Uso de *Bacillus velezensis* no Controle de Doenças de Solo na Soja

Introdução

A soja (*Glycine max*) é uma cultura de grande importância econômica, porém suscetível a diversas doenças fúngicas de solo que comprometem a produtividade. Patógenos como *Fusarium spp.* (podridões radiculares e vasculares), *Sclerotinia sclerotiorum* (mofo-branco ou podridão-de-escleródio) e *Macrophomina phaseolina* (podridão-negra da raiz) são responsáveis por murchas, podridões e morte de plantas, especialmente sob condições ambientais favoráveis a esses fungos. Algumas doenças foliares de etiologia fúngica também causam perdas significativas, como a mancha angular causada por *Pseudocercospora grisea* (conhecida em outras leguminosas, ex. feijoeiro), que pode afetar a cultura em ambientes tropicais. O controle químico dessas doenças muitas vezes é limitado – fungicidas nem sempre são efetivos contra patógenos de solo estabelecidos ou apresentam eficácia inconsistente em campo – além de preocupações com resistência e impactos ambientais.

Diante disso, cresce o interesse por métodos de controle biológico que integrem o manejo de doenças de solo na soja de forma sustentável. Bactérias do gênero *Bacillus* destacam-se como agentes de biocontrole por sua eficiência de amplo espectro, facilidade de cultivo e persistência no solo (formação de endósporos). Em especial, *Bacillus velezensis* tem ganhado notoriedade como rizobactéria promotora de crescimento e antagonista de fitopatógenos. Cepas de *B. velezensis* (anteriormente classificadas dentro de *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum*) foram isoladas de solos agrícolas e apresentam ação contra diversos fungos e oomicetos causadores de doenças radiculares. Este relatório reúne achados científicos nacionais e internacionais sobre o uso de *B. velezensis* no controle de patógenos de solo da soja, abordando mecanismos de ação, eficácia comprovada em ensaios laboratoriais e de campo, formulações comerciais disponíveis e seu potencial dentro do manejo integrado de doenças.

Mecanismos de Ação do *Bacillus velezensis*

O *B. velezensis* atua por múltiplos mecanismos no combate a patógenos de solo. Uma de suas principais estratégias é a produção de metabólitos antimicrobianos potentes. Análises genômicas revelam que cepas de *B. velezensis* possuem conjuntos de genes para sintetizar **lipopeptídeos antibióticos** (por via NRPS, síntese não ribossomal) e **policetídeos** (via PKS), entre outros compostos bioativos. Por exemplo, a cepa *B. velezensis* 20507 codifica pelo menos 12 metabólitos secundários, incluindo difficidina, macrolactina H, fengicina, surfactina, bacilina, bacillomicina, bacilaene, entre outros. Desses, destacam-se os **lipopeptídeos**

iturina e fengicina, conhecidos por forte atividade antifúngica: essas moléculas anfífilas se inserem nas membranas dos fungos, alterando a permeabilidade e causando extravasamento de conteúdos celulares, o que leva à morte do patógeno. Ensaio comparativos demonstram a alta potência desses compostos: a fengicina purificada de *B. velezensis* foi capaz de suprimir o crescimento micelial de *Fusarium solani* com $IC_{50} \sim 5,58 \mu\text{g/mL}$, performance muito superior à de fungicidas químicos como tiram ($IC_{50} \sim 41,2 \mu\text{g/mL}$) ou himexazol ($IC_{50} \sim 343,3 \mu\text{g/mL}$). De modo similar, *B. velezensis* Bs006 produziu fengicina suficiente para inibir drasticamente a formação de hifas de *F. oxysporum* em concentrações micromolares. Já a **iturina (ex.: bacillomicina D)** também contribui para lisar hifas e esporos de fungos, levando a deformações celulares e interrupção do crescimento do patógeno.

