0,36			9,42

Para isso, sementes de soja da variedade 75I74 RSF IPRO, foram microbiolizadas por 30 minutos com suspensões (OD₆₀₀=0,5) dos isolados bacterianos a seguir: VG09, VG27, VG42, VG46, VG47, VG68, VG82, VG89, VG9, além disso, sementes foram tratadas com o fungicida químico Certeza N (tiofanato-metílico e fluazinam). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com onze tratamentos, composto por nove isolados bacterianos, uma testemunha com adubação fosfatada e uma testemunha sem adubação fosfatada, quatro repetições por tratamento. As sementes de soja foram semeadas em vasos plásticos com capacidade de 5 L com solo do campo experimental. As análises foram realizadas no estágio de desenvolvimento R1, sendo avaliados os seguintes parâmetros de crescimento:

comprimento de raiz (cm), mensurado com auxílio de uma régua, altura de plantas (cm) com o auxílio de régua, calculado com base no nível do solo até o ápice foliar da última folha expandida (cm), peso fresco das raízes (g) e da parte aérea (g), mensuradas em balança analítica e peso seco das raízes e parte aérea (g) para isso, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para estufa à 65 °C por 72 horas, posteriormente as amostras foram também pesadas em balança analítica.

2.3 Uso de bactérias solubilizadoras de fosfato no tratamento de sementes de soja artificialmente infectadas com *S. sclerotiorum*

Para o teste foram utilizadas 44 caixas de gerbox desinfestadas com álcool 70% e forradas com papel mata-borrão e 2.200 sementes de soja da variedade NEO840 e os seguintes tratamentos, testemunha, os isolados bacterianos VG09, VG27, VG42, VG46, VG47, VG68, VG82, VG89, VG91 e fungicida Certeza N (tiofanato-metílico e fluazinam) na dose correspondente a 180 mL de p.c./ 100 kg de sementes, foram realizadas quatro repetições com 50 sementes em cada caixa. As sementes de soja foram previamente desinfestadas com hipoclorito de sódio 2% por 2 min e após secas em fluxo laminar. O fungo *S. sclerotiorum* foi crescido em placas de Petri com meio batata- dextrose ágar por cinco dias e após as sementes desinfestadas foram colocadas em contato com o fungo nas placas por 24 horas.

Os nove isolados bacterianos selecionados foram crescidos em meio líquido Triptona Soja Agar (TSA) por 72hrs, após as suspensões bacterianas foram ajustadas em espectrofotômetro para OD₆₀₀=0,5. Em seguida as sementes foram tratadas com cada suspensão bacteriana por 30 minutos e dispostas em caixas gerbox. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, totalizando 200 sementes por tratamento. As avaliações foram realizadas em microscópio estereoscópio, após sete dias, verificando a incidência de *S. sclerotiorum*, com o intuito de avaliar a capacidade dos isolados em inibir o desenvolvimento do fungo.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (ANOVA) através do programa estatístico SASM-AGRI, sendo a comparação entre as médias realizada pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$) (CANTERI et al., 2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Isolamento de bactérias provenientes do solo e quantificação dos halos de degradação em meio fosfato

De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que no isolamento das bactérias dos diferentes solos e localidades, foram encontrados 82 isolados bacterianos que apresentaram halos de degradação no meio de cultura a base de fosfato. Destas, foram avaliadas as características morfológicas. Na análise morfológica, foi verificado uma variedade de cores, de brilho, na forma e bordos das colônias (Tabela 1).

Tabela 1. Análise quantitativa do tamanho do halo de degradação de fosfato por isolados bacterianos, características morfológicas das colônias bacterianas e local de origem. Várzea Grande, MT, 2023.

