
Importância dos fitonematoides na agricultura



1

EVERALDO ANTÔNIO LOPES

SILAMAR FERRAZ

1. Considerações preliminares

“A elegância do movimento de alguns seres habitantes do solo é raramente encontrada em outros organismos vivos, sendo comparável com o deslizar das serpentes [...] As complexas formas de suas marcas corporais, de sua cabeça e de outras partes poderiam até serem usadas como modelo no desenho de vestidos femininos. Nada de sua graça e beleza é sugerida por um nome que carrega o estigma de verme”. “Eles ocorrem em desertos áridos e no fundo de lagos e rios, na água de fontes termais e mares polares, onde a temperatura está constantemente abaixo do ponto de congelamento [...] nas profundezas de lagos nos Alpes e do oceano [...] às vezes ovos e larvas são tão resistentes à seca [...] diversidade de habitats [...] imaginavelmente abundantes”. As fascinantes criaturas descritas por Benjamin G. Chitwood (ERIKSSON, 2008) e Nathan A. Cobb (FERRIS e MELAKEBERHAN, 2008), respectivamente, são uns dos mais diversificados animais encontrados no planeta Terra – os nematoides. Estima-se que aproximadamente 7,5 bilhões de nematoides podem ser encontrados em um hectare de solo, considerando a profundidade de 20 cm (DECRAEMER e HUNT, 2006). A maioria se alimenta de bactérias, fungos e outros microrganismos, desempenhando papel importante no equilíbrio dos ecossistemas. No entanto, aproximadamente 4.100 espécies de nematoides são capazes de parasitar plantas

(DECRAEMER e HUNT, 2006) – comumente denominados fitonematoides.

A primeira menção científica associada aos fitonematoides ocorreu em 1743, quando o reverendo britânico John Tuberville Needham relatou à Sociedade Real de Londres a presença de animais aquáticos em grãos de trigo. O nematoide em questão era *Anguina tritici* (= *Vibrio tritici*) (DUNCAN e MOENS, 2013). Nas décadas seguintes, a etiologia de várias doenças causadas por nematoides foi elucidada (ERIKSSON, 2008). Todavia, o reconhecimento do papel dos nematoides como importantes fatores limitantes à produção agrícola ocorreu a partir das décadas de 1930 e 1940 (MANZANILLA-LÓPEZ et al., 2004; RAVICHANDRA, 2014), principalmente em função da expansão das áreas de cultivo e do aumento da demanda por alimentos, acentuados após a Segunda Guerra Mundial. Muitos fatores contribuíram para o reconhecimento tardio da relevância desses patógenos. Os nematoides são organismos diminutos, com comprimento variando de 0,2 a 12 mm – no caso de indivíduos dos gêneros *Paratylenchus* e *Paralongidorus*, respectivamente; a maioria das espécies passa todo o seu ciclo de vida no solo e parasitam as raízes, oculto aos olhos dos agricultores; os sintomas induzidos em plantas infectadas são inespecíficos e podem ser confundidos com outras causas, como, por exemplo, nanismo,

murcha e deficiência nutricional; a dispersão depende principalmente do transporte de solo ou de materiais de plantio com o patógeno (FERRAZ et al., 2010).

A maioria dos nematoides é habitante do solo e parasita raízes, bulbos e tubérculos. Nematoides semi-endoparasitos e ectoparasitos introduzem a parte anterior do corpo ou apenas o estilete, respectivamente, nas células vegetais e delas retiram seus nutrientes. Os gêneros *Rotylenchulus*, *Tylenchulus*, *Helicotylenchus*, *Xiphinema*, *Belonolaimus*, *Longidorus*, *Trichodorus* e *Hemicycliophora* são exemplos de nematoides desses grupos. Por sua vez, os nematoides endoparasitos invadem completamente as raízes, alimentando-se das células e migrando no interior dos tecidos radiculares (*Pratylenchus*, *Radopholus* e *Hirschmanniella*) ou estabelecendo sítios especializados de alimentação (*Meloidogyne*, *Heterodera* e *Globodera*). De forma geral, as plantas parasitadas ficam enfraquecidas em razão da retirada de nutrientes pelos fitonematoides. Os ferimentos, as lesões e a formação de sítios de alimentação próximos dos tecidos vasculares reduzem a capacidade das raízes em absorver água e nutrientes. Consequentemente, a parte aérea não se desenvolve normalmente, com redução na produção e, em alguns casos, culminando com a morte da planta. Além disso, as culturas em que os órgãos subterrâneos são comercializados podem sofrer drástica redução na produção quando atacadas por nematoides, uma vez que os sintomas resultantes da ação do patógeno depreciam o produto. Lesões de *Pratylenchus* spp. em batata e deformações in-

duzidas por *Meloidogyne* spp. em raízes de cenoura, batata e beterraba são exemplos de danos qualitativos causados por nematoides em produtos agrícolas (BRIDGE e STARR, 2007).

