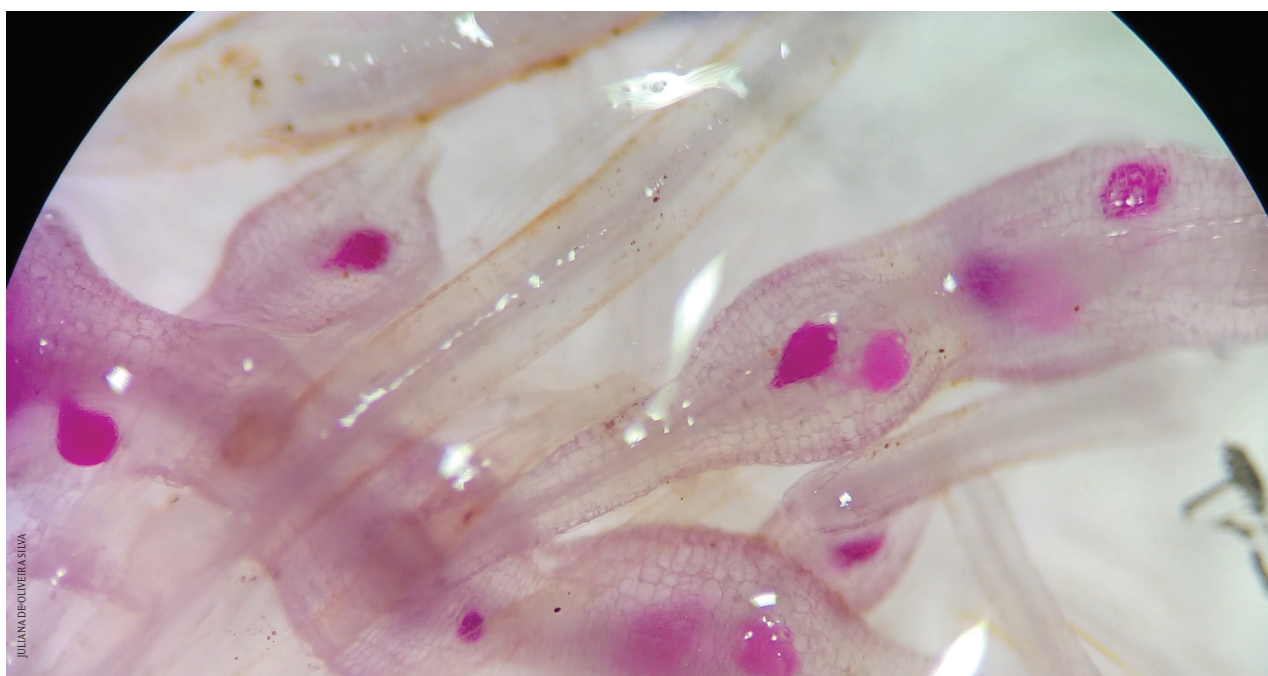


Impulso

Produtos biológicos possuem mecanismos amplos contra nematoides

Claudia Regina Dias-Arieira e Simone de Melo Santana-Gomes*



Fêmeas de *Meloidogyne incognita* no interior de raízes de tomateiro, coradas com fucsina ácida.

Os nematoides estão entre os principais causadores de danos à agricultura nacional e, de acordo com a pesquisa realizada em parceria entre AgroConsult, Syngenta e Sociedade Brasileira de Nematologia (SBN), estima-se que os prejuízos somados anualmente no país sejam superiores a R\$ 64 bilhões, sendo R\$ 27,7 bilhões somente na cultura da soja. Dentre os principais nematoides que acometem as culturas anuais estão os nematoides das galhas (*Meloidogyne javanica* e *M. incognita*), os nematoides

das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*), o nematoide de cisto da soja (*Heterodera glycines*) e o nematoide reniforme (*Rotylenchulus reniformis*). Não obstante, nos últimos anos houve aumento na ocorrência de *Helicotylenchus dihystera* em todas as regiões produtoras de soja e milho, e do nematoide da haste verde da soja (*Aphelenchoides besseyi*), causando danos severos à soja e ao algodão em algumas regiões do Cerrado. O manejo destes organismos é um desafio para o setor agrícola, especial-