Isolado	Halo (cm)	Cor	Brilho	Forma	Borda	Local de coleta
VG27	1,6 a	Bege	Brilhante	Circular	Irregular	Chapada dos Guimarães
VG42	1,08 b	Branca	Brilhante	Circular	Lisa	Contaminante do meio
VG68	1,03 b	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada dos Guimarães
VG82	0,98 b	Bege	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada dos Guimarães
VG91	0,95 b	Creme	Fosca	Irregular	Ondulada	Chapada dos Guimarães
VG46	0,9 b	Bege	Brilhante	Circular	Lisa	Serra de São Vicente
VG89	0,8 c	Creme	Fosca	Circular	Lisa	Chapada dos Guimarães
VG47	0,8 c	Incolor	Fosca	Irregular	Ondulada	Serra de São Vicente
VG09	0,8 c	Amarelo	Brilhante	Circular	Lisa	Solo Amazônico
VG88	0,78 c	Rosa	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada dos Guimarães
VG84	0,78 c	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Várzea Grande
VG80	0,78 c	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada dos Guimarães
VG77	0,78 c	Branca	Brilhante	Irregular	Lisa	Chapada dos Guimarães
VG32	0,78 c	Creme	Brilhante	Irregular	Ondulada	Chapada dos Guimarães

VG51	0,75 c	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada Guimarães	dos
VG79	0,73 c	Branca	Brilhante	Circular	Lisa	Várzea Grande	
VG81	0,7 c	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada Guimarães	dos
VG54	0,7 c	Branca	Brilhante	Circular	Lisa	Rosario Oeste	
VG83	0,68 c	Branca	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada Guimarães	dos
VG38	0,68 c	Bege	Brilhante	Irregular	Ondulada	Serra de São Vicente	
VG30	0,68 c	Bege	Fosca	Circular	Lisa	Chapada Guimarães	dos
VG24	0,68 c	Amarela	Brilhante	Circular	Lisa	Baixada Cuiabana	
VG86	0,65 c	Branca	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada Guimarães	dos
VG53	0,65 c	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada Guimarães	dos

Continuação

Isolado	Halo (cm)	Cor	Brilho	Forma	Borda	Local de coleta	
VG50	0,65 c	Creme	Brilhante	Irregular	Ondulada	Chapada Guimarães	dos
VG22	0,65 c	Creme	Fosca	Circular	Lisa	Baixada Cuiabana	
VG08	0,65 c	Amarelo	Fosca	Circular	Lisa	Solo Amazônico	
VG75	0,6 c	Branca	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada Guimarães	dos
VG74	0,6 c	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada Guimarães	dos
VG73	0,6 c	Bege	Brilhante	Circular	Lisa	Várzea Grande	
VG76	0,58 c	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada Guimarães	dos
VG33	0,58 c	Creme	Brilhante	Irregular	Ondulada	Chapada Guimarães	dos
VG29	0,58 c	Bege	Fosca	Irregular	Ondulada	Chapada Guimarães	dos

VG15	0,55	c	Amarela	Fosca	Irregular	Ondulada	Baixada Cuiabana
VG07	0,55	c	Bege	Brilhante	Circular	Lisa	Solo Amazônico
VG34	0,53	d	Bege	Fosca	Irregular	Ondulada	Chapada dos Guimarães
VG85	0,5	d	Bege	Brilhante	Circular	Lisa	Várzea Grande
VG71	0,5	d	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Várzea Grande
VG59	0,5	d	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada dos Guimarães
VG40	0,5	d	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Serra de São Vicente
VG36	0,5	d	Amarela	Fosca	Irregular	Ondulada	Serra de São Vicente
VG31	0,5	d	Creme	Fosca	Irregular	Ondulada	Chapada dos Guimarães
VG67	0,48	d	Amarela	Brilhante	Irregular	Ondulada	Chapada dos Guimarães
VG65	0,48	d	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada dos Guimarães
VG56	0,48	d	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Rosario Oeste
VG72	0,45	d	Branca	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada dos Guimarães
VG63	0,45	d	Branca	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada dos Guimarães
VG39	0,45	d	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Serra de São Vicente
VG19	0,45	d	Bege	Fosca	Circular	Lisa	Baixada cuiabana
VG69	0,43	d	Branca	Brilhante	Circular	Lisa	Várzea Grande
VG49	0,4	d	Creme	Brilhante	Circular	Ondulada	Chapada dos Guimarães
VG43	0,4	d	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Serra de São Vicente
VG25	0,4	d	Amarela	Brilhante	Circular	Lisa	Baixada Cuiabana
VG06	0,4	d	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Solo Amazônico
VG02	0,4	d	Amarelo	Fosca	Circular	Lisa	Solo Amazônico
VG66	0,38	d	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada dos Guimarães
VG44	0,38	d	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Serra de São Vicente