Além dos lipopeptídeos, *B. velezensis* produz **peptídeos antibióticos** como a **bacilisina**, eficaz contra fungos e oomicetos. A cepa modelo *B. velezensis* FZB42 (anteriormente *B. amyloliquefaciens* FZB42) sintetiza bacilisina, sendo demonstrado que esse composto inibe especificamente *Phytophthora sojae*, agente do tombamento e podridão radicular da soja. De fato, a produção de bacilisina por FZB42 foi correlacionada à supressão da doença de podridão radicular da soja causada por *P. sojae*. Outras substâncias antimicrobianas oriundas de *B. velezensis* incluem policetídeos (ex.: difficidina, macrolactinas) com atividade contra fitobactérias e fungos, além de sideróforos que competem por ferro e enzimas líticas (quitinases, glucanases) que degradam paredes celulares de patógenos. Também vale notar que *B. velezensis* pode liberar **compostos orgânicos voláteis (VOCs)** com ação antifúngica à distância. Certas cepas produzem coquetéis de VOCs (alcóois, cetonas, etc.) capazes de inibir o crescimento de fungos fitopatogênicos no ar – por exemplo, cepas de *B. velezensis* já demonstraram inibir *Fusarium spp.*, *Alternaria* e *Botrytis* via emissões voláteis. Esses VOCs podem atuar como fumigantes naturais no solo, reduzindo inóculos patogênicos em torno das raízes.

Outro mecanismo crucial é a **indução de resistência sistêmica** nas plantas hospedeiras. *B. velezensis* é considerado um PGPR (rizobactéria promotora de crescimento) capaz de ativar defesas na planta contra uma ampla gama de patógenos. Em soja, o tratamento com *B. velezensis* pode elevar significativamente a atividade de enzimas de defesa antioxidativas e de síntese de fitoalexinas. Por exemplo, raízes de soja infectadas por *Fusarium* apresentaram aumento nas atividades de catalase, fenilalanina amônia-liase (PAL), superóxido dismutase e peroxidase após tratamento com *B. velezensis* BVE7, indicando a ativação de mecanismos de defesa e mitigando o estresse oxidativo causado pelo patógeno. Esse fenômeno de resistência induzida ajuda a planta a conter a infecção inicial e reduzir a severidade da doença. Há relatos também de *Bacillus* estimulando a expressão de genes de defesa em soja – por exemplo, uma cepa de *B. velezensis* inibiu a expressão de genes ribossomais de *S. sclerotiorum* durante infecção em plantas, possivelmente devido a sinais de resistência induzida no hospedeiro.

Por fim, *B. velezensis* apresenta excelente capacidade de colonização da rizosfera e competição ecológica. Essas bactérias formam biofilmes protetivos na superfície radicular e competem por nutrientes e espaço, excluindo patógenos do nicho da raiz. Genes relacionados a motilidade, formação de biofilme e quorum-sensing (ex.: *luxS*, *degU*) foram identificados no genoma de *B. velezensis* CMRP4490, conferindo-lhe alta aptidão para persistir no solo e na rizosfera da soja[1]. Essa colonização efetiva impede a instalação de fungos nas raízes e favorece o crescimento da planta (por produção de fitohormônios, solubilização de fosfatos, etc.). Em suma, a ação biocontroladora de *B. velezensis* resulta da combinação de **antibiose direta** (metabólitos antifúngicos), **competição** e **estimulação das defesas da planta**, características que o tornam um agente promissor no manejo de doenças de solo.

Eficácia no Controle de Patógenos de Solo da Soja

Estudos científicos têm demonstrado o potencial de *B. velezensis* em suprimir importantes patógenos de solo da soja, tanto em ensaios in vitro quanto em condições controladas (casa de vegetação) e, em menor escala, em ensaios de campo. A seguir, são apresentados resultados específicos para cada patógeno ou doença relevante.

Controle de *Fusarium* spp. (Podridões radiculares e murchas)