mente devido ao fato de que comumente eles ocorrem em populações mistas e só são detectados quando a população já está muito elevada. Além disto, muitas espécies possuem ampla gama de hospedeiros, dificultando a adoção de sistemas de sucessão de culturas. Outro fator limitante é que o uso de resistência genética é dificultado pela característica dos genes de resistência ou pelo hábito alimentar de alguns nematoides. Desta forma, a proteção das plantas por meio da aplicação de nematicidas tem sido

um dos determinantes para o convívio com estes organismos.

No contexto dos nematicidas, sem dúvida o mercado de biológicos foi o que mais cresceu nos últimos anos e o Brasil conta atualmente, pouco mais de uma década desde o lançamento do primeiro bionematicida, com mais de 100 produtos registrados junto ao Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa). Pesquisa realizada pela consultoria Kynetec estima que o mercado nacional de bionematicida movimenta mais de R\$ 1,15 bilhões, o que corresponde a praticamente 40% dos bioinsumos comercializados no país, impulsionado, especialmente, pelas culturas da soja e da cana-de-açúcar. Os bionematicidas são compostos basicamente por fungos e bactérias e o determinante principal da eficiência não é a espécie, mas sim a cepa que compõe o produto (também chamada de isolado). Dentre os fungos nematófagos, citam-se *Purpureocillium lilacinum* (*Paecilomyces lilacinus*), *Pochonia chlamydosporia* e *Trichoderma* spp., enquanto as bactérias são, em maioria, pertencentes ao gênero *Bacillus*.

Os dois primeiros fungos são tipi-

camente parasitas de ovos e caracterizam-se pela elevada produção de quitinases, que agem destruindo a casca do ovo do nematoide (que é majoritariamente composta por quitina), impedindo a formação do embrião. No entanto, cepas destes fungos podem produzir outras enzimas, como proteases, cutinases e collagenases, que podem degradar a cutícula do corpo do nematoide. Além da ação parasitária, é comum que tais fungos produzam metabólitos tóxicos, agindo por antibiose, além de ativar os mecanismos de defesa natural da planta. Os fungos do gênero *Trichoderma*, por sua vez, são conhecidos pela ação de antibiose e pela indução de resistência. Contudo, vale mencionar que as espécies de *Trichoderma* são, caracteristicamente, parasitas de fungos e somente algumas cepas específicas atuam como nematicida.

Os produtos à base de bactérias lideram o mercado de bionematicidas, sendo a maioria deles compostos por cepas de espécies do gênero *Bacillus*. Tais bactérias possuem amplo mecanismo de controle sobre nematoides. O primeiro e mais conhecido é a formação do biofilme (Figura 1), que consiste no crescimento bacteriano associado ao rizoplane (região de superfície da raiz). Este crescimento forma uma barreira física, competindo com o nematoide por sítio de penetração e, assim, dificultando a entrada do patógeno. Ademais, o biofilme pode ser composto por substâncias químicas com efeito nematicida, incluindo quitinases, cutinases, collagenases e inúmeras proteases. Tais substâncias podem causar morte dos embriões no interior dos ovos e também de formas infectantes presentes no solo.

O crescimento dos fungos e das bactérias na região da rizosfera pode levar a alterações nos exsudatos radiculares, dificultando o reconhecimento do hospedeiro pelo nematoide. Além disto, tanto fungos quanto bactérias podem ter ação

de indução de defesa e promoção de crescimento de plantas, dando a elas maior vigor. Os organismos já mencionados são caracterizados pelo amplo espectro de ação sobre nematoides, controlando, em maior ou menor proporção, as espécies presentes na área tratada (área de contato com o agente biocontrolador). Contudo, o mercado também dispõe de um bionematicida à base da bactéria *Pasteuria nishizawae* que, diferente dos outros biocontroladores, é um organismo altamente específico e registrado para o manejo de *Heterodera glycines*. Tal bactéria é parasita obrigatório do nematoide de cisto da soja, não tendo qualquer atividade saprofítica (não se alimenta de resíduos orgânicos) no solo ou ação sobre outros nematoides.