VG37	0,38 d	Creme	Fosca	Circular	Lisa	Serra de São Vicente
VG18	0,35 d	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Baixada Cuiabana
VG11	0,35 d	Amarelo	Fosca	Circular	Lisa	Solo Amazônico
VG01	0,35 d	Amarelo	Fosca	Circular	Lisa	Solo Amazônico
VG57	0,33 d	Creme	Brilhante	Irregular	Ondulada	Rosario Oeste

Continuação

Isolado	Halo (cm)	Cor	Brilho	Forma	Borda	Local de coleta
VG23	0,33 d	Bege	Brilhante	Circular	Lisa	Baixada Cuiabana
VG04	0,33 d	Creme	Fosca	Circular	Lisa	Solo Amazônico
VG70	0,3 e	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Várzea Grande
VG17	0,3 e	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Baixada Cuiabana
VG14	0,3 e	Amarela	Brilhante	Circular	Lisa	Baixada Cuiabana
VG64	0,28 e	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada dos Guimarães
VG15	0,25 e	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Baixada Cuiabana
VG35	0,23 e	Amarela	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada dos Guimarães
VG26	0,23 e	Bege	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada dos Guimarães
VG87	0,2 e	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada dos Guimarães
VG55	0,2 e	Creme	Fosca	Irregular	Ondulada	Chapada dos Guimarães
VG52	0,2 e	Bege	Brilhante	Irregular	Ondulada	Várzea Grande
VG48	0,2 e	Bege	Brilhante	Circular	Lisa	Serra de São Vicente
VG45	0,2 e	Branca	Brilhante	Circular	Lisa	Serra de São Vicente
VG21	0,2 e	Amarela	Brilhante	Circular	Lisa	Baixada Cuiabana
VG03	0,2 e	Amarelo	Fosca	Circular	Lisa	Solo Amazônico
VG62	0,13 e	Bege	Brilhante	Circular	Lisa	Chapada dos Guimarães
VG20	0,13 e	Amarela	Brilhante	Circular	Lisa	Baixada Cuiabana
VG58	0,08 e	Creme	Brilhante	Circular	Lisa	Serra de São Vicente
VG12	0,03 e	Amarelo	Brilhante	Circular	Lisa	Solo Amazônico

*Médias seguida da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade.

De acordo com os resultados obtidos para tamanho de halo de degradação de fosfato, verificou-se que os 82 isolados bacterianos tiveram diferencial para a quantificação da capacidade de solubilizar fosfatos. Observou-se que os tamanhos de halo variaram de 0,075 a 1,6 cm, sendo o isolado VG27 o que apresentou o maior halo, em seguida, isolados VG42, VG68, VG82, VG91, VG46, formaram o grupo com o segunda maior média de tamanho de halo, um outro grupo composto por 29 isolados obtiveram médias de tamanho de halo entre 0,55 a 0,8 cm, outro grupo também composto por 29 isolados apresentaram medias entre 0,33 e 0,53 cm e por fim o último grupo composto por 18 isolados apresentou médias entre 0,03 a 0,3 cm.