Várias espécies de *Fusarium* atacam a soja, incluindo *F. oxysporum* (podridão radicular e vascular), *F. solani* f. sp. *glycines* (agente da síndrome da morte súbita, SDS) e outros *Fusarium* do complexo que causam podridões de raiz e colo. O uso de *B. velezensis* contra *Fusarium* tem se mostrado promissor. Em triagens in vitro, filtrados de cultura de *B. velezensis* são capazes de inibir fortemente o crescimento e reprodução de *Fusarium*. Por exemplo, a cepa BVE7 (isolada de solos de soja no nordeste da China) apresentou **atividade fungistática marcante contra *F. oxysporum***: um filtrado a 10% reduziu em ~61% a germinação de conídios, suprimiu em ~73% a formação de novos conídios e inibiu em **85%** o crescimento micelial deste patógeno em placas de cultivo. Observou-se ainda deformação e colapso das hifas de *Fusarium* expostas aos metabólitos de BVE7, sinal claro de ação antagônica. Esses resultados in vitro se traduziram em eficácia in vivo: em experimento em vasos com solo infestado por *F. oxysporum*, a aplicação de uma suspensão de *B. velezensis* BVE7 nas sementes/profundidade do solo conseguiu controlar a podridão radicular da soja com até **75,1% de eficiência**, comparado ao controle sem tratamento. Plantas tratadas com BVE7 apresentaram sistema radicular mais saudável e menores lesões, acompanhadas dos aumentos enzimáticos de defesa mencionados, refletindo maior resistência às infecções.

Outras cepas têm apresentado resultados semelhantes. *B. velezensis* CMRP 4490, isolado no Brasil (Paraná), inibiu cerca de **60%** do crescimento micelial de *Fusarium* (espécie não especificada, possivelmente *F. solani*) em ensaios de antagonismo direto em placa[2]. Essa mesma cepa, quando utilizada no tratamento de sementes

de soja, proporcionou benefícios adicionais como a melhora na germinação e vigor das plântulas. Em teste de germinação, sementes de soja tratadas com *B. velezensis* CMRP 4490 tiveram uma taxa de germinação de ~64%, comparada a apenas 44% no controle não tratado. Esse efeito pode ser atribuído tanto ao controle de patógenos de solo que causam tombamento de plântulas quanto à promoção de crescimento pela bactéria, resultando em plântulas mais numerosas e vigorosas.

Importante notar que a atividade de *B. velezensis* contra *Fusarium* abrange diferentes espécies do gênero. Metabólitos como fengicinas e iturinas produzidos por diversas cepas mostraram-se eficazes contra *F. solani* e *F. oxysporum*, indicando um espectro amplo. Em banana e tomate, por exemplo, cepas de *B. velezensis* que sintetizam surfactina, iturina A e fengicina conseguiram reduzir marchas de *F. oxysporum* via antibiose e indução de resistência. Embora nem todos esses estudos sejam em soja, eles reforçam o potencial do *B. velezensis* para manejar *Fusarium* no solo de forma geral. Portanto, *B. velezensis* desponta como uma alternativa viável para reduzir as podridões radiculares por *Fusarium* na cultura da soja, seja via tratamento de sementes, aplicação no sulco de plantio ou em cobertura, contribuindo para menor dependência de fungicidas químicos nesse contexto.

Controle de *Sclerotinia sclerotiorum* (Mofo-branco)

O mofo-branco, causado por *S. sclerotiorum*, é uma das doenças mais devastadoras em soja nas regiões de clima temperado e subtropical, capaz de acarretar perdas severas de rendimento (até 70% sob alta pressão). Esse fungo forma escleródios de resistência no solo, o que dificulta seu controle. Diversos estudos avaliaram o uso de *Bacillus* spp., incluindo *B. velezensis*, contra *Sclerotinia*, e os resultados têm sido animadores. Os **mecanismos de controle biológico contra *S. sclerotiorum*** envolvem principalmente a inibição da germinação dos escleródios e do crescimento micelial do patógeno. *Bacillus* spp. podem colonizar a superfície de escleródios, impedindo que germinem (germinação carpogênica) para produzir apotécios e ascósporos infectivos. Estudos in vitro demonstram que filtrados de *B. velezensis* e cepas semelhantes reduzem drasticamente a germinação de apotécios, além de causar lise de hifas e até degradação parcial de escleródios (através de exsudação bacteriana nos mesmos).