Quando o assunto é manejo biológico de nematoides, um dos pontos mais relevantes é lembrar que, com exceção do nematoide de cisto da soja, as outras espécies que comumente ocorrem nas áreas de cultivo são nativas do Brasil e altamente adaptadas às condições edafoclimáticas do país; e, ainda, que se trata de organismos habitantes do solo que, por sua vez, é um ambiente complexo, tendente a manter em equilíbrio os organismos que o habitam ou que nele são introduzidos. Assim, deve-se lembrar que não há nenhum produto no mercado que vai eliminar os nematoides presentes na área. Os nematicidas mais eficientes (independentemente de serem químicos ou biológicos) conferem, em média, redução entre 60% e 80% da população do nematoide, em condições controladas, sendo difícil mensurar o real controle no campo, onde a principal variável indicadora da eficiência é o aumento na produtividade.

Quando se usa um nematicida biológico no campo, é importante atentar-se a uma série de características intrínsecas a seu manejo e promoção de seu crescimento. Assim, é comum que as plantas que recebem tratamento biológico apresentem maior retenção de co-

FIGURA 1. BIOFILME ORIUNDO DE *BACILLUS* SPP. AO REDOR DA SEMENTE E DA RAIZ DE SOJA



Fonte: Dias-Arieira, C. R. (2024).

tilédones, durante o estabelecimento da lavoura, além do maior vigor e melhor fechamento de estande. Além disto, tais plantas tendem a apresentar aumento no volume de raízes secundárias e na nodulação (Figura 2), o que confere maior resistência aos estresses abióticos. Não obstante, as plantas tratadas podem ter maior longevidade (Figura 3), aumentando o tempo de fotossíntese e de fixação biológica de nitrogênio, o que contribuirá diretamente para o aumento na produtividade.

Neste contexto, uma pergunta frequente é: qual o melhor nematicida biológico disponível no mercado? Em geral, os nematicidas registrados junto ao Mapa apresentam eficiência similares, quando colocados em condições controladas. Assim sendo, a escolha do produto dependerá das condições edafoclimáticas, dos sistemas de cultivo, assim como da tecnologia de aplicação, facilidade para o produtor e da assistência técnica. Na Figura 4, por exemplo, é possível ver que os nematicidas biológicos avaliados não diferiram entre si e que foram altamente eficientes em controlar *M. javanica* em soja, em relação à “testemunha”. Apesar da eficiência ter variado entre 84% e 96%, a diferença decorre das características intrínsecas às condições experimentais, e não quer dizer que um produto vai controlar mais do que o outro, no campo. Note-se, ainda, que alguns dos produtos avaliados neste ensaio eram compostos por cepa única e outros por cepas duplas, ou até mesmo por mistura de fungos e bactérias. De fato, o mercado dispõe, hoje, de vários produtos comerciais com mistura de cepas. Em geral, tais cepas têm efeito sinérgico e agem juntas para o controle eficiente do nematoide. Mas isso não quer dizer que tais produtos são mais eficientes do que aqueles de cepa isolada, conforme apontado na pesquisa.

Ainda neste contexto, outra questão recorrente é quanto ao residual dos produtos biológicos. Pouco tem sido

FIGURA 2. DESENVOLVIMENTO RADICULAR EM SOJA NÃO TRATADA (ESQUERDA) E TRATADA (DIREITA) COM *BACILLUS* SPP., EM ÁREA INFESTADA COM NEMATOIDES



Fonte: Dias-Arieira, C. R. (2022).

FIGURA 3. ÁREA TRATADA (ESQUERDA) E NÃO TRATADA (DIREITA) COM FUNGO QUITINOLÍTICO PARA O CONTROLE DE *MELOIDOGYNE* SPP.