Alguns fitonematoides parasitam a parte aérea das plantas, também resultando diretamente na redução da produção das culturas, como, por exemplo, espécies de *Aphelenchoides*, *Bursaphelenchus* e *Anguina*. Folhas de arroz infectadas por *Aphelenchoides besseyi* apresentam as pontas brancas e retorcidas e os grãos são menores em tamanho e peso. Coqueiros infectados por *Bursaphelenchus cocophilus* apresentam sintomas de amarelecimento das folhas a partir das pontas, seguida de queda prematura de folhas e frutos e do surgimento de lesões escuras no pecíolo. Quando a doença evolui, as folhas quebram-se na base e ficam presas ao estipe, formando uma “saia” ao seu redor. Cortando-se o coqueiro logo acima do solo, observa-se um anel de cor vermelha escura, com aproximadamente três centímetros de largura, localizado a cerca de cinco centímetros da casca. Por esta razão, esta doença é conhecida como “anel vermelho” (FERRAZ et al., 2010).

Os nematoides também podem indiretamente causar danos às culturas agrícolas ao atuarem como agentes de predisposição ou vetores de outros patógenos. Assim, discutiremos neste capítulo a importância dos fitonematoides para a agricultura considerando os danos e as perdas que causam para as principais culturas, incluindo os riscos de introdução de nematoides quarentenários e a interação com outros patógenos.

2. Prejuízos causados por fitonematoides

Os nematoides causam perdas nas principais culturas de importância econômica ou de subsistência em todos os continentes. Alguns são cosmopolitas e polípagos, tal qual o nematoide de galhas (*Meloidogyne* spp.), enquanto outros ocorrem em poucos locais, como espécies de *Nacobbus*, ou possuem gama de hos-

pedeiros restrita, como *Heterodera carotae*, que parasita apenas cenoura (RAVICHANDRA, 2014). Os nematoides podem inviabilizar o cultivo em áreas infestadas, causando nomadismo de culturas suscetíveis. Na região do Alto Paranaíba (Minas Gerais), áreas infestadas com nematoide de galhas podem permanecer três a

quatro anos sem serem cultivadas com cenoura, batata ou beterraba. O abandono de áreas de produção de goiaba devido ao ataque de *M. enterolobii* tem sido frequente no Brasil, desde os primeiros relatos da presença do patógeno no país (CARNEIRO et al., 2001). A aplicação de nematicidas em áreas infestadas contribui para a contaminação ambiental e a intoxicação de seres humanos e outros animais. Esses fatores são suficientes para posicionar os nematoides como um dos principais patógenos agrícolas. Se a importância dos fitonematoides é inquestionável, também parece ser consenso entre os nematologistas que as estimativas de perdas causadas por esses patógenos disponíveis na literatura retratam um cenário um pouco mais ameno do que a realidade (DECRAEMER e HUNT, 2006; McCARTER, 2009; NICOL et al., 2011; JONES et al., 2013; ONKENDI et al., 2014). A dificuldade na diagnose dos nematoides contribui para agravar o quadro.

A similaridade morfológica/morfométrica e o tamanho reduzido dos nematoides limita a identificação taxonômica por meio de técnicas usando microscopia de luz (OLIVEIRA et al., 2011), ainda comumente usadas em procedimentos de rotina. Nas últimas décadas, avanços na área de biotecnologia contribuíram para aumentar a rapidez e a acurácia da diagnose de nematoides usando técnicas moleculares, como a reação em cadeia da polimerase (PCR) e suas variações e a amplificação isotérmica mediada por loop (LAMP). A crescente redução dos custos envolvendo os métodos moleculares pode contribuir para que a integração entre a diagnose clássica e molecular seja mais comum em rotinas laboratoriais. Consequentemente, será possível compreender de forma mais realista a correlação entre as anomalias na planta e a ação dos nematoides e estabelecer medidas de manejo mais eficientes.

A escassez de recursos financeiros e técnicos também dificulta a realização de levantamentos detalhados sobre as perdas causadas pelas nematoses, especialmente em países em desenvolvimento (DE WAELE e ELSSEN, 2007;

ONKENDI et al., 2014). Em escala global, uma das poucas estimativas disponíveis em relação às perdas causadas pelos nematoides foi publicada no final da década de 1980 (SASSER e FRECKMAN, 1987). O trabalho se baseou em um questionário respondido por 371 nematologistas de vários países e revelou que as perdas decorrentes da ação de nematoides variam entre 20,6% na cultura do tomateiro e 3,3% em centeio, com média de 12,3% (Tabela 1). Considerando os valores da época e projeções monetárias mais recentes, as perdas anuais são de US\$ 78 – 125 bilhões (SASSER e FRECKMAN, 1987; McCARTER, 2009).