Em condições controladas, cepas específicas de *B. velezensis* têm mostrado forte efeito antagonista contra *Sclerotinia*. *B. velezensis* CMRP 4490 (Brasil) inibiu cerca de **60%** do crescimento de *S. sclerotiorum* em ensaio in vitro de confronto direto, desempenho similar ao observado contra outros patógenos[2]. Já a cepa chinesa *B. velezensis* 20507 destacou-se por sua agressividade contra o mofo-branco: em experimentos de casa de vegetação, a introdução dessa bactéria no solo resultou em clara supressão da doença e redução do número de lesões e escleródios formados nas plantas de soja. Notavelmente, a presença de *B. velezensis* 20507 durante a infecção inibiu a expressão de genes essenciais do fungo (subunidades ribossômicas), sugerindo que metabólitos bacterianos estavam afetando ativamente

o metabolismo de *S. sclerotiorum* dentro do tecido vegetal. Essa cepa produz uma variedade de antibióticos, e análises indicaram que o principal composto envolvido na inibição de *Sclerotinia* é a **fengicina** (um lipopeptídeo). De fato, extratos extracelulares de 20507 ricos em fengicina causaram **danos severos às membranas de hifas de *S. sclerotiorum***, levando à morte celular do patógeno. A atividade antifúngica manteve-se mesmo após aquecimento, indicando estabilidade térmica – uma vantagem para formulações de bioprodutos.

Relatos de campo também sugerem eficácia do *Bacillus* contra o mofo-branco. Embora os resultados possam variar conforme as condições climáticas e de inóculo, produtos biológicos à base de *B. amyloliquefaciens/velezensis* já são recomendados como parte do manejo em alguns locais. Nos Estados Unidos, por exemplo, dois biofungicidas – um à base do fungo *Coniothyrium minitans* e outro à base de *Bacillus amyloliquefaciens* (equivalente taxonômico do *B. velezensis*) – estão **registrados para uso em soja visando limitar ou suprimir o mofo-branco**. Ensaio de campo avaliando tais produtos demonstraram redução da incidência de mofo-branco quando aplicados no solo ou em aplicações foliares dirigidas ao dossel (onde os apotécios liberam ascósporos). No Brasil, o manejo integrado do mofo-branco recomenda expressamente a **integração do controle biológico** com medidas culturais e químicas nas áreas infestadas. A adoção conjunta de rotações de cultura, controle químico estratégico e aplicações de agentes como *Bacillus* e *Trichoderma* tem se mostrado fundamental para reduzir o banco de escleródios no solo e proteger a soja em fases suscetíveis.

Em suma, *B. velezensis* tem demonstrado **ação multilateral contra *Sclerotinia*** – inibe a germinação de escleródios, suprime o crescimento do micélio e possivelmente induz resistência na planta – configurando-se como uma ferramenta valiosa no manejo do mofo-branco. Embora raramente substitua completamente os fungicidas em condições de alta pressão da doença, seu uso combinado pode reduzir a dependência de químicos e prolongar sua vida útil (diminuindo risco de resistência), ao mesmo tempo em que oferece controle adicional nos vazios deixados pelos fungicidas (por exemplo, agindo em escleródios no solo onde fungicidas de contato não alcançam).

Controle de *Macrophomina phaseolina* (Podridão-negra da raiz)

A podridão-negra da raiz, causada por *M. phaseolina*, é uma doença favorecida por estresse hídrico e temperaturas elevadas, comum em regiões mais quentes de cultivo de soja. O fungo provoca lesões escuras nas raízes e colo, levando à murcha e morte das plantas em estádios avançados, e produz microescleródios no solo que dificultam seu controle. Pesquisas indicam que *Bacillus* spp. têm potencial no biocontrole desse patógeno. Em estudo brasileiro, isolados de *Bacillus* (incluindo *B. velezensis* e espécies relacionadas) mostraram antagonismo significativo a *M. phaseolina* em teste in vitro, inibindo em aproximadamente **60%** o crescimento do

fungo[2]. Esse nível de inibição foi semelhante ao observado contra *Sclerotinia*, sugerindo um amplo espectro de ação da cepa *B. velezensis* CMRP 4490[2].

