

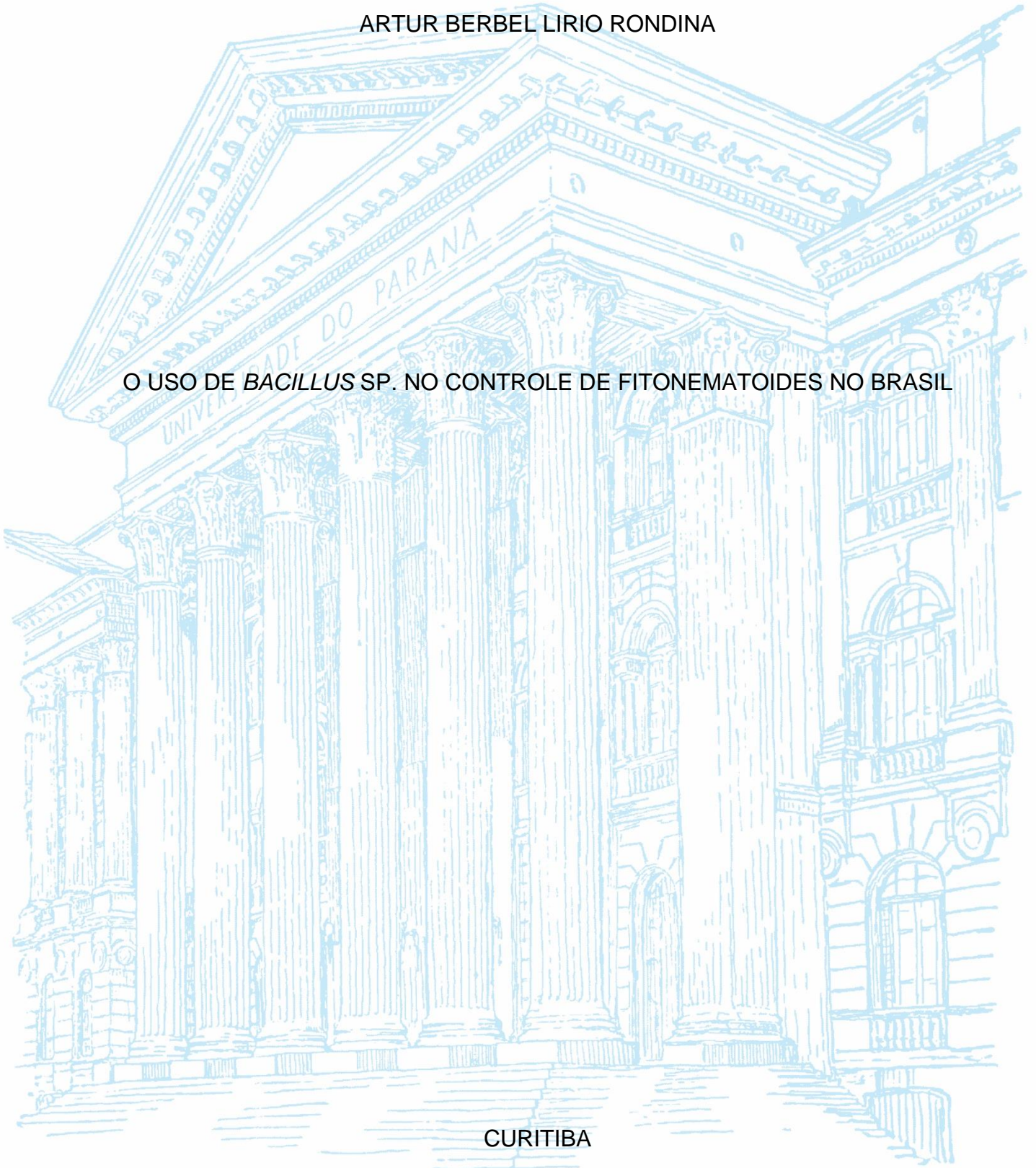
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ARTUR BERBEL LIRIO RONDINA

O USO DE *BACILLUS* SP. NO CONTROLE DE FITONEMATOIDES NO BRASIL

CURITIBA

2023



ARTUR BERBEL LIRIO RONDINA

O USO DE *BACILLUS* SP. NO CONTROLE DE FITONEMATOIDES NO BRASIL

TCC apresentado ao curso de Pós-Graduação lato sensu em Fitossanidade, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Fitossanidade.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Miguel Mazaro