Vale ressaltar que muitas culturas não foram incluídas no levantamento, por exemplo, essências florestais, gramados e muitas espécies frutíferas e olerícolas. É o caso do jaborandi (*Pilocarpus microphyllus*). Trata-se de uma planta medicinal que produz o alcaloide pilocarpina, sintetizado nas raízes e translocado para as folhas, de onde é extraído e comercializado na forma de colírio para o tratamento de glaucoma. Segundo Freitas et al. (2009), jaborandi plantado no estado do Maranhão, em condições de alta temperatura, solo arenoso e irrigação, foi severamente prejudicado por *M. javanica*. O ataque resultou em menor desenvolvimento das plantas e queda no teor de pilocarpina das folhas coletadas, comprometendo a produção do medicamento.

Deve-se considerar também que o número de nematologistas de regiões tropicais que participou da pesquisa foi bem menor do que o de regiões temperadas. As condições ambientais conducentes para a maioria das espécies de fitonematoides nas regiões tropicais contribuem para que os prejuízos causados por esses patógenos sejam maiores do que em regiões mais frias (DE WAELE e ELSSEN, 2007; ONKENDI et al., 2014). Assim, o menor número de nematologistas em países em desenvolvimento localizados nos trópicos pode ter limitado a percepção mais ampla do impacto do patógeno na agricultura local. No Brasil, por exemplo, 17 nematologistas responderam ao questionário,

enquanto que, em todo o continente africano, 35 profissionais colaboraram, representando 12 países. Em contraste, 133 cientistas dos Estados Unidos contribuíram com a pesquisa. No entanto, ainda que subestimadas, as perdas anuais atribuídas aos nematoides são elevadas. Em um total de 185 países, 126 (68%) tiveram o produto interno bruto (PIB) inferior a US\$ 125 bilhões em 2013, a exemplo de Angola, Bolívia, Bulgária, Costa do Marfim, Croácia, Equador, Gana, Guatemala, Marrocos, Paraguai, Quênia, Porto Rico, Sérvia e Uruguai (THE WORLD

BANK, 2013). Apesar disso, a quantidade de recurso financeiro destinado ao ensino, pesquisa e extensão em nematologia é bem menor do que o valor perdido, sendo inferior a 0,2% – US\$ 125 milhões (SASSER e FRECKMAN, 1987). É razoável supor que esse cenário condiz com o atual momento do financiamento científico em nematologia no mundo e que o aumento no investimento nessa área reduziria as perdas, devido ao maior número de alternativas de controle de nematoides e de recursos humanos capacitados para lidar com o problema.

Tabela 1. Estimativas de perdas anuais causadas por fitonematoides em culturas agrícolas em todo o mundo.

Perdas anuais (%)			
Tomate	20,6	Milheto	11,8
Quiabo	20,4	Plantas Ornamentais	11,1
Banana	19,7	Beterraba açucareira	10,9
Inhame	17,7	Feijão	10,9
Coco	17,1	Goiaba	10,8
Berinjela	16,9	Algodão	10,7
Cana-de-açúcar	15,3	Soja	10,6
Caupi	15,1	Cacau	10,5
Mamão	15,1	Batata doce	10,2
Café	15,0	Milho	10,2
Abacaxi	14,9	Arroz	10,0
Fumo	14,7	Mandioca	8,4
Citrus	14,2	Chá	8,2
Melão	13,8	FORAGEIRAS	8,2
Grão de bico	13,7	Trigo	7,0
Guandu	13,2	Sorgo	6,9
Videira	12,5	Cevada	6,3
Batata	12,2	Aveia	4,2
Pimenta	12,2	Centeio	3,3
Amendoim	12,0	Outras culturas	17,3
Média		12,3%	

Fonte: Adaptado de Sasser e Freckman (1987).

Quais fitonematoides são os mais importantes? Para responder essa pergunta, recorreremos novamente a pesquisas de opinião também envolvendo nematologistas de todo o mundo. A primeira foi o próprio levantamento realizado por Sasser e Freckman (1987), onde os 371 pesquisadores também listaram os cinco principais

gêneros de nematoides em sua área geográfica. Mais recentemente, outro levantamento foi realizado com o mesmo propósito e contou com a participação de 225 nematologistas de todo o mundo (JONES et al., 2013). Em ambos os casos, os votos foram agrupados, resultando em uma lista dos 10 nematoides mais importantes

para a agricultura (Tabela 2). Sasser e Freckman (1987) agruparam os nematoides em gêneros, enquanto os ‘top 10’ de Jones et al. (2013) incluíram um a dois gêneros agrupados em uma

mesma posição (nematóide de galhas - *Meloidogyne* spp., nematóide das lesões - *Pratylenchus* spp., ou nematóide de cistos - *Heterodera* spp. e *Globodera* spp.) ou espécies individualizadas.

Tabela 2. Principais fitonematoides de importância econômica, segundo a opinião de nematologistas de todo o mundo.