No âmbito de produtos comerciais, *M. phaseolina* é alvo de diversos biofungicidas já registrados. No Brasil, **três produtos biológicos** estavam registrados no Ministério da Agricultura (MAPA) especificamente para controle da podridão-negra da raiz. Dentre os microrganismos avaliados para esse fim, destacam-se *Trichoderma harzianum* e leveduras (ex.: *Brettanomyces*), mas também **bactérias do gênero *Bacillus*** – incluindo *B. amyloliquefaciens* (sinônimo de algumas cepas de *B. velezensis*), *B. subtilis* e *Pseudomonas fluorescens* – que em estudos laboratoriais apresentaram efeito antagonista sobre *M. phaseolina*. Esses microrganismos reduzem a severidade da doença, possivelmente via produção de enzimas que degradam a parede fúngica e pela competição por sítios de infecção nas raízes. Embora dados de eficácia em campo contra *Macrophomina* ainda sejam relativamente escassos na literatura comparados a *Fusarium* ou *Sclerotinia*, os resultados disponíveis apontam que a aplicação de *B. velezensis* (por exemplo, no tratamento de sementes) pode reduzir a infecção inicial por *M. phaseolina*. Consequentemente, plantas tratadas apresentam menor escurecimento radicular e melhor vigor em condições de solo infestado.

É relevante mencionar que, como *M. phaseolina* frequentemente interage com estresses abióticos (seca) e outros fatores (ex.: nematoides que predispõem a infecção), o *Bacillus* pode atuar indiretamente beneficiando a planta – promovendo maior crescimento radicular e tolerância ao estresse – e assim diminuindo o impacto da podridão-negra. Em suma, *B. velezensis* e outros *Bacillus* constituem uma ferramenta complementar importante no manejo integrado da podridão-negra, e esforços de pesquisa continuam em andamento para aprimorar formulações que visem especificamente reduzir os microescleródios de *M. phaseolina* no solo e proteger as raízes da soja.

Controle de *Pseudocercospora grisea* (Mancha angular) e outros patógenos foliares

A mancha angular da soja, atribuída a *Pseudocercospora grisea*, não é tradicionalmente uma das principais doenças foliares da cultura (ao contrário da mancha olho-de-rã causada por *Cercospora sojina* ou da mancha púrpura causada por *Cercospora kikuchii*). Entretanto, espécies de *Pseudocercospora* podem causar lesões foliares e desfolha, especialmente em condições de alta umidade. A aplicação de *Bacillus velezensis* no controle de patógenos foliares se dá principalmente via **indução de resistência sistêmica** e produção de metabólitos antifúngicos que atuam na superfície da folha. Embora haja poucas referências específicas à interação *B. velezensis* – *Pseudocercospora* na soja, podemos extrapolar conhecimentos de sistemas semelhantes.

Em outras culturas, *B. velezensis* já demonstrou excelente controle de doenças foliares por *Cercospora/Pseudocercospora*. Um exemplo recente é o controle da cercosporiose (*Cercospora* leaf spot) na beterraba açucareira: a cepa *B. velezensis* KT27 foi testada contra *Cercospora beticola* (fungo análogo que causa manchas foliares). Em laboratório, *B. velezensis* KT27 **inibiu ~60,2%** do crescimento de *C. beticola* in vitro. Já em **ensaios de campo**, a eficiência desse biocontrole foi notável – parcelas tratadas com a bactéria tiveram níveis de doença apenas 9,1% inferiores ao controle químico padrão (mistura de três fungicidas). Em outras palavras, o tratamento biológico quase se equiparou à proteção conferida pelos fungicidas, indicando alta eficácia prática. Além disso, plantas sob proteção de *B. velezensis* KT27 apresentaram incremento de até 15,2% na produção de raízes em comparação à testemunha, evidenciando efeito de promoção de crescimento concomitante ao controle da doença. Esse caso ilustra bem o potencial de *B. velezensis* como agente de biocontrole foliar: a bactéria produziu lipopeptídeos (iturina, surfactina, fengicina) que inibiram o fungo e, possivelmente, “treinaram” as plantas a resistir melhor (já que preparações da bactéria induzidas por resíduos fúngicos mostraram efeito antifúngico ainda maior).