CURITIBA

2023

RESUMO

Fitonematoides são fitopatógenos de solo que prejudicam significativamente várias culturas importantes do agronegócio, como soja, feijão, milho, cana-de-açúcar, algodão e café. Os prejuízos causados por fitonematoides ao setor agrícola ultrapassam a casa dos US\$ 6 milhões no Brasil. A nível global, os danos causados por fitonematoides representam, em média, 14% de todas as perdas econômicas das safras. O controle e manejo de fitonematoides nas lavouras é complexo e tem sido realizado de maneira integrada pelo uso de cultivares resistentes, pela adoção de rotação de culturas com plantas não hospedeiras, e/ou pela aplicação de produtos nematicidas de base química ou biológica (controle biológico). Nos dias atuais, o controle biológico com bionematicidas é a estratégia de manejo de fitonematoides que mais recebe destaque mundialmente. No Brasil, o mercado de bionematicidas compreendeu aproximadamente US\$ 120 milhões em 2021, com potencial de dobrar o faturamento até 2030. Cerca de 60% dos bionematicidas utilizados na agricultura brasileira contém bactérias do gênero *Bacillus*. Devido à relevância dos produtos biológicos à base de bactérias do gênero *Bacillus* para controle de fitonematoides, é importante conhecer as espécies/estirpes, as formas de aplicação e os principais produtos registrados. Desse modo, objetiva-se, neste estudo, produzir uma revisão bibliográfica sobre os principais *Bacillus* utilizados para controle biológico de fitonematoides de importância agrícola no Brasil. Os principais meios pelos quais *Bacillus* spp. atuam como agentes de controle de fitonematoides são: proteção física na rizosfera e rizoplane, dificultando a interação dos fitonematoides com as raízes; e proteção química, em que algumas estirpes produzem enzimas, exotoxinas e metabólitos que têm atividade nematicida. Alguns *Bacillus* podem ainda aumentar o vigor e a resistência da planta aos fitonematoides, por meio da produção e liberação de fitormônios e/ou moléculas sinalizadoras. As bactérias do gênero *Bacillus* que mais ocorrem em bionematicidas presentes no mercado brasileiro são: *Bacillus subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis*, *B. firmus*, *B. thuringiensis*, *B. methylotrophicus* e *B. velezensis*. Em um levantamento de 21 dos principais bionematicidas comercializados atualmente no Brasil, verificou-se que são compostos por 21 estirpes destas espécies de *Bacillus*. Entre os nematoides alvos dos produtos estão *Meloidogyne incognita*, *M. javanica*, *M. graminicola*, *M. exigua*, *M. paranaensis*, *Pratylenchus brachyurus*, *P. zaeae*, *Heterodera glycine*, *Rotylenchulus reniformis* e *Radopholus similis*. A aplicação dos bionematicidas a base de *Bacillus* ocorre especialmente via tratamento de sementes ou via sulco de semeadura, mas alguns também possuem registro para aplicação via drench e/ou pulverização foliar. Atualmente, universidades e instituições públicas e privadas têm investido em pesquisa e desenvolvimento de novos bionematicidas. Nos próximos anos, o portfólio de bionematicidas a base de *Bacillus* disponível no mercado brasileiro deverá contar com mais tecnologias, que podem envolver desde o uso de novas espécies/estirpes, até a desenvolvimento de novas formulações.

Palavras-chave: *Bacillus amyloliquefaciens*. *Bacillus subtilis*. Controle biológico. *Meloidogyne*. *Pratylenchus*.

ABSTRACT

Phytonematodes are soil phytopathogens that significantly harm several important crops, such as soybean, bean, maize, sugarcane, cotton, and coffee. The damage caused by phytonematodes to the agriculture exceeds US\$ 6 million in Brazil. Globally, the damages caused by phytonematodes accounts for, on average, 14% of all economic crop losses. The control and management of phytonematodes in crops is complex and has been carried out in an integrated manner through the use of resistant cultivars, the adoption of crop rotation with non-host plants, and/or the application of chemically-based or biologically-based nematicidal products (biological control). Nowadays, biological control with bionematicides is the strategy for phytonematode management which receives the most attention worldwide. In Brazil, the bionematicides market comprised approximately US\$ 120 million in 2021, with the potential to double billings by 2030. About 60% of the bionematicides used in Brazilian agriculture contain *Bacillus* bacteria. Due to the relevance of biological products based on bacteria of the genus *Bacillus* for the control of phytonematodes, it is important to know the species/strains, the application methods and the main registered products. Thus, the aim of this study is to review the main *Bacillus* used for the biological control of phytonematodes of agricultural importance in Brazil. The main means by which *Bacillus* spp. acts as phytonematode control agents are: physical protection in the rhizosphere and rhizoplane, hindering the interaction of phytonematodes with the roots; and chemical protection, in which some strains produce enzymes, exotoxins and metabolites that have nematicidal activity. Some *Bacillus* can also increase the fitness and resistance of the plant to phytonematodes, through the production and release of phytohormones and/or signaling molecules. *Bacillus* bacteria that occur most frequently in bionematicides on the Brazilian market are: *Bacillus subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis*, *B. firmus*, *B. thuringiensis*, *B. methylotrophicus* and *B. velezensis*. In a survey of 21 of the main bionematicides currently marketed in Brazil, it was found that they are composed of 21 strains of these *Bacillus* species. Among the products' target nematodes are *Meloidogyne incognita*, *M. javanica*, *M. graminicola*, *M. exigua*, *M. paranaensis*, *Pratylenchus brachyurus*, *P. zaeae*, *Heterodera glycine*, *Rotylenchulus reniformis* and *Radopholus similis*. The application of *Bacillus*-based bionematicides occurs especially via seed treatment or via sowing furrow, but some are also registered for application via drench and/or foliar spray. Currently, universities and public and private institutions have invested in research and development of new bionematicides. In the coming years, the portfolio of *Bacillus*-based bionematicides available on the Brazilian market should include more technologies, which may range from the use of new species/strains to the development of new formulations.