Os nematoides mais importantes, segundo 371 nematologistas (Sasser e Freckman, 1987)		Os nematoides mais importantes, segundo 225 nematologistas (Jones et al., 2013)	
1º	<i>Meloidogyne</i>	1º	<i>Meloidogyne</i> spp.
2º	<i>Pratylenchus</i>	2º	<i>Heterodera</i> spp. e <i>Globodera</i> spp.
3º	<i>Heterodera</i>	3º	<i>Pratylenchus</i> spp.
4º	<i>Ditylenchus</i>	4º	<i>Radopholus similis</i>
5º	<i>Globodera</i>	5º	<i>Ditylenchus dipsaci</i>
6º	<i>Tylenchulus</i>	6º	<i>Bursaphelenchus xylophilus</i>
7º	<i>Xiphinema</i>	7º	<i>Rotylenchulus reniformis</i>
8º	<i>Radopholus</i>	8º	<i>Xiphinema index</i>
9º	<i>Rotylenchulus</i>	9º	<i>Nacobbus aberrans</i>
10º	<i>Helicotylenchus</i>	10º	<i>Aphelenchoides besseyi</i>

De forma geral, as listas são similares, principalmente nas cinco primeiras posições, em que aparecem os gêneros *Meloidogyne*, *Heterodera*, *Globodera*, *Pratylenchus* e *Ditylenchus* (Tabela 2). As principais diferenças são observadas na ordem de importância no ranking e a inclusão de dois a três nematoides exclusivamente em um dos dois levantamentos. No trabalho de Sasser e Freckman (1987), *Tylenchulus* e *Helicotylenchus* foram listados entre os mais importantes; no entanto, eles não aparecem entre os mais relevantes no trabalho de Jones et al. (2013). Por sua vez, *Nacobbus aberrans*, *Aphelenchoides besseyi* e *Bursaphelenchus xylophilus* passaram a figurar com destaque no cenário nematológico recente (JONES et al., 2013), principalmente em função dos danos que causam em hortaliças no continente americano, em arroz na Ásia e em pinus na Ásia e na Europa.

O consenso óbvio entre os trabalhos é a primeira posição do nematóide de galhas (*Meloidogyne* spp.) entre os mais importantes. Esse patógeno está disperso em vários ambientes em todo o mundo, causando per-

das em todas as principais culturas agrícolas. A importância desses nematoides para a agricultura europeia e africana foram revistos por Wesemael et al. (2011) e Onkendi et al. (2014). Aproximadamente 100 espécies são conhecidas dentro do gênero (JONES et al., 2013) e a maioria possui ampla gama de hospedeiros. Os danos causados por nematoides variam em função da densidade inicial do patógeno no solo, da suscetibilidade do hospedeiro e das condições ambientais (SCHOMAKER e BEEN, 2006; GRECO e DI VITO, 2009). No entanto, em muitos casos, poucos ovos e, ou juvenis de segundo estágio do nematóide de galhas no solo na época da implantação da cultura são suficientes para reduzir a produção a níveis não econômicos. Greco e Di Vito (2009), por exemplo, compilaram dados do limite de tolerância de 30 culturas a seis espécies de nematoides de galhas (*M. incognita*, *M. javanica*, *M. chitwoodi*, *M. exigua*, *M. hapla* e *M. artiellia*) e os valores variaram entre 0,01 e 10 ovos cm⁻³ de solo nos patossistemas *M. artiellia* – (grão-de-bico) e *M. incognita* – (milho), respectivamente (DI

VITO et al., 1980; DI VITO e GRECO, 1988). Em 68% dos casos, a tolerância da cultura foi menor do que 1 ovo cm⁻³ de solo.

A principal espécie do gênero é *Meloidogyne incognita* (TRUDGILL e BLOK, 2001), responsável por danos em mais de 3.000 espécies vegetais (CASTAGNONE-SERENO, 2002), especialmente em regiões tropicais. *Meloidogyne javanica* e *M. arenaria* também são espécies relevantes em locais mais quentes. Por sua vez, *M. hapla* é um dos principais patógenos agrícolas em regiões temperadas. Os sequenciamentos dos genomas de *M. incognita* (ABAD et al., 2008) e *M. hapla* (OPPERMAN et al., 2008) revelaram aspectos importantes dessas espécies, relacionados com suas habilidades de adaptação e de parasitismo (KIDWELL e LISCH, 2000). O genoma de *M. incognita* possui 86 Mb, 19.212 genes e é composto por 36% de elementos transponíveis, enquanto que o de *M. hapla* possui 54 Mb, 14.420 genes e 12% de elementos transponíveis (CASTAGNONE-SERENO et al., 2013). A ausência de meiose em *M. incognita* – espécie partenogenética mitótica obrigatória – poderia explicar a diferença na estrutura do genoma e no número de elementos transponíveis, em comparação com populações partenogenéticas meióticas de *M. hapla* - (CASTAGNONE-SERENO et al., 2013; LOPES et al., 2014). Ambos os nematoides possuem muitos genes relacionados à codificação de enzimas degradadoras de parede celular de plantas. Provavelmente, tais genes foram adquiridos via transferência horizontal a partir de bactérias e fungos (DANCHIN et al., 2010). Assim, a duplicação do genoma completo (poliploidização) e a transferência horizontal de genes são mecanismos que geraram variabilidade genética em *M. incognita* e outras espécies do nematoide das galhas, tornando-os patógenos tão eficientes (CASTAGNONE-SERENO et al., 2013; LOPES et al., 2014).