3.2 Avaliação de Uso de bactérias solubilizadoras de fosfato na promoção de crescimento de plantas de soja em casa de vegetação

De acordo com os resultados para avaliação da promoção de crescimento de plantas de soja, verificou-se que para todos os parâmetros analisados houve diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2. Avaliação da promoção de crescimento de plantas de soja em casa de vegetação por parâmetros de crescimento como tamanho da raiz (TMR) (cm), Altura (ALT) (cm), Peso fresco da raiz (PFR) (g), Peso seco raiz (PSR) (g), Peso fresco parte aérea (PFP) (g) e Peso seco da parte aérea (PSPA) (g). Várzea Grande, MT, 2023.

Tratamento	TMR (cm)	ALT (cm)	PFR (g)	PSR (g)	PFP (g)	PSPA (g)
Testemunha	38,15 b	27,00 d	5,99 b	1,94 b	9,48 b	2,11 b
Adubação P	46,00 a	33,00 c	11,88 b	2,76 b	22,62 a	3,26 a
VG 09	49,18 a	36,25 c	17,38 a	3,10 b	26,31 a	3,60 a
VG 27	51,75 a	36,00 c	16,51 a	3,89 a	18,69 b	3,23 a
VG 42	33,88 b	54,63 a	17,14 a	1,68 b	13,27 b	2,59 b
VG 46	33,75 b	46,17 b	13,31 b	3,88 a	16,64 b	3,15 a
VG 47	37,25 b	34,75 c	11,89 b	2,62 b	21,55 a	3,50 a
VG 68	42,13 a	32,88 c	12,39 b	2,90 b	17,28 b	2,18 b
VG 82	29,00 b	27,88 d	13,79 b	3,77 a	16,80 b	2,71 b
VG 89	42,63 a	32,38 c	13,88 b	2,67 b	16,47 b	3,79 a
VG 91	47,50 a	38,00 c	23,16 a	4,17 a	33,61 a	3,34 a
C.V.	12,88	9,83	32,93	30,21	34,55	20,04

*Médias seguida da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Ao avaliar o tamanho das raízes, verificou-se que o grupo com maior tamanho de raiz foi composto pelos tratamentos VG27, VG09, VG91, adubação fosfatada, VG89 e VG68, respectivamente, sendo que as médias variaram entre 42,13 cm e 51,75 cm (46,53 cm), o grupo composto pelos tratamentos com tamanho de raiz menor, foi composto pela testemunha e o isolado VG82, com médias de 38,15 cm e 29 cm, respectivamente. O grupo com maior comprimento, obteve um incremento de 38,56% em relação a testemunha.

Em estudo desenvolvido com bactérias *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense*, mostram que a promoção de crescimento se dá pelo fato de ocorrer estímulos para produção de hormônios vegetais, quando ocorre interação entre bactérias e status hormonal, ocorre alterações no sistema radicular tais como aumento seja no volume ou no tamanho da raiz (CASSÁN et al., 2009). Possivelmente os isolados deste estudo que proporcionaram maiores tamanhos de raízes produzem esses hormônios, no entanto, novos testes devem ser realizados para confirmação desta informação.

Subramanian e colaboradores (2014) observaram aumento significativo de ácido indol acético (auxina relacionada com a regulação de crescimento vegetal) em plantas de soja inoculadas com *B. megaterium*. É comprovado que certas espécies do gênero *Bacillus* são capazes de sintetizar hormônios vegetais responsáveis pela multiplicação celular nas plantas, a exemplo *B. cereus*, que produz ácido indolilacético e giberelina e *B. circulans* que produz auxina e citocinina. Além disso, foi observada a produção de celulase, sideróforos e solubilização de fosfato, mecanismos que podem explicar a contribuição das rizobactérias como promotoras de crescimento, como observado no presente estudo (BATISTA, 2017).