Fonte: Dias-Arieira, C. R. (2019).

estudado a respeito deste tópico, mas é sabido que o controle biológico, associado às boas práticas culturais – especialmente com o uso de rotação de culturas e plantas de cobertura –, confere os melhores resultados (Figura 5). O uso de plantas de cobertura melhora as condições de estabelecimento dos fungos, que são caracteristicamente saprófitos no solo e usam os resíduos orgânicos como substrato de crescimento, aumentando sua população e, conseqüentemente, o controle do nematoide. As bactérias

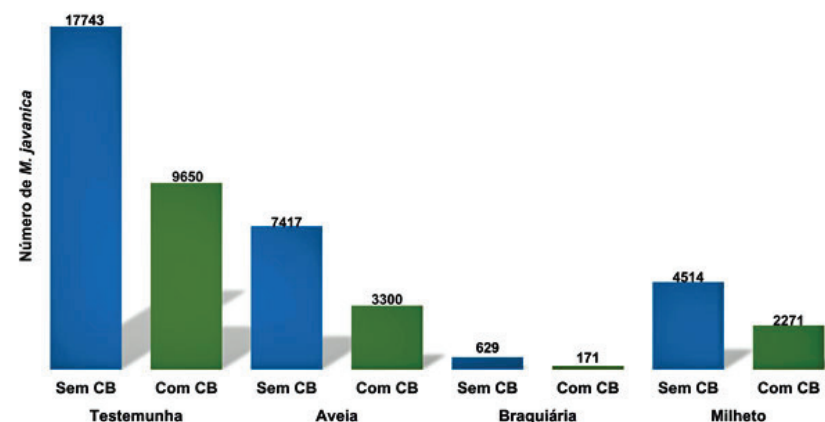
também são favorecidas por práticas conservacionistas, especialmente pelo aumento no volume de sistema radicular da planta cultivada, uma vez que o desenvolvimento do *Bacillus* está diretamente relacionado ao volume de raiz ou, melhor dizendo, ao rizoplane e à quantidade liberada de exsudatos. Desta forma, a falta de resíduo orgânico no solo compromete tanto o crescimento dos fungos (saprófitos), quanto das bactérias (habitantes do rizoplane). Soma-se a isto o fato de que, em solos

FIGURA 4. NÚMERO DE *MELOIDOGYNE JAVANICA* EM RAÍZES DE SOJA SOB DIFERENTES TRATAMENTOS BIOLÓGICOS DE SEMENTES



Fonte: Dias-Arieira, C. R. e Silva, M. T. R. (2022).

FIGURA 5. NÚMERO DE *MELOIDOGYNE JAVANICA* TOTAL EM RAÍZES DE SOJA NÃO TRATADA (SEM CB) E TRATADA (COM CB)



Fonte: Dias-Arieira, C. R. (2022). Obs.: Tratamento feito com *Purpureocillium lilacinum* + *Trichoderma harzianum* em cultivo sob palhada de plantas de cobertura.

pores, os organismos nativos são altamente competitivos e tendem a eliminar os organismos introduzidos.

Uma preocupação de muitos técnicos e produtores é quanto à compatibilidade entre produtos químicos e biológicos e, neste contexto, praticamente todos os bionematicidas do mercado apresentam compatibilidade com químicos; inclusive, alguns deles são indicados para tratamento industrial de sementes (TSI). Por outro lado, uma questão que tem intrigado pesquisadores é a compatibilidade entre biológicos. Nos últimos anos,

tem sido comum que empresas indiquem pacotes de tratamentos com até quatorze organismos vivos, incluindo nematicida, fungicida, disponibilizador de fósforo, redutor de estresse, fixador biológico de nitrogênio, coinoculantes etc. Este comportamento gera preocupação e impõe algumas questões. A primeira delas é saber se todos estes organismos têm a mesma competitividade de rizosfera e conseguem se estabelecer e desempenhar suas funções de forma mútua, sem competir entre si por espaço, alimento, O₂, ou outro fator limitante. Muitas vezes há,

nestes pacotes tecnológicos, organismos muito sensíveis a estresses e pouco competitivos no solo; ou seja, que podem ser eficientes em condições controladas, mas não conseguem se estabelecer sob alta competitividade ou ao efeito de antibiose. Em adição, muitos desses organismos são ativadores de rotas hormonais e/ou bioquímicas na planta, podendo gerar estresse fisiológico, comprometendo o estabelecimento do estande e a performance vegetativa e reprodutiva.