Transpondo para a soja, espera-se que tratamentos com *B. velezensis* possam **reduzir a incidência de manchas foliares** como a mancha angular. A bactéria poderia ser aplicada via pulverização foliar (formulações líquidas) ou como endofítica via sementes, colonizando a epiderme foliar. Ela então produziria localmente compostos como fengicina e iturina, que inibiriam a germinação de esporos de *Pseudocercospora* nas superfícies das folhas. Ademais, as plantas tratadas tenderiam a apresentar respostas de defesa ativadas (por exemplo, depósito de calose, fitoalexinas) que limitariam o progresso de lesões foliares. Embora sejam necessários estudos específicos com *P. grisea* em soja, a literatura disponível sobre *Bacillus* vs. *Cercospora* sugere fortemente um **bom potencial de controle**, especialmente como parte de um manejo integrado juntamente com cultivares de soja mais tolerantes e uso racional de fungicidas quando necessário.

Tabela comparativa de estudos e resultados de controle

A tabela a seguir compila resultados de pesquisas selecionadas sobre *Bacillus velezensis* no controle de patógenos da soja, evidenciando a eficácia em diferentes condições experimentais:

Patógeno-alvo (Doença)	Bacillus (cepa/produto)	Condições do teste	Resultado de controle
<i>Fusarium oxysporum</i> (podridão radicular)	<i>B. velezensis</i> BVE7 (isolado de solo)	In vitro (filtrado em PDA)	- Inibição da germinação de conídios: 61,1% - Redução na produção de esporos: 73,4% - Inibição do crescimento micelial: 85,4%

Patógeno-alvo (Doença)	Bacillus (cepa/produto)	Condições do teste	Resultado de controle
<i>Fusarium oxysporum</i> (podridão radicular)	<i>B. velezensis</i> BVE7	Casa de vegetação (vasos infectados)	- Redução da severidade da doença com eficiência de controle de 75,1% - Aumento de enzimas de defesa nas plantas tratadas (catalase, PAL, SOD, peroxidase)
<i>Fusarium solani</i> (podridão vermelha da raiz / SDS)	<i>B. velezensis</i> (composto purificado)	In vitro (ensaio de toxicidade)	- Fengicina purificada de <i>B. velezensis</i> suprime <i>F. solani</i> com IC₅₀ = 5,58 µg/mL , eficácia superior a fungicidas tiram (IC ₅₀ 41 µg/mL) e hymexazol (IC ₅₀ 343 µg/mL).
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (mofo-branco)	<i>B. velezensis</i> CMRP 4490 (Brasil)	In vitro (dual culture)	- Inibição do crescimento micelial em cerca de 60% [2] (valor semelhante também contra <i>Macrophomina</i> e <i>Rhizoctonia</i>).
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	<i>B. velezensis</i> 20507 (China)	Casa de vegetação (solo infestado)	- Forte antagonismo observado; bactéria inibiu infecção e formação de escleródios em plantas de soja. - Extrato extracelular causou danos às hifas e bloqueou genes do fungo.
<i>Macrophomina phaseolina</i> (podridão-negra)	<i>B. velezensis</i> CMRP 4490	In vitro (dual culture)	- Inibição do crescimento do fungo em ~60% (sem diferença significativa comparado a inibição de <i>S. sclerotiorum</i>)[2].
<i>Rhizoctonia solani</i> (podridão radicular / tombamento)	<i>B. velezensis</i> CMRP 4490	In vitro (dual culture)	- Inibição do crescimento de <i>R. solani</i> em ~60% , similar aos demais patógenos testados[2].
<i>Phytophthora sojae</i> (podridão radicular, oomiceto)	<i>B. velezensis</i> SN337 (China)	Campo (solo naturalmente infestado)	- Seleção de estirpe SN337 com melhor performance dentre 6 testadas. - Redução da severidade da podridão-de-Phytophthora

Patógeno-alvo (Doença)	Bacillus (cepa/produto)	Condições do teste	Resultado de controle
<i>Cercospora beticola</i> (mancha foliar da beterraba) ¹	<i>B. velezensis</i> KT27	Campo (aplicação foliar)	nas plantas tratadas, atribuída à ação antagonista direta sobre <i>P. sojae</i> e à melhora da microbiota benéfica na rizosfera da soja. - Controle da cercosporiose quase equivalente ao químico: nível de doença apenas 9,1% maior que o tratamento com fungicidas (três aplicações). - Aumento de ~15% na produtividade (raiz) comparado à testemunha sem tratamento.