Na relação dos 10 nematoides mais importantes para a agricultura de Jones et al. (2013), o nematoide de cisto da batata (*Globodera rostochiensis* e *G. pallida*), o falso-

-nematoide de galhas (*N. aberrans*) e o nematoide da madeira do pinheiro (*B. xylophilus*) ainda não estão presentes no Brasil (Tabela 3), sendo, portanto, consideradas pragas quarentenárias ausentes (ou A1). Devido ao maior potencial de perdas ao agronegócio brasileiro, enfatizaremos os dois primeiros. Informações detalhadas sobre *B. xylophilus* podem ser encontradas em Futai (2013).

O principal nematoide quarentenário em todo o mundo é o nematoide de cisto da batata (HOCKLAND et al., 2012). Estima-se que ele cause perdas em batata no Reino Unido correspondentes a US\$ 70 milhões ou aproximadamente 9% da produção britânica desse tubérculo (TURNER e ROWE, 2006). A América do Sul é o centro de origem da batateira e do nematoide, que já foi relatado na Argentina, Bolívia, Chile, Equador, Colômbia, Peru e Venezuela (BRODIE, 1998; FRANCO et al., 1998; LAX et al., 2005; LAX et al., 2014).

O falso nematoide de galhas (*Nacobbus aberrans*) é outro exemplo de patógeno que deve ser mantido longe de nossas fronteiras. É um nematoide polífago, capaz de parasitar várias culturas, especialmente hortaliças, como, por exemplo, batata, beterraba, cenoura, nabo, tomate, pimenta e rabanete. No total, 84 espécies de plantas, distribuídas em 18 gêneros, são consideradas hospedeiras desse nematoide. O nematoide está disperso na Argentina e em outros países da América do Sul. As perdas causadas por *N. aberrans* são estimadas em 65% no caso da produção de batata nos países andinos; em 55% e 36% para tomate e feijão, respectivamente, no México; e em 10-20% para beterraba açucareira nos Estados Unidos (MANZANILLA-LÓPEZ et al., 2002).

O fluxo de produtos agrícolas entre os países para fins comerciais e de pesquisa representa um constante risco de introdução de patógenos de importância quarentenária. No Brasil, milhares de materiais genéticos são importados de diversas partes do mundo para utilização em programas de melhora-

mento (BATISTA et al., 1998). Para ilustrar o risco de introdução de nematoides quarentenários, entre 4 a 5% dos acessos analisados pelo Laboratório de Nematologia da Área de Intercâmbio e Quarentena de Germoplasma Vegetal da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (CENARGEN) estavam infectados com nematoides (TENENTE et al., 1993; TENENTE et al., 2000). Os principais nematoides encontrados foram *Aphelenchoides besseyi*, *Ditylenchus dipsaci* e espécies de

Anguina, *Pratylenchus*, *Tylenchus*, *Meloidogyne*, *Xiphinema* e *Globodera*. O treinamento de nematologistas em taxonomia clássica e molecular, a padronização de protocolos em escala global e a fiscalização adequada na entrada de materiais vegetais são fundamentais para conter a introdução de nematoides em áreas isentas (NICOL et al., 2011), principalmente em condições tropicais, que são condúctivas à maioria das principais espécies do patógeno (JONES et al., 2013).

Tabela 3. Lista de nematoides considerados pragas quarentenárias ausentes (A1) para o Brasil.

Espécie		
<i>Anguina agrostis</i>	<i>Heterodera cajani</i>	<i>Nacobbus dorsalis</i>
<i>Anguina pacificae</i>	<i>Heterodera ciceri</i>	<i>Pratylenchus crenatus</i>
<i>Anguina tritici</i>	<i>Heterodera goettingiana</i>	<i>Pratylenchus fallax</i>
<i>Belonolaimus longicaudatus</i>	<i>Heterodera mediterranea</i>	<i>Pratylenchus goodeyi</i>
<i>Bursaphelenchus mucronatus</i>	<i>Heterodera oryzae</i>	<i>Pratylenchus scribneri</i>
<i>Bursaphelenchus xylophilus</i>	<i>Heterodera oryzicola</i>	<i>Pratylenchus thornei</i>
<i>Criconema mutabile</i>	<i>Heterodera punctata</i>	<i>Punctodera chalcoensis</i>
<i>Ditylenchus africanus</i>	<i>Heterodera sacchari</i>	<i>Radopholus similis</i> (raça citros) (= <i>R. citrophilus</i>)
<i>Ditylenchus angustus</i>	<i>Heterodera schachtii</i>	<i>Rotylenchulus parvus</i>
<i>Ditylenchus destructor</i>	<i>Heterodera trifolii</i>	<i>Subanguina radicolica</i>
<i>Ditylenchus dipsaci</i> (exceto as raças do alho)	<i>Heterodera zeae</i>	<i>Xiphinema diversicaudatum</i>
<i>Globodera pallida</i>	<i>Meloidogyne chitwoodii</i>	<i>Xiphinema italiae</i>
<i>Globodera rostochiensis</i>	<i>Meloidogyne fallax</i>	<i>Xiphinema rivesi</i>
<i>Heterodera avenae</i>	<i>Nacobbus aberrans</i>	

Fonte: MAPA (2015).