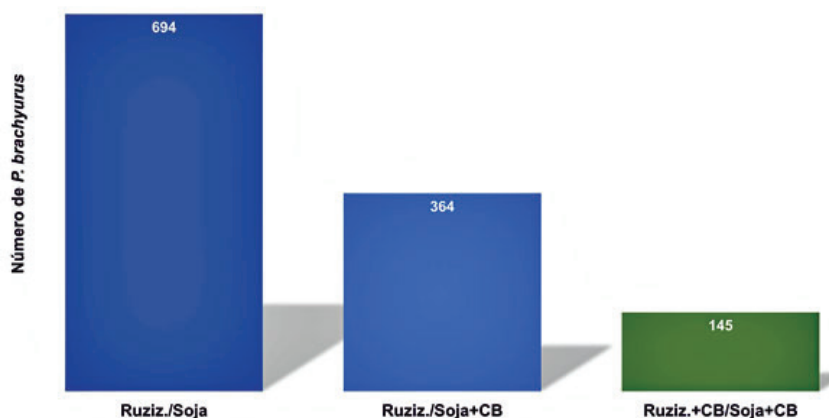
A tecnologia de aplicação é outro ponto crucial e, até o momento, não há produto nematicida com eficiência comprovada para aplicação foliar. A maioria dos bionematicidas é indicada para tratamento de sementes (TS) ou em sulco de semeadura. Isto porque é importante que o agente de biocontrole tenha vantagem competitiva sobre o nematoide; ou seja, implica que ele se estabeleça na raiz ou na rizosfera antes da chegada do patógeno. Entre estas duas modalidades de aplicação, desde que atendidas as indicações de dose e volume de calda indicados na bula, praticamente não há diferença na eficiência. No entanto, é necessário cuidado com a pressão de aplicação em sulco para que o produto fique o mais próximo possível da semente. Estudos a respeito do uso de nematicidas em pivô e barra, em sistemas “plante-aplique” ou “aplique-plante” têm sido conduzidos, mas ainda sem conclusões a respeito da real eficiência. Algumas empresas posicionam seus produtos para essas modalidades, desde que atendidos alguns cuidados como o tempo decorrente entre o plantio e a aplicação, que preferencialmente não deve ultrapassar três dias e em condições de temperatura e umidade do solo e do ambiente adequadas para que o produto chegue no local em que vai atuar, ou seja, nas raízes. Em adição, os produtos recomendados nessas modalidades de aplicação vêm como tratamento adicional ao controle via TS ou sulco. Por exemplo, faz-se o tratamento com nematicida biológico no plantio e uma nova

aplicação, aproximadamente, de 20 a 30 dias após a semeadura. Como já dito, a maioria destes trabalhos são empíricos e ainda carecem de comprovação científica sobre sua eficiência.

Um ponto crucial, no que tange ao manejo biológico de nematoides, é o cuidado com todas as plantas que são introduzidas no sistema de produção. Apesar de muitos produtores adotarem o tratamento biológico na safra (geralmente na soja), as culturas de sucessão, incluindo milho, pastagens, milheto, girassol, gergelim, entre outras, são introduzidas sem tratamento, possibilitando a multiplicação do nematoide e resultando em populações iniciais elevadas para a safra subsequente. Nas condições de população inicial (PI) elevada, os resultados de controle conferidos pelas nematicidas podem não ser suficiente para reduzir as populações abaixo do limiar de dano econômico. Ressalta-se que isto não ocorre em função da menor eficiência do produto, mas sim do descuido com as culturas de sucessão. Para melhor entender tal processo, pode-se simular uma situação em que uma área tenha uma PI de 1.000 nematoides e o nematicida biológico aplicado possua eficiência próxima a 70%. Assim, considerando a redução conferida pelo produto, a planta ficará exposta a uma PI de 300 nematoides. No entanto, se a eficiência do produto for a mesma, mas a PI for de 10.000 nematoides, após o tratamento, haverá uma população remanescente de 3.000 nematoides.

