

LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO DE FUNGOS NEMATÓFAGOS NO CONTROLE DOS NEMATÓIDES DAS GALHAS

Marlon Henrique Hahn^{1*}, Henrique da Silva Silveira Duarte², Louise Larissa May de Mio²,
Odair José Kuhn³

SAP 19098 Data envio: 18/03/2018 Data do aceite: 18/06/2018
Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 17, n. 4, out./dez., p. 389-397, 2018

RESUMO - Os nematoides das galhas (*Meloidogyne* spp.) estão distribuídos por diversos países do mundo parasitando plantas de interesse econômico. Vários estudos foram realizados com espécies de fungos nematófagos para