Keywords: *Bacillus amyloliquefaciens*. *Bacillus subtilis*. Biological control. *Meloidogyne*. *Pratylenchus*.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
1.1 JUSTIFICATIVA	6
1.2 OBJETIVOS	6
1.2.1 Objetivo geral	6
1.2.2 Objetivos específicos.....	6
1.3 METODOLOGIA.....	8
2 DESENVOLVIMENTO	9
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	15
REFERÊNCIAS.....	16

1 INTRODUÇÃO

A relevância dos fitonematoides, organismos vermiformes que habitam o solo e se alimentam de tecidos vegetais, dentre os principais fitopatógenos que acarretam danos significativos a culturas importantes do agronegócio brasileiro, como soja [*Glycine max* (L.) Merrill], feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), algodão (*Gossypium hirsutum* L.), café (*Coffea* sp.) milho (*Zea mays* L.) e cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), tem aumentado nas últimas décadas (Machado 2014). A Sociedade Brasileira de Nematologia estima que os prejuízos provocados por fitonematoides são de cerca de 6,5 milhões de dólares ao ano, e que, somente na cultura da soja, as perdas econômicas anuais superam 3 milhões de dólares (MACHADO, 2022). No contexto mundial, a Sociedade Americana de Fitopatologia (APS) estima que os prejuízos causados no setor agrícola por fitonematoides representem 14% de todas as perdas econômicas nas safras (MESA-VALLE *et al.*, 2020).

Os fitonematoides mais importantes para a agricultura brasileira são *Meloidogyne javanica*, *M. graminicola*, *M. exigua*, *M. paranaensis* e *M. incognita* (nematoides das galhas), *Pratylenchus brachyurus* e *P. zae* (nematoides das lesões nas raízes), *Rotylenchulus reniformis* (nematóide reniforme) e *Heterodera glycines* (nematóide de cisto) (Machado 2014). Os nematoides dos gêneros *Meloidogyne* e *Pratylenchus* merecem destaque por serem mais amplamente distribuídos nos campos agrícolas brasileiros e apresentarem a maior variedade de espécies de plantas hospedeiras (polifagia), parasitando quase todas as espécies cultivadas (DINARDO-MIRANDA, 2014; PINHEIRO, 2017; OLIVEIRA; ROSA, 2018, DIAS-ARIEIRA *et al.*, 2022).

Os principais sintomas exibidos por plantas parasitadas por fitonematoides são atrofiamento, clorose, queda das folhas, aborto de flores e frutos, e diminuição de produtividade. Nas raízes, o ataque de fitonematoides do gênero *Meloidogyne* resulta na formação de nódulos grandes conhecidos como galhas, sintoma facilmente reconhecível. Por outro lado, os sintomas do ataque de *Pratylenchus* e de outros fitonematoides são frequentemente inespecíficos, pois envolvem lesões escuras e necróticas que podem ser confundidas com aquelas causadas por fungos e/ou bactérias. Além disso, plantas sob ataque de fitonematoides ficam mais suscetíveis a infecções secundárias por microrganismos (MESA-VALLE *et al.*, 2020).

Atualmente, o controle biológico com bionemáticas é a estratégia de manejo de fitonematoides que mais recebe destaque mundialmente. Ele pode ser associado aos manejos culturais, genéticos e químicos para garantir a supressão da população de fitonematoides no solo e nas raízes, e melhor crescimento, desenvolvimento e produtividade da planta (ARAÚJO *et al.*, 2012; AHMAD *et al.*, 2021; DIAS-ARIEIRA, 2022). A utilização do controle cultural juntamente com o controle biológico vem ganhando espaço na agricultura e tem resultado em aumento de produtividade além de aumento da eficiência e da sustentabilidade do controle dos fitonematoides nos sistemas de produção agrícola brasileiros (DIAS-ARIEIRA, 2022). Neste caso, pode-se utilizar os agentes de controle biológico tanto na cultura principal, quando nas culturas secundárias adotadas nos sistemas de rotação (incluindo plantas não hospedeiras).