Os nematoides que completam a relação dos mais importantes pertencem aos gêneros *Pratylenchus*, *Heterodera*, *Ditylenchus*, *Radopholus*, *Tylenchulus*, *Rotylenchulus*, *Aphelenchoides* e *Xiphinema*. O nematoide das lesões, com destaque para a espécie *P. brachyurus*, é atualmente um dos principais entraves à produção agrícola no Brasil, especialmente em cultivos de soja, algodão e milho em áreas de Cerrado (MACHADO, 2014). Em soja, as perdas causadas pelo nematoide podem atingir 30-50% (ANTONIO et al., 2012). Densidades populacionais de *P. brachyurus*

antes do plantio superiores a 200 e 2400 nematoides por 100 cm³ de solo comprometem o crescimento e a produção de soja e algodão, respectivamente (MACHADO et al. 2006; INOMOTO et al., 2010). Dentre as espécies de *Heterodera*, apenas os nematoides de cisto da soja (*Heterodera glycines*) e da figueira (*H. fici*) são encontrados no Brasil (MONTEIRO et al., 1977; BRANCALION et al., 1981; LIMA et al., 1992; LORDELLO et al., 1992; MONTEIRO e MORAIS, 1992). O nematoide de cisto da soja tem sido um dos principais patógenos da cultura desde os primeiros relatos da sua

presença no país na safra 1991/1992 (LIMA et al., 1992; LORDELLO et al., 1992; MONTEIRO e MORAIS, 1992). Nos Estados Unidos, as perdas anuais causadas pelo nematoide são superiores a US\$ 1,5 bilhão (CHEN et al., 2012) e os níveis de dano foram estimados em 699 ovos e juvenis ou 12 cistos viáveis por 250 cm³ de solo (NOEL, 1984).

Rotylenchulus reniformis parasita mais de 350 espécies de plantas, incluindo hortaliças, fruteiras, ornamentais, leguminosas e plantas fibrosas. No Brasil, o nematoide é um patógeno importante nas culturas da soja e, principal-

mente, do algodoeiro, cujas perdas podem ir a 60 - 74% (ALMEIDA et al., 2003; ASMUS, 2004). *Radopholus similis*, *Tylenchulus semipenetrans*, *Aphelenchoides besseyi*, *Xiphinema index* e *Ditylenchus dipsaci* são nematoides que causam prejuízos às culturas da bananeira, citros, arroz, videira e alho, respectivamente, inclusive no Brasil. Informações complementares sobre a importância e a diagnose de *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Aphelenchoides*, *Xiphinema*, *Heterodera*, *Rotylenchulus*, *Radopholus* e *Tylenchulus* podem ser encontradas nos Capítulos 3 a 10 deste livro.

3. Interações com outros patógenos

Além de causarem danos às plantas por si só, os fitonematoides também interagem com outros patógenos, aumentando a predisposição da planta a outros agentes patogênicos, participando de complexos etiológicos ou atuando como vetores, principalmente de fitovírus. Com isso, torna-se difícil avaliar com acurácia o impacto dos fitonematoides na redução da produção agrícola (MANZANILLA-LÓPEZ et al., 2004). Recomenda-se a leitura de Eisenback e Griffin (1987), Khan (1993), Back et al. (2002) e Manzanilla-López e Starr (2009) aos interessados em informações complementares sobre as interações patogênicas envolvendo nematoides.

Associações entre nematoides e fungos de solo em complexos de doença são conhecidas da ciência desde o final do século 19, quando se descobriu que a presença de *Meloidogyne incognita* no solo predispõe o algodoeiro ao ataque de *Fusarium oxysporum* f.sp. *vasinfectum* (ATKINSON, 1892). Nesse caso, a resistência de cultivares de algodão ao fungo estava ligada à capacidade da planta em limitar a ação patogênica dos nematoides. Assim, plantas resistentes ao fungo, mas suscetíveis ao nematoide, passavam a apresentar sintomas de murcha quando cultivadas em solo infestado com nematoides (BELL, 1959). A participação de fitonematoides – especialmente, *Meloidogyne* spp., *Pratylen-*

chus spp. e *Rotylenchus* spp. – em interações em doenças causadas por outros fungos ou oomicetos habitantes de solo também é comum, como no tombamento de plantas causado por *Pythium*, na podridão de raízes causadas por *Rhizoctonia* e *Phytophthora*, na murcha causada por *Verticillium* ou outras espécies de *Fusarium* (FERRAZ et al., 2010).