Para o parâmetro altura de planta, observou-se que o tratamento bacteriano VG42 apresentou a maior média com 54,63 cm, seguido do tratamento com o isolado bacteriano VG46 com altura de 46,17 cm. O terceiro grupo, foi composto pelos tratamentos VG91, VG09, VG27, VG4, adubação fosfatada, VG68 e VG89 (34,75 cm) (Tabela 2). Os tratamentos VG82 e a testemunha apresentaram as menores médias de altura de plantas (27,44 cm). Importante salientar que os tratamentos bacterianos VG42 e VG46 obtiveram médias superiores ao tratamento com adubação fosfatada, além disso, outros tratamentos bacterianos apresentaram médias similares a este tratamento, sendo apenas a testemunha e o tratamento bacteriano VG82 com médias inferiores. Efeitos positivos de bactérias do gênero *Bacillus* foram comprovados in

vitro, com a produção de Ácido Indol Acético (AIA) e a campo na cultura da soja, onde sua aplicação aumentou significativamente a altura das plantas observadas (BATISTA, 2017).

Para o peso fresco da raiz (PFR), observou-se que as maiores médias foram alcançadas pelos tratamentos bacterianos VG91, VG09, VG42 e VG27, com média geral de 18,55 g. Este grupo teve um incremento de 210% em relação a testemunha sem adubação fosfatada. Para o peso seco das raízes (PSR), obtido após a secagem em estufa e pesagem, observou-se que os tratamentos bacterianos VG91, VG27, VG46 e VG82 obtiveram os maiores pesos, com média geral de 3,93 g, enquanto o outro grupo obteve média geral de 2,52 g. O incremento proporcionado pelo grupo de maior média em relação a testemunha foi de 103%.

Em relação ao peso fresco da parte aérea (PFPA), verificou-se que os tratamentos VG91, VG09, adubação fosfatada e VG47 apresentaram as maiores médias de peso, com 26,02g no geral, em relação a testemunha esse grupo teve um incremento médio de 174%. Já para o peso seco da parte aérea (PSPA), os tratamentos VG89, VG09, VG47, VG91, adubação com NPK, VG27 e VG46 apresentaram as maiores médias de peso seco, sendo que este grupo obteve um incremento médio de 61,6% em relação a testemunha sem adubação fosfatada.

Mazzuchelli e colaboradores (2015), avaliando a cultura do milho, verificaram que tratamento com *B. subtilis* aplicado no sulco de semeadura, apresentou um maior desenvolvimento das plantas em relação aos outros tratamentos. Acredita-se que esta diferença de crescimento esteja associada a colonização das raízes e a produção de antibióticos, enzimas e fito hormônios proporcionadas por essa bactéria

De modo geral, observou-se que alguns tratamentos bacterianos obtiveram médias maiores que a testemunha sem adubação fosfatada e em alguns casos maiores ou iguais a tratamento que utilizou adubação fosfatada. Interessante observar que dos seis parâmetros avaliados, em cinco o isolado bacteriano VG91 se posicionou entre os tratamentos com maiores médias, apenas no parâmetro altura de plantas ficou em um grupo intermediário, no entanto, com média maior que a da testemunha. Os isolados VG09 e VG27 obtiveram médias em grupos superiores para quatro dos seis parâmetros avaliados neste estudo.

3.3 Avaliação do uso de isolados bacterianos solubilizadores de fosfatos no tratamento de sementes de soja artificialmente infestadas com *S. sclerotiorum*

Na avaliação das sementes artificialmente infestadas com o fungo *S. sclerotiorum*, verificou-se que o tratamento testemunha foi o que apresentou a maior incidência, com 40,0% das sementes com o fungo. Os tratamentos com as bactérias VG89, VG82, VG68 e VG9, foi o

grupo intermediário com incidência média de 12,63% de sementes, os demais tratamentos, VG42, VG27, VG46, VG47, VG91 e o tratamento com o fungicida, apresentaram incidência menor que 6,0% das sementes infestadas (média de 4%). Em comparação com a testemunha, este grupo teve um controle médio de 96% do fungo nas sementes. Importante salientar que estes tratamentos bacterianos se compararam ao tratamento químico utilizado (Tabela 3).