1.1 JUSTIFICATIVA

Considerando a importância atual dos produtos biológicos para controle de fitonematoides, e a importância do gênero *Bacillus*, é de interesse buscar entender as espécies/estirpes, formas de ação e principais produtos registrados.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Realizar uma revisão bibliográfica sobre os principais microrganismos do gênero *Bacillus* utilizados para controle biológico de fitonematoides de importância agrícola no Brasil.

1.2.2 Objetivos específicos

Identificar quais espécies de *Bacillus* utilizadas para controle biológico de fitonematoides na agricultura brasileira; citar mecanismos de ação exibido por *Bacillus* para o controle dos fitonematoides; listar os principais bionemáticas comerciais contendo *Bacillus* com registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

(MAPA), bem como suas recomendações de posicionamento e alvos nas principais culturas agrícolas brasileiras.

1.3 METODOLOGIA

A revisão foi realizada com base em consulta no site oficial Agrofit-MAPA, em artigos científicos, capítulos de livros, teses, boletins e comunicados técnicos, dissertações e trabalhos disponíveis para acesso em bases científicas (como Scielo, Google Scholar, Scopus, Web of Science, bibliotecas universitárias e na plataforma de teses e dissertações da CAPES).

2 DESENVOLVIMENTO

Da mesma forma que para a maioria dos fitopatógenos de solo, o controle e manejo de fitonematoides é bastante complexo e tem sido realizado, principalmente, pelo uso de cultivares resistentes (controle genético), pela adoção de rotação de culturas com plantas não hospedeiras (controle cultural), ou pela aplicação de produtos nematicidas de base química (controle químico) ou biológica (controle biológico) (KRATOCHVIL *et al.*, 2004; ARITA *et al.*, 2020; AHMAD *et al.*, 2021; DIAS-ARIEIRA *et al.*, 2022). Um dos principais desafios para a utilização de cultivares resistentes é que boa parte delas não pode ser semeada em muitas regiões do Brasil, devido a restrições edafoclimáticas para seu crescimento e desenvolvimento. A rotação de culturas, utilizando plantas não hospedeiras (e.g. *Crotalaria spectabilis*) também tem enfrentado desafios devido a polifagia de algumas espécies de fitonematoides (CRUZ *et al.*, 2020; MESA-VALLE *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2023). Nestes contextos, o uso de nematicidas químicos e/ou biológicos de forma integrada aos manejos cultural e genético tem aumentado a eficiência de controle dos fitonematoides (MACHADO, 2014, 2022; DIAS-ARIEIRA *et al.*, 2022). Existem poucas moléculas químicas registradas no MAPA para uso em campos infestados com fitonematoides – são 12 ingredientes ativos e 29 produtos comerciais (MACHADO, 2022). No que diz respeito aos biológicos, há 11 agentes de biocontrole e 50 produtos comerciais registrados no MAPA e recomendados para controle de fitonematoides (DIAS-ARIEIRA *et al.*, 2022; MACHADO, 2022).

O mercado de defensivos biológicos no Brasil foi estimado em aproximadamente US\$ 340 milhões em 2021, com potencial de aumentar em mais de 100% até 2030. Atualmente, os bionematicidas representam 35% deste mercado (MACHADO, 2022). Na cultura da soja, o uso de bionematicidas já ocorre em 90% da área tratada com nematicidas (mais de 2,5 milhões de hectares), e o tratamento de sementes corresponde a 70% das aplicações (DIAS-ARIEIRA *et al.*, 2022; MACHADO, 2022). A maioria dos bionematicidas registrados no MAPA e comercializados são compostos por bactérias dos gêneros *Bacillus* ou *Pasteuria*, ou por fungos dos gêneros *Trichoderma*, *Pochonia* ou *Purpureocillium* (sin. *Paecilomyces*). No Brasil, os bionematicidas são aplicados principalmente via tratamento de sementes, mas também podem ser aplicados via sulco ou via jato dirigido. No tratamento de sementes, os bionematicidas contendo bactérias

formadoras de endósporos, como *Bacillus*, são mais utilizados devido à alta viabilidade e capacidade de resistência dos esporos (MACHADO *et al.*, 2016, 2022). Vale ressaltar que as bactérias do gênero *Bacillus* estão presentes em cerca de 60% dos bionemáticos utilizados na agricultura brasileira (AGROFIT, 2022; DIAS-ARIEIRA *et al.*, 2022; MACHADO, 2022). Dentre as espécies de *Bacillus*, merecem destaque, pela frequência de ocorrência nos produtos comerciais (isoladamente ou em combinação de espécies), *Bacillus subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. licheniformis*, *B. firmus* e *B. velezensis* (DIAS-ARIEIRA *et al.*, 2022).