De forma geral, o efeito da interação no dano na planta é sinérgico, ou seja, o dano resultante da interação é maior do que a soma dos efeitos individuais de cada patógeno (MANZANILLA-LÓPEZ et al., 2004). Os ferimentos causados pelos nematoides não são os principais fatores predisponentes para a ocorrência das doenças, como, por exemplo, no declínio da goiabeira, causada pela associação entre *M. enterolobii* (= *M. mayaguensis*) e *F. solani*. A inoculação do fungo em raízes previamente feridas de forma artificial não resulta em declínio da planta. Os sintomas da doença apenas são observados em plantas inoculadas com ambos os patógenos. Logo, as alterações fisiológicas induzidas pelo nematoide de galhas são fatores predisponentes mais importantes para essa doença do que a presença de ferimentos nas raízes (GOMES et al., 2011).

O exemplo de interação entre nematoides e bactérias mais conhecido envolve *Ralstonia*

solanacearum, agente causal de murchas vasculares em várias culturas (JATALA et al., 1975; JATALA e MARTIN, 1977; ATEKA et al., 2001). Em 1901, Hunger demonstrou que tomateiros cultivados em solos infestados por nematoides sucumbiam rapidamente à murcha bacteriana, ao contrário do observado em solos sem nematoides. Interações também podem ocorrer entre nematoides dos gêneros *Meloidogyne*, *Pratylenchus*, *Anguina* e *Ditylenchus* e as bactérias dos gêneros *Clavibacter*, *Pseudomonas* e *Agrobacterium* (MANZANILLA-LÓPEZ et al., 2004).

Nematoides ectoparasitas pertencentes às famílias Longidoridae (*Longidorus*, *Paralongidorus* e *Xiphinema*) e Trichodoridae (*Trichodorus* e *Paratrichodorus*) são conhecidos pela capacidade de atuarem como vetores de vírus pertencentes aos gêneros *Nepovirus* e *Tobravirus*, respectivamente. Os estádios juvenis e adultos podem atuar como vetores e tornam-se capazes de transmitir as viroses após se alimentarem de plantas doentes. Os nematoides podem permanecer virulíferos por até quatro meses. Os vírus ficam alojados na região do estilete e não circulam no interior do corpo do hospedeiro. Com isso, durante a ecdise, o nematoide perde a carga viral (DECRAEMER e GERAERT, 2006). Espécies de *Xiphinema* são vetores dos vírus *Tomato ringspot virus* (ToRSV), *Cherry rasp leaf virus* (CRLV), *Peach rosette mosaic virus* (PRMV), *Grape yellow vein*

virus (GYVV), *Arabid mosaic virus* (ArMV), *Strawberry latent ringspot virus* (SLRSV), *Grapevine fanleaf virus* (GFLV). Nematoides do gênero *Longidorus* transmitem os vírus *Artichoke italian latent virus* (AILV), *Tomato black ring virus* (TBRV), *Peach rosette mosaic virus* (PRMV), *Raspberry ringspot virus* (RRSV), *Mulberry ringspot virus* (MRSV). Por fim, espécies de *Trichodorus* e *Paratrichodorus* são vetores dos patógenos *Tobacco rattle virus* (TRV), *Pea early-browning virus* (PEBV) e *Pepper ringspot virus* (PRV) (MANZANILLA-LÓPEZ et al., 2004).

Os fitonematoides raramente ocorrem em comunidades mono-específicas. Além das interações com outros patógenos, os fitonematoides podem interagir entre si e aumentar os danos na planta (EISENBACK e GRIFFIN, 1987). O declínio lento ou morte de ponteiros da cerejeira, ameixeira, macieira, citros e outras fruteiras tem sido invariavelmente associado com populações elevadas de *Pratylenchus*, *Xiphinema*, *Tylenchulus*, *Rotylenchulus*, *Meloidogyne*, *Mesocriconema* e outros fitonematoides (MANZANILLA-LÓPEZ et al., 2004).

Assim, o entendimento do papel dos fitonematoides nos danos causados em culturas agrícolas deve englobar uma visão holística do agroecossistema, considerando o efeito da planta, do ambiente e de todos os microrganismos envolvidos nas interações.

4. Considerações finais

O reconhecimento da importância dos fitonematoides para a agricultura atualmente é maior do que no passado, quando esses patógenos foram negligenciados e acabaram sendo dispersos para inúmeras áreas isentas. No entanto, vários desafios ainda precisam ser superados para que os prejuízos causados pelos nematoides sejam reduzidos. O aumento no financiamento de ações de ensino, pesquisa e extensão em Nematologia ajudaria a solucionar parte dos problemas. Mesmo que o incremento no apoio financeiro não ocorra, os esforços

hercúleos devem continuar a serem feitos pelos nematologistas, como sempre aconteceu! Profissionais com sólida base na ciência contribuem para colocar em prática os conhecimentos recebidos na academia e atuam como agentes multiplicadores. Agricultores cientes do potencial destrutivo dos nematoides colaboram ativamente na minimização dos danos causados pelo patógeno. Por sua vez, cabe aos pesquisadores elucidarem aspectos básicos da etiologia e epidemiologia das nematoses e desenvolverem soluções para o manejo.