Tabela 3. Incidência de com *S. sclerotiorum* em sementes de soja infestadas artificialmente e tratadas com isolados bacterianos, Várzea Grande, MT, 2023.

Tratamento	Incidência (%)
Testemunha	40,0 a
VG 89	16,00 b
VG 82	12,50 b
VG 68	12,00 b
VG 09	10,00 b
VG 42	6,00 c
VG 27	6,00 c
VG 46	4,00 c
VG 47	3,00 c
VG 91	2,50 c
Fungicida	2,50 c
C.V.	59,76

*Médias seguida da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Skott Knott, a 5% de probabilidade.

Vários microrganismos já foram relatados como agentes eficazes no biocontrole de doenças causadas por *S. sclerotiorum*, por exemplo, os fungos *Coniothyrium minitans* (JAJOR et al., 2017) e *Trichoderma harzianum* (ZHANG et al., 2016); e bactérias, como *B. amyloliquefaciens* (ALVAREZ et al., 2011), *B. subtilis* (SUM et al., 2017) e *Pseudomonas chlororaphis* (Fernando et al., 2007). De acordo com Abreu e colaboradores (2022) bactérias do gênero *Bacillus* dispõem de uma gama de atividades antagonistas, como a produção de vários metabólitos como enzimas líticas que são responsáveis de degradar parede celular de vários fungos fitopatogênicos, podem também produzir antibióticos, sideróforos, lipopeptídeos e fitohormônios.

Alguns compostos antimicrobianos produzidos por *Bacillus* sp. foram identificados e mostraram habilidade para suprimir o crescimento de *S. sclerotiorum*, como a produção de proteases e compostos termoestáveis (PRINCIPE et al., 2007); lipopeptídeos cíclicos como

surfactina, fengicinas e iturinas (ALVAREZ et al. 2011); bacilomicina, bacilaeno, platazolicina e basilisina têm sido reportados como compostos que exibem atividade antibiótica (GU et al., 2017). Esses compostos apresentam diferentes sítios de ação. A iturina, aumenta a permeabilidade da membrana celular de fitopatógenos por aumentar a mobilização de íons K⁺ (YU et al., 2002). Alguns compostos antimicrobianos inibem a germinação de esporos, reduzem o desenvolvimento e provocam alterações estruturais (ROMERO et al., 2007). Os resultados obtidos neste estudo sugerem que os nove isolados bacterianos testados são capazes de produzir e secretar substâncias com atividade antimicrobiana que prejudicam o desenvolvimento de *S. sclerotiorum*. Portanto, o estudo de caracterização química dos metabólitos produzidos por esses isolados torna-se essencial.

Em trabalho desenvolvido por Giorgio e colaboradores. (2015), mostraram que várias isolados bacterianos produziram compostos orgânicos voláteis (COVs), esses compostos inibiram o aumento micelial da *S. sclerotiorum*, prejudicaram a germinação dos escleródios uma das principais forma de sobrevivência do fungo.

Ferreira (2023) ao estudar as bactérias do gênero *Bacillus* em condições *in vitro*, constatou uma grande redução no desenvolvimento do fungo *S. sclerotiorum* na semente de soja, onde ocorreu o controle de fungos filamentosos em cerca de 100% (SOUZA et al., 2015). Esse controle é devido aos diferentes mecanismos de ação proporcionados, sendo eles, a síntese de composto voláteis, antibióticos, que tem capacidade de atuar sobre o patógeno sendo na forma isolada ou agrupadas e metabólitos secundários (PINHO et al., 2019).