¹ *C. beticola* em beterraba é usado como análogo de *Pseudocercospora/Cercospora* foliar; resultados indicam potencial de *B. velezensis* contra mancha angular em soja.

Formulações Comerciais e Potencial no Manejo Integrado

O avanço das pesquisas com *B. velezensis* tem se traduzido gradativamente em produtos biológicos comerciais para uso agrícola. Diversos biofungicidas à base de *Bacillus* (especialmente *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens* e *B. velezensis*) estão registrados no mundo e no Brasil para controle de doenças de solo e foliares. Exemplos incluem o **Serenade® ASO** (Bayer) – formulação líquida contendo a cepa QST713 (classificada como *B. subtilis* QST713, mas reconhecida hoje como *B. velezensis*), empregada no controle de mofo-branco, podridões radiculares e doenças foliares em diversas culturas. O mecanismo do Serenade baseia-se principalmente na produção de lipopeptídeos (especialmente fengicinas), sendo que o produto é recomendado tanto para aplicação no solo quanto foliar, formando uma barreira protetiva de metabólitos. Outro exemplo é o **Kodiak® (GB03)** – um tratamento de sementes contendo a estirpe *B. velezensis* GB03, utilizado para proteger plântulas contra patógenos como *Fusarium oxysporum* e *Rhizoctonia solani*. Esse produto, além de antagonizar fungos do solo, é conhecido por estimular o crescimento inicial das raízes (efeito PGPR). No Brasil, conforme compilação da Embrapa, há **vários produtos contendo Bacillus** registrados para uso na soja, incluindo formulações monoespecíficas e combinadas. Por exemplo: *B. amyloliquefaciens* está presente em produtos como Eco-Shot®, Amylo-X® (cepa D747) e Nemacontrol®; *B. subtilis* em produtos como Serenade®, Paladyo®, Furatrop® e PromoBio®; e até combinações como **Provilar®** (FMC), que associa *B. subtilis* e *B.*

velezensis (isolado CNPSo 3602) numa única formulação. Muitos desses bioinsumos são indicados para controle de fungos de solo (*Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Sclerotinia*, etc.) e nematoides, atuando via antibiose e promoção de sanidade radicular.

No contexto de **Manejo Integrado de Doenças (MID)**, *B. velezensis* e outros agentes biológicos desempenham um papel de complemento às variedades resistentes/tolerantes e aos defensivos químicos. Por exemplo, no manejo do mofo-branco, a adoção de controle biológico com *Bacillus* ou *Trichoderma* é recomendada em conjunto com práticas culturais (espaçamento adequado, rotação de culturas não hospedeiras, eliminação de hospedeiros alternativos) e uso criterioso de fungicidas em época de florescimento. Essa abordagem integrada visa reduzir a carga de inóculo no solo (via biocontrole de escleródios), limitar a infecção inicial (via fungicidas protetores) e fortalecer a planta (via resistência induzida pelos biológicos). Similarmente, para podridões radiculares por *Fusarium* e *Macrophomina*, o tratamento de sementes com *B. velezensis* ou sua aplicação em sulco pode proteger as plântulas nas fases iniciais, enquanto cultivares com melhor sanidade radicular e rotação de cultura cuidam do restante do ciclo. É importante salientar que agentes biológicos como *B. velezensis* geralmente funcionam melhor de forma preventiva – isto é, devendo ser introduzidos **antes ou no momento da semeadura**, para colonizar o solo/rizosfera e manter os patógenos em níveis baixos desde o início.

Quanto ao **potencial de aplicação**, *B. velezensis* apresenta vantagens operacionais: é capaz de formar esporos resistentes, o que confere boa estabilidade em formulações comerciais (pós-molháveis, grânulos, suspensões concentradas etc.) e longo shelf-life. Por exemplo, otimizações em meios de fermentação já permitiram estender a vida de prateleira de produtos à base de *B. velezensis* adicionando componentes protetores (óleo de soja etc.), mantendo alta viabilidade dos esporos e eficácia antifúngica por vários meses. Ademais, por ser uma bactéria rizosférica não patogênica a humanos, *B. velezensis* se encaixa nas diretrizes de agricultura sustentável, podendo ser usado inclusive em sistemas orgânicos (muitos produtos à base de *Bacillus* têm certificação para agricultura orgânica).