Os principais meios pelos quais bactérias do gênero *Bacillus* atuam como agentes de controle biológico de fitonematoides são: proteção física na rizosfera e rizopiano, em que a grande população de *Bacillus* cultivada ao redor das raízes, estimulada por exsudatos radiciais, estabelece uma barreira que dificulta a interação dos fitonematoides com as raízes; e proteção química, em que algumas estirpes produzem moléculas biologicamente ativas como enzimas, exotoxinas e metabólitos que têm atividade nematicida (ABBASI *et al.*, 2014; HU *et al.*, 2017; HASHEM *et al.*, 2019). Ainda, o crescimento da população de *Bacillus* ao redor das raízes afeta o metabolismo da planta e promove alterações qualitativas e quantitativas nos exsudatos radiciais, de modo que o reconhecimento químico da planta pelo fitonematoide pode ficar prejudicado e a relação de parasitismo não se estabelecer (HU *et al.*, 2017). Alguns *Bacillus* também podem aumentar o vigor e a resistência da planta aos fitonematoides por meio da produção e liberação de fitormônios e moléculas sinalizadoras na rizosfera e aumento do estado nutricional do vegetal (especialmente de P) (DIAS-ARIEIRA *et al.*, 2022).

A estirpe PRBS-1 (= A3-5, = CNPSO 2657) de *Bacillus subtilis*, isolada de solo sob cultivo de soja (ARAÚJO *et al.*, 2005), é uma das utilizadas em bionemáticos comercializados no Brasil. Sua eficácia contra fitonematoides foi demonstrada em soja, cana-de-açúcar e tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Em estudo realizado em casa de vegetação, Araújo *et al.* (2012) verificaram que a inoculação com a estirpe PRBS-1 em sementes de um genótipo de soja susceptível a fitonematoides do gênero *Meloidogyne* (BRS 184), cultivado em solo com 3.400 formas ativas de *Meloidogyne* spp. 100 cm⁻³, resultou em significativa diminuição de 69,5% na quantidade de ovos e de 57% na quantidade de fitonematoides nas raízes em comparação com a não inoculação e não aplicação de nematicida químico (carbofurano) na semente. A inoculação com PRBS-1 e o tratamento com carbofurano nas sementes não diferiram

estatisticamente entre si em controlar formas ativas e diminuir a quantidade de ovos nas raízes das plantas. Além disso, os autores verificaram que a inoculação com PRBS-1 em sementes de genótipo de soja resistente aos fitonematoides das galhas (BRS 282) resultou em aumento de cerca de 30% na massa da parte aérea das plantas (ARAÚJO *et al.*, 2012).

O efeito de supressão de fitonematoides do gênero *Meloidogyne* pela estirpe PRBS-1 também foi analisado em tomateiro. Araújo e Marchesi (2009) conduziram um experimento em casa de vegetação em que mudas de tomateiro da cultivar 'Santa Clara' receberam inoculação com a estirpe PRBS-1 (via inoculante sólido, com bentonita em pó como veículo) ou carbofuram sobre o solo, após 3 dias do transplante para vasos contendo solo naturalmente infestado por *Meloidogyne* spp. (400 juvenis e 500 ovos de fitonematoides 100 g⁻¹ solo), em um raio de 2,0 cm ao redor do caule. A inoculação com a estirpe PRBS-1, assim como o tratamento com carbofuram, reduziu significativamente o número de juvenis de *Meloidogyne* spp. nas raízes do tomateiro. Entretanto, a inoculação também promoveu diminuição significativa na massa de ovos dos fitonematoides nas raízes e, desse modo, promoveu melhor controle da reprodução dos fitonematoides do que o tratamento com carbofuram. As plantas inoculadas ainda apresentaram maior massa da parte aérea e menor massa de raízes (em função da redução do número de galhas) do que as plantas que não receberam inoculação com a PRBS-1 e nem tratamento com carbofuram (ARAÚJO; MARCHESI, 2009).

Morgado *et al.* (2015) realizaram um estudo com cultivar de cana-de-açúcar susceptível a nematoides (RB72454) para avaliar se o controle biológico de fitonematoides por estirpes de *B. subtilis* (PRBS-1 ou AP-3) era equivalente em eficácia e persistência ao controle com nematicida químico (carbofuram). O solo utilizado no estudo estava naturalmente infestado por fitonematoides do gênero *Meloidogyne* e *Pratylenchus zaei*. A inoculação com as estirpes de *B. subtilis* e a aplicação de carbofuram foram realizadas via sulco, a 10 cm de profundidade. Em seguida, foi realizado o plantio de fragmentos de colmo contendo duas gemas. Foram realizadas avaliações da densidade de fitonematoides no solo aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após o plantio, além do número de fitonematoides nas raízes da cana-de-açúcar após 75 dias do plantio. Os autores verificaram que, a partir de 30 dias do plantio, a inoculação com PRBS-1 ou com AP-3 resultou em diminuição significativa do número de juvenis de *Meloidogyne* spp. e *P. zaei* no solo em relação ao tratamento que não