A utilização das bactérias deste estudo representa uma importante alternativa sustentável para mobilizar o fósforo em solos pobres, como os solos brasileiros que apresentam pequenas quantidades de fósforo disponíveis para as culturas. Além disso, algumas dessas bactérias apresentaram controle do fungo *S. sclerotiorum* em sementes de soja similar ao proporcionado pelo fungicida químico utilizado, demonstrando que pode ser utilizado pela ampliação do seu uso tanto por promover crescimento das plantas, quanto por controlar o fungo.

O fato de algumas bactérias terem proporcionado incrementos em parâmetros de crescimento de plantas de soja maiores ou iguais ao tratamento com adubação fosfatada, é um indício do seu potencial promotor de crescimento de plantas nesta cultura e biocontrolador de doenças. Novas pesquisas devem ser realizadas para melhor elucidação destes potenciais, proporcionando novas estratégias de manejo ao agricultor.

4. CONCLUSÃO

Os isolados bacterianos VG91, VG09 e VG27 se destacaram por proporcionar incrementos na maioria dos parâmetros de promoção de crescimento de plantas de soja avaliados.

O tratamento biológico de sementes com as bactérias VG42, VG 27, VG46, VG47 e VG91 proporcionaram o controle satisfatório do *S. sclerotiorum* em sementes de soja.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C.S.; FIGUEIREDO, J.E.F.; OLIVEIRA, C.A.; DOS SANTOS, V.L.; GOMES E.A.; RIBEIRO, V.P.; BARROS, B.A., LANA, U.G.P.; MARRIEL, I.E. Maize endophytic bacteria as mineral phosphate solubilizers. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, 2017.

ABREU, L.P.S. et al. Alternativa sustentável de uso da *Bacillus amyloliquefaciens* no biocontrole de fungos fitopatogênicos: uma revisão. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 16, n. 1, 2022.

ALVAREZ, F.; CASTRO, M.; PRÍNCIPE, A.; BORIOLI, G.; FISCHER, S.; MORI, G.; JOFRE, E. The plant-associated *Bacillus amyloliquefaciens* strains MEP218 and ARP23 capable of producing the cyclic lipopeptides iturin or surfactin and fengycin are effective in biocontrol of sclerotinia stem rot disease. **Journal of Applied Microbiology**, v. 112, p. 159–174, 2011.

BATISTA, B.D. **Promoção de crescimento vegetal por *Bacillus* sp. RZ2MS9: dos genes ao campo**. 2017. 107f. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo, Piracicaba 2017.

CANTERI, M.G.; ALTHAUS, R.A.; IRGENS FILHO, J.S.; GIGLIOTI, E.A.; GODOY, C.V. SASM - Agri: Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott - Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v. 1, n. 2, p.18-24. 2001.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2023. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, Safra 2023/24 - N.09. Disponível em: Conab - Boletim da Safra de Grãos Acesso em: 18 de ago. 2023.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Visão 2030 o futuro da agricultura brasileira 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1090820/visao-2030-o-futuro-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 25 jul. 2023.

FERNANDO, W.G.D.; NAKKEERAN, S.; ZHANG, Y.; SAVCHUK, S. Biological control of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary by *Pseudomonas* and *Bacillus* species on canola petals. **Crop Protection**, v. 26, p. 100-107, 2007.

FERREIRA, A.C.A. et al. Atualizações nas Recomendações e sucesso do manejo de mofo branco em soja Na região de rio verde–GO. 2023.

GIORGIO, A.; DE STRADIS, A.; LO CANTORE, P.; IACOBELLIS, N. S. Biocide effects of volatile organic compounds produced by potential biocontrol rhizobacteria on *Sclerotinia sclerotiorum*. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, n. 1056, p. 1-13, 2015.

GU, Q.; YANG, Y.; YUAN, Q.; SHI, G.; WU, L.; LOU, Z.; HUO, R.; WU, H.; BORRIS, R.; GAO, X. Bacillomycin D produced by *Bacillus amyloliquefaciens* is involved in the antagonistic interaction with the plant pathogenic fungus *Fusarium graminearum*. **Applied Environmental Microbiology**, v. 83, p. 1075-1017, 2017.