Entretanto, alguns desafios devem ser considerados. A **variabilidade de desempenho em campo** ainda é um ponto a ser continuamente estudado – a eficácia dos biocontrole pode flutuar conforme condições ambientais (temperatura, umidade do solo), interações com microbiota nativa e níveis de inóculo do patógeno. Por exemplo, em solos muito infestados ou sob clima excessivamente favorável ao fungo, a proteção conferida pelo *Bacillus* isoladamente pode ser insuficiente; nesses casos, ele deve ser visto como parte de um conjunto de táticas de manejo e não uma solução única. Além disso, *B. velezensis* introduzido no ambiente interage com as comunidades microbianas existentes – pode competir com outros benéficos ou ter sua sobrevivência limitada por eles. Estudos de metagenômica indicam que certas estirpes de *B. velezensis* não apenas antagonizam o patógeno, mas também **modulam a comunidade microbiana da rizosfera** de forma benéfica (por exemplo, aumentando populações de microrganismos competidores do patógeno). Contudo,

há também a necessidade de assegurar que a introdução do bioagente não cause desequilíbrios ou efeitos não desejados; embora *B. velezensis* seja em geral seguro, pesquisas recentes ressaltam a importância de monitorar possíveis efeitos deletérios em algumas culturas se usado de forma indiscriminada.

Em conclusão, o uso de *Bacillus velezensis* no manejo de doenças de solo na soja mostra-se **altamente promissor**, oferecendo mecanismos múltiplos de supressão de patógenos (antibiose, competição e resistência induzida) e contribuindo para uma agricultura mais sustentável. Fontes científicas confirmam sua eficácia contra patógenos-chave como *Fusarium*, *Sclerotinia* e outros, tanto em condições de laboratório quanto em ensaios de campo, ainda que a performance possa depender das condições locais. A incorporação de *B. velezensis* em programas de manejo integrado – via tratamentos de semente, aplicações no solo ou foliares estratégicas – pode reduzir as perdas por doenças radiculares e foliares na cultura da soja, diminuindo a necessidade de fungicidas químicos e mitigando riscos de resistência destes. Assim, *B. velezensis* consolida-se como uma ferramenta valiosa no arsenal fitossanitário moderno, alinhada com os princípios de eficiência agrônômica e respeito ambiental.

Referências Bibliográficas Selecionadas:

1. Cantoro, *et al.* (2021). *Front. Microbiol.* – Uso de *Bacillus* no controle de mofo-branco.
 2. Cheng *et al.* (2024). *Front. Microbiol.* – Genômica e biocontrole de *S. sclerotiorum* por *B. velezensis* 20507.
 3. Teixeira *et al.* (2021). *Front. Microbiol.* – Atividade antifúngica e promoção de crescimento por *B. velezensis* CMRP4490[2][3].
 4. Sun *et al.* (2023). *Front. Microbiol.* – *B. velezensis* BVE7 no controle da podridão radicular por *Fusarium* em soja.
 5. Marquez *et al.* (2021). *Front. Plant Sci.* – Revisão sobre *Macrophomina* e métodos de controle.
 6. Rabbee & Baek (2023). *Agronomy* – Revisão sobre aplicações de *B. velezensis* na agricultura sustentável.
 7. Wita *et al.* (2025). *PLoS One* – *B. velezensis* KT27 no controle de cercosporiose (mancha foliar) em campo.
 8. Dourado *et al.* (2020). *Braz. J. Develop.* – *Bacillus* como antagonistas de fungos fitopatogênicos.
 9. Vitorino *et al.* (2020). *Tropical Plant Pathology* – *Bacillus* spp. no biocontrole de doenças da soja.
 10. Meyer *et al.* (2016-2020). Embrapa Soja – Capítulo “Controle biológico de mofo-branco” em *Bioinsumos na Cultura da Soja*.
-

[1] [2] [3] Frontiers | Genomic Insights Into the Antifungal Activity and Plant Growth-Promoting Ability in *Bacillus velezensis* CMRP 4490

<https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2020.618415/full>