recebeu inoculação e nem nematicida químico. Com o passar do tempo, a diminuição de juvenis de fitonematoides no solo em função da inoculação com as estirpes de *B. subtilis* ficou ainda mais acentuada, o que demonstrou a persistência do controle biológico de *Meloidogyne* spp. e *P. zaeae* por PRBS-1 e AP-3 (vale ressaltar que, aos 75 dias do plantio, o número de juvenis de *Meloidogyne* spp. nos tratamentos inoculados chegou próximo a $0,0 \cdot 100^{-3}$ solo). A inoculação *B. subtilis* também reduziu em, aproximadamente, 60% e 50% o número de juvenis *Meloidogyne* spp. e *P. zaeae*, respectivamente, nas raízes da cana-de-açúcar aos 75 dias após o plantio, bem como o fator de reprodução destes nematoides, em comparação ao tratamento sem inoculação e nem aplicação de nematicida químico. Em todos os parâmetros analisados, não houve diferenças significativas entre o tratamento inoculado com PRBS-1, o tratamento inoculado com AP-3 e o tratamento que recebeu nematicida químico, comprovando que o controle biológico com estas estirpes foi equivalente em eficácia e persistência entre si e ao controle químico com carbofuran.

Atualmente, o registro de produtos biológicos para controle de fitonematoides, no Brasil, é feito por alvo, diferentemente dos nematicidas químicos, em que o registro é feito por alvo e cultura. Portanto, uma vez que um bionematicida a base de *Bacillus* spp. e/ou outro microrganismo seja registrado no MAPA para controle de certo fitonematoide, ele pode ser utilizado em qualquer cultura com ocorrência deste fitonematoide. É muito importante que os agrônomos, técnicos agrícolas e produtores sigam as recomendações de dosagem, posicionamento e cuidados para armazenamento e aplicação descritas na bula dos produtos, para que seja obtida maior eficiência do bionematicida. Na TABELA 1, estão expostos alguns dos principais bionematicidas registrados no MAPA e comercializados atualmente (julho de 2023) no Brasil para controle de fitonematoides. São informações de 21 produtos comerciais pertencentes a 10 empresas, compostos por 21 estirpes de 7 espécies de *Bacillus*. Entre os nematoides alvos dos produtos estão *M. incognita*, *M. javanica*, *M. graminicola*, *M. exigua*, *M. paranaensis*, *P. brachyurus*, *P. zaeae*, *H. glycine*, *R. reniformis* e *Radopholus similis*. Os principais posicionamentos são: tratamento de sementes, sulco de plantio, drench e pulverização foliar. Vale destacar que universidades, institutos, e empresas públicas e privadas que trabalham com bioinsumos agrícolas tem investido cada vez mais em pesquisa e desenvolvimento de produtos (com novas estirpes e/ou formulações) e soluções ainda mais eficientes e sustentáveis para o controle dos fitonematoides.

TABELA 1 – Informações sobre alguns dos principais produtos biológicos contendo bactérias do gênero *Bacillus* registrados e comercializados no Brasil para controle de fitonematoides.

Espécie(s)	Estirpe(s)	Nome do produto comercial	Empresa detentora do registro	Posicionamento	Nematoides alvos[§]
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	SIMBI BS 10	NemaControl	Simbiose	Tratamento de sementes, sulco de plantio	<i>P.b.</i>
<i>B. amyloliquefaciens</i>	PTA-4838	Aveo EZ	Sumitomo	Tratamento de sementes	<i>M.i., P.b., H.g.</i>
<i>B. amyloliquefaciens</i>	MBI600	Loyalty Bio / Trunemco / Vinemco	Sumitomo	Tratamento de sementes	<i>M.i., M.j., P.b., R.r.</i>
<i>B. amyloliquefaciens</i>	UMAF6614	Chevelle	Koppert	Tratamento de sementes	<i>M.i., M.j., P.b.</i>
<i>B. amyloliquefaciens</i>	UMAF6614	Boneville	Koppert	Tratamento de sementes	<i>M.i., M.j., P.b.</i>
<i>B. amyloliquefaciens</i>	UMAF6614	Veraneio	Koppert	Tratamento de sementes	<i>M.i., M.j., P.b.</i>
<i>B. amyloliquefaciens</i>	BV03	No-Nema	Vittia	Tratamento de sementes, sulco de plantio, drench, pulverização foliar	<i>M.i., M.j., P.b.</i>
<i>B. amyloliquefaciens</i>	BV09	Biobaci	Vittia	Sulco de plantio, drench	<i>M.i., M.j., M.e., M.p., P.z.</i>
<i>Bacillus firmus</i>	I-1582	Votivo Prime	Basf	Tratamento de sementes	<i>M.j., M.g., P.b., H.g., R.r.</i>
<i>Bacillus methylophilicus</i>	UFPEDA 20	Onix OG	Lallemand	Tratamento de sementes, pulverização foliar	<i>M.j., P.b.</i>
<i>Bacillus subtilis</i>	UFPDA 764	Rizos OG	Lallemand	Tratamento de sementes, pulverização foliar	<i>M.j., P.b.</i>
<i>B. subtilis</i>	CNPSo 2657	Furatrop, Nematrop	Biotrop	Tratamento de sementes, sulco de plantio, pulverização foliar	<i>M.i., M.j., P.b., H.g.</i>
<i>Bacillus velezensis</i>	CNPSo 3602	Arvatico	Syngenta	Tratamento de sementes	<i>M.i.</i>

(continua)

TABELA 1 – Informações sobre alguns dos principais produtos biológicos contendo bactérias do gênero *Bacillus* registrados e comercializados no Brasil para controle de fitonematoides.