Os avanços em técnicas moleculares estão contribuindo para o aumento na acurácia da diagnose de fitonematóides, principalmente quando feita de forma integrada com dados morfológicos (OLIVEIRA et al., 2011). Com o uso de técnicas “ômicas” (genômica, proteômica, metabolômica e transcriptômica) tem sido possível conseguir informações importantes sobre a biologia do patógeno, sua interação com o hospedeiro e avançar em diferentes abordagens de melhoramento genético das culturas visando resistência. O crescente número de pesquisas direcionadas ao uso de agricultura de precisão e de métodos sustentáveis de manejo está alinhado com o anseio da socie-

dade por práticas agrícolas que causem menos impactos ambientais e à saúde humana (FERRAZ et al., 2010; OVERSTREET et al., 2014).

No entanto, existe ainda muito a ser feito. Vários patossistemas ainda são pouco explorados (principalmente nos trópicos), os sistemas agrícolas são dinâmicos e sujeitos a alterações, a distribuição dos nematóides pode ser alterada em razão do aquecimento global, o trânsito de produtos agrícolas no mundo dos nematóides continuará impondo constante risco de introdução de pragas quarentenárias, patógenos considerados secundários atualmente podem se tornar relevantes no futuro, dentre outros cenários.

5. Referências bibliográficas

- ABAD, P.; GOUZY, J.; AURY, J.M.; CASTAGNONE-SERENO, P.; DANCHIN, E.G.J.; et al. Genome sequence of the metazoan plant-parasitic nematode *Meloidogyne incognita*. **Nature Biotechnology**, v.8, p.909–915, 2008.
- ALMEIDA, W.P.; RUANO, O.; PIRES, J.R.; YAMAOKA, R.; TURKIEWICZ, L. Desempenho de cultivares e linhagens promissoras de *G. birsutum* perante o nematóide *Rotylenchus reniformis*. In: **IV Congresso Brasileiro de Algodão**, Goiânia (GO). CD-ROM, 2003.
- ANTONIO, S.F.; MENDES, F.L.; FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; DIAS, W.P.; RAMOS JUNIOR, E.U.; GOULART, A.M.C.; SILVA, J.F.V. Perdas de produtividade da soja em área infestada por nematóide das lesões radiculares em Vera, MT. In: **VI Congresso Brasileiro de Soja**, Cuiabá (MT). 4p. CD-ROM, 2012.
- ASMUS, G. L. Ocorrência de nematóide fitoparasitos em algodoeiro no estado de Mato Grosso do Sul. **Nematologia Brasileira**, v. 28, n. 1, p. 77-86, 2004.
- ATEKA, E.M.; MWANG'OMBE, A.W.; KIMENJU, J.W. Studies on the interaction between *Ralstonia solanacearum* (Smith) and *Meloidogyne* spp. in potato. **African Crop Science Journal**, v.9, n.3, p.527-535, 2001.
- ATKINSON, G.F. Some diseases of cotton. **Alabama Polytechnical Institute and Agricultural Experiment Station Bulletin**, n. 41, p. 61–65, 1892.
- BACK, M.A.; HAYDOCK, P.P.J.; JENKINSON, P. Disease complexes involving plant parasitic nematodes and soil-borne pathogens. **Plant Pathology**, v.51, p.683-697, 2002.
- BATISTA, M.F.; FONSECA, J.N.L.; TENENTE, R.C.V.; MENDES, M.A.S.; URBEN, A.F.; OLIVEIRA, M.R.N.; GUIMARÃES, P.M.; FERREIRA, D.N. **Quarentena de Germoplasma Vegetal**. Brasília: CENARGEN/ EMBRAPA, 1998. 11p. (Comunicado Técnico, 27).
- BELL, N.M.G. Chemicals for cotton pest control. **Span**, v. 2, p. 108-112, 1959.
- BRANCALION, A.M.; ZANON, J.I.; ZEM, A.C. Ocorrência do nematóide *Heterodera fici* no Rio Grande do Sul. **Revista de Agricultura**, v.56, n.1-2, p.4, 1981.
- BRIDGE, J.; STARR, J.L. **Plant Nematodes of Agricultural Importance**. London, UK: Manson Publishing Ltd, 2007. 152p.
- BRODIE, B.B. Potato cyst nematodes (*Globodera* species) in Central and North America. In: MARKS, R.J.; BRODIE, B.B. (Eds). **Potato Cyst Nematodes Biology, Distribution and Control**. Wallingford: CABI Publishing, 1998. p.317–331.
- CARNEIRO, R.M.D.G.; MOREIRA, W.A.; ALMEIDA, M.R.A.; GOMES, A.C.M. M. Primeiro registro de *Meloidogyne mayaguensis* em goiabeira no Brasil. **Nematologia Brasileira**, v.25, n.2, p.223-228, 2001.