JAJOR, E.; KORBAS, M.; HOROSZKIEWICZ-JANKA, J.; DANIELEWICZ, J.; BARANIAK, B. The influence of selected biological products on limitation of the development of *Sclerotinia sclerotiorum* sclerotia. **Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering**, v. 63, n. 2, p. 92-96, 2017.

MARSCHNER, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3ed. Academic Press, 2012. 649 p.

MAZZUCHELLI, R.C.L.; SOSSAI, B.F.; ARAÚJO, F.F. Inoculação de *Bacillus subtilis* e *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. In: _____ Colloquium Agrariae. 2015. p. 40-47.

PAVINATO, P.S. et al. Effects of cover crops and phosphorus sources on maize yield, phosphorus uptake, and phosphorus use efficiency. **Agronomy Journal**, v. 109, p. 1039-1047, 2017.

PINHO, R.S.C.; POZZEBON, B.C.; CALVANO, C.C.A.; VEY, R.T.; HAJAR, A.S.; RODRIGUES, B.M.; RODRIGUES, K.R R. Bioprospecção de rizobactérias para o controle *in vitro* de *Pyricularia grisea*, tratamento de sementes e promoção de crescimento de plântulas de arroz. **Biotemas**, v. 32, n. 3, p. 23-34, 2019.

ROMERO, D.; DE VICENTE, A.; RAKOTOALY, R.H.; DUFOUR, S.E.; VEENING, J. W.; ARREBOLA, E.; CAZORLA, F.M.; KUIPERS, O.P.; PAQUOT, M.; PÉREZGARCIA, A. The iturin and fengycin families of lipopeptides are key factors in antagonism of *Bacillus subtilis* toward *Podosphaera fusca*. **Molecular Plant-Microbe Interaction**, v. 20, p. 430-440, 2007.

SILVA M.M.J., ISIDIO. L.E., SILVA, D.L.E., CARVALHO, S.A., SOBRAL K.J., bactérias solubilizadoras de fosfato inorgânico em solo preservado e antropizado da reserva biológica de pedra talhada – AL. In: IV CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIENCIAS AGRARIAS-COINTER- PDVAgro-2019. Disponível em: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IVCOINTERPDVAgro.2019.0171>. Acesso em: 18 de nov. 2023.

SILVA, A.C.M.D. Biofertilizantes: estudo de opinião, tendência das Pesquisas e legislação brasileira. 2021. 79f p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) — Universidade De Brasília, Brasília, 2021.

SUBRAMANIAN, P.; KIM, K.; KRISHNAMOORTHY, R.; & SUNDARAM, S. T. Endophytic bacteria improve nodule function and plant nitrogen in soybean on co-inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* MN110. **Plant Growth Regulation**, v. 76, n. 3, p. 327-332, 2014.

SUN, G.; YAO, T.; FENG, C.; CHEN, L.; LI, J.; WANG, L. Identification and biocontrol potential of antagonistic bacteria strains against *Sclerotinia sclerotiorum* and their 29 growth-promoting effects on *Brassica napus*. **Biological Control**, v. 104, p. 35-43, 2017.

YU, X.; AI, C.; XIN, L.; ZHOU, G. The siderophore-producing bacterium, *Bacillus subtilis* CAS15, has a biocontrol effect on *Fusarium wilt* and promotes the growth of pepper. **European Journal of Soil Biology**, v. 47, n. 2, p. 138-145, 2011.

ZHANG, F.; GE, H.; ZHANG, F.; GUO, N.; WANG, Y.; CHEN, L.; JI, X.; LI, C. Biocontrol potential of *Trichoderma harzianum* isolate T-aloe against *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 100, p. 64-74, 2016.