Espécie(s)	Estirpe(s)	Nome do produto comercial	Empresa detentora do registro	Posicionamento	(conclusão)
					Nematoides alvos [§]
<i>B. amyloliquefaciens</i> + <i>B. velezensis</i> + <i>Bacillus</i> <i>thuringiensis</i>	CNPSO 3202 + CNPSO 3602 + CNPSO 3915	Biomagno	Biotrop	Tratamento de sementes, sulco de plantio, drench	<i>M.i.</i> , <i>M.j.</i> , <i>M.e.</i> , <i>P.b.</i> , <i>H.g.</i> , <i>R.r.</i>
<i>B. subtilis</i> + <i>Bacillus</i> <i>licheniformis</i>	FMCH002 + FMCH001	Presence, Fortmax	FMC Agrícola	Tratamento de sementes	<i>M.i.</i> , <i>P.b.</i>
<i>B. subtilis</i> + <i>B.</i> <i>licheniformis</i>	FMCH002 + FMCH001	Quartzo	FMC Agrícola	Sulco de plantio, drench	<i>M.i.</i> , <i>M.j.</i> , <i>M.g.</i> , <i>M.e.</i> , <i>P.b.</i> , <i>P.z.</i> , <i>R.s.</i> , <i>H.g.</i>
<i>B. subtilis</i> + <i>B.</i> <i>licheniformis</i> + <i>Paecilomyces</i> <i>lilacinus</i>	ATCC 6051 + ATCC 12713 + CPQBA 040-11 DRM 10	Profix	Agrivalle	Tratamento de sementes, sulco de plantio	<i>M.i.</i> , <i>P.b.</i>

Fonte: bulas dos produtos (2023) e Agrofit (2023).

[§] *M.i.* = *Meloidogyne incognita*, *M.j.* = *Meloidogyne javanica*, *M.g.* = *Meloidogyne graminicola*, *M.e.* = *Meloidogyne exigua*, *M.p.* = *Meloidogyne paranaensis*, *P.b.* = *Pratylenchus brachyurus*, *P.z.* = *Pratylenchus zaeae*, *H.g.* = *Heterodera glycine*, *R.s.* = *Radopholus similis*, *R.r.* = *Rotylenchulus reniformis*.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, as principais espécies de *Bacillus* utilizadas em bionematicidas no Brasil são *Bacillus amyloliquefaciens*, *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. firmus*, *B. velezensis*, *B. methylotrophicus* e *B. thuringiensis*. Estas espécies são utilizadas em 21 dos principais bionematicidas comercializados no mercado brasileiro atualmente. As principais formas de ação dos *Bacillus* contra fitonematoides são proteção física na rizosfera e rizoplano; proteção química, pela produção de enzimas, exotoxinas e metabólitos que têm atividade nematicida; modificação da dinâmica da rizosfera, dificultando o estabelecimento da relação de parasitismo dos fitonematoides nas plantas; aumento do vigor, promoção de crescimento e indução de resistência no vegetal, por meio da produção e liberação de fitormônios e moléculas sinalizadoras e melhoria do estado nutricional da planta. Alguns *Bacillus* podem ainda aumentar o vigor e a resistência da planta aos fitonematoides, por meio da produção e liberação de fitormônios. Os principais posicionamentos dos bionematicidas à base de *Bacillus* são via tratamento de sementes e via aplicação no sulco de plantio, o que é viável devido à alta viabilidade e capacidade de resistência dos endósporos comumente formados pelas bactérias deste gênero. Entretanto, também há produtos com registro para aplicação via drench e/ou pulverização foliar.