Desta forma, pesquisas têm sido conduzidas para mostrar a importância no uso sequencial de biológicos em todas as plantas que entram no sistema de produção. Na Figura 6, por exemplo, é possível observar que, quando as plantas em sucessão foram tratadas, a população de nematoides reduziu gradativamente. Neste caso, quando somente a soja foi tratada, houve redução de 48%, enquanto no tratamento da *U. ruziziensis* e da soja, o controle chegou a 79%.

FIGURA 6. NÚMERO TOTAL DE PRATYENCHUS BRACHYURUS EM SOJA APÓS CULTIVO DE UROCHLOA RUZIZIENSIS, COM OU SEM O TRATAMENTO SEQUENCIAL COM POCHONIA CHLAMYDOSPORIA (CB)



Fonte: Dias-Arieira, C. R. (2019).

Por fim, é muito importante que o controle biológico de nematoides não seja visto de forma isolada, mas compondo o sistema de manejo integrado. Quando se pensa em reduzir populações de nematoide, a melhor opção é, ainda, introduzir plantas redutoras de populações, incluindo espécies antagonistas, não hospedeiras ou más hospedeiras de nematoides. No entanto, independente da reação destas plantas, recomenda-se que elas também sejam tratadas com os nematicidas, pensando no manejo integrado e no manejo de populações mistas. Em adição, os resíduos orgânicos oriundos do cultivo de plantas de cobertura tornarão os solos mais “hospícios” aos agentes de biocontrole, além de oferecer melhores condições edáficas para o desenvolvimento da planta hospedeira. Vale ressaltar que o sucesso no manejo de nematoides se inicia pelo levantamento populacional de espécies presentes na área e planejamento de médio a longo prazo.

***Claudia Regina Dias-Arieira** (crdariaeira@uem.br) é professora de Fitopatologia, com ênfase em manejo de nematoides, na Universidade Estadual de Maringá (UEM); **Simone de Melo Santana-Gomes** (sms.nema@gmail.com) é Doutora em Agronomia pela UEM, com ênfase em nematologia agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROFIT. Consulta Aberta. Agrofit, 2024. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 20 maio 2024.
- CAMPOS, F. Valor do mercado de bionematicidas duplica em oito safras. *Revista Cultivar*, 2023. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/valor-do-mercado-de-nematicidas-decuplica-em-oito-safras>. Acesso em: 20 maio 2024.
- DIAS-ARIEIRA, C. R.; SANTANA-GOMES, S. M.; MIAMOTO, A.; MACHADO, A. C. Z. Manejo biológico de nematoides. In: MEYER, M. C.; FREITAS BUENO, A.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (Eds.). *Bioinsumos na cultura da soja*. Brasília: Embrapa, 2022, p. 345-358.
- FAVORETO, L.; MEYER, M. C.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; MACHADO, A. C. Z.; SANTIAGO, D. C.; RIBEIRO, N. R. Diagnóstico e manejo de fitonematoides na cultura da soja. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 40, n. 306, 2019, p.18-29.
- FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. *Nematologia de plantas: fundamentos e importância*. Manaus: Norma, 2016. 251 p.
- GOTTEMS, L. Mercado de nematicidas para cana cresce 50%. *Portal Syngenta*, 2024. Disponível em: <https://portal.syngenta.com.br/nematoides/>. Acesso em: 15 maio 2024.
- ROCHA, M. R.; DIAS-ARIEIRA, C. R. Principais nematoides em grandes culturas. In: DIAS-ARIEIRA, C. R.; ARAÚJO, F. G.; MACHADO, A. C. Z. (Eds.). *Manejo de nematoides em grandes culturas*. Piracicaba: NPCT, 2023, p. 33-49.
- SYNGENTA. Nematoides: os inimigos ocultos no solo. *Portal Syngenta*, 2022. Disponível em: <https://portal.syngenta.com.br/nematoides/>. Acesso em: 15 abr. 2024.