O interesse pelo desenvolvimento de novos bionematicidas à base de *Bacillus*, com novas espécies/estirpes e/ou novas formulações, é elevado devido à comprovação a campo da eficácia de bionematicidas contendo *Bacillus* e a consequente boa aceitação dessas biotecnologias por produtores, as perspectivas otimistas para o mercado de bionematicidas para esta década e o alinhamento que defensivos biológicos têm com a necessidade de se produzir mais ao passo em que se reduz os impactos ambientais e o uso de defensivos químicos. Desse modo, esforços significativos vêm sendo empregados em pesquisa e desenvolvimento de bionematicidas em universidades e instituições públicas e privadas. Nos próximos anos, o portfólio de bionematicidas a base de *Bacillus* disponível no mercado brasileiro deverá contar com mais tecnologias.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, M.; AHMED, N.; ZAKI, M.; SHUAKAT, S.; KHAN, D. Potential of *Bacillus* species against *Meloidogyne javanica* parasitizing eggplant (*Solanum melongena* L.) and induced biochemical changes. **Plant and Soil**, v.375, p.159-173, 2014.
- AGROFIT, MAPA. **Consulta aberta. Produtos técnicos**. 2023. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 28 de maio de 2023.
- AHMAD, G.; KHAN, A.; KHAN, A.A.; ALI, A.; MOHAMAD, H.I. Biological control: a novel strategy for de control of the plant parasitic nematodes. **Antonie van Leeuwenhoek**, v.114, p.885-912, 2021.
- ARAÚJO, F.F.; BRAGANTE, R.J.; BRAGANTE, C.E. Controle genético, químico e biológico de meloidoginose na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, p.220-224, 2012.
- ARAÚJO, F.F.; MARCHESI, G.V.P. Uso de *Bacillus subtilis* no controle da meloidoginose e na promoção do crescimento do tomateiro. **Ciência Rural**, v.39, p.1558-1561, 2009.
- ARAÚJO, F.R.; HENNING, A.A.; HUNGRIA, M. Phytohormones and antibiotics produced by *Bacillus subtilis* and their effects on seed pathogenic fungi and on soybean root development. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.21, p.1639-1645, 2005.
- ARITA, L.Y.; SILVA, S.A.; MACHADO, A.C.Z. Efficacy of chemical and biological nematicides in the management of *Meloidogyne paranaensis* in *Coffea arabica*. **Crop Protection**, v.131, n.105099, 2020.
- CRUZ, T.T.; ASMUS, G.L.; GARCIA, R.A. Espécies de Crotalária em sucessão à soja para o manejo de *Pratylenchus brachyurus*. **Ciência Rural**, v.50, n.e20190645, 2020.
- DIAS-ARIEIRA, C.R.; SANTANA-GOMES, S.M.; MIAMOTO, A.; MACHADO, A.C.Z. Manejo biológico de nematóides. In: MEYER, M.C.; BUENO, A.F.; MAZARO, S.M., SILVA, J.C. (Ed.) **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília: Embrapa, 2022. p.345-360.
- DINARDO-MIRANDA, L.L. **Nematoides e pragas da cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2014.
- HASHEM, A.; TABASSUM, B.; ABD_ALLAH, E.F. *Bacillus subtilis*: a plant-growth promoting rhizobacterium tha also impacts biotic stress. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v.26, p.1291-1297, 2019.
- HU, H.J.; CHEN, Y.L.; WANG, Y.F.; TANG, Y.Y.; CHEN, S.L.; YAN, S.Z. Endophytic *Bacillus cereus* effectively controls *Meloidogyne incognita* on tomato plants through

rapid rhizosphere occupation and repellent action. **Plant Disease**, v.101, p.448-455, 2017.

KRATOCHVIL, R.J.; SARDANELLI, S.; EVERTS, K.; GALLAGHER, E. Evaluation of crop rotation and other cultural practices for management of root-knot and lesion nematodes. **Agronomy Journal**, v.96, p.1419-1428, 2004.

MACHADO, A.C.Z. Current nematology threats to Brazilian agriculture. **Current Agricultural Science and Technology**, v.20, p.26-35, 2014.

MACHADO, A.C.Z. Bionematicides in Brazil: an emerging and challenging market. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v.28, p.35-49, 2022.

MACHADO, A.C.Z.; KANEKO, L.; PINTO, Z.V. Controle Biológico. *In*: GALBIERI, R.; BELOT, J.L. (Ed.) **Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle**. Cuiabá: Instituto Mato-grossense do Algodão, 2016. p.287-312.

MESA-VALLE, C.M.; GARRIDO-CARDENAS, J.A.; CEBRIAN-CARMONA, J.; TALAVERA, M.; MANZANO-AGUGLIARO, F. Global research on plant nematodes. **Agronomy**, v.10, n.1148, 2020.

MORGADO, T.D.T.; GUERRA, J.T.; ARAÚJO, F.F.; MAZZUCHELLI, R.C.L. Effectiveness and persistence of biological control of nematodes in sugarcane. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, p.4490-4495, 2015.

OLIVEIRA, C.M.G.; ROSA, J.M.O. **Nematoides parasitos do cafeeiro**. São Paulo: Boletim Técnico Instituto Biológico n. 32, 2018.

PINHEIRO, J.B. **Nematoides em hortaliças**. Brasília: Embrapa, 2017.

SILVA, A.S.; CUNHA, L.S.; PESCIM, R.R.; MACHADO, A.C.Z. Population dynamics of *Helicotylenchus dihystera* in cotton under greenhouse conditions. **Tropical Plant Pathology**, v.48, p.90-96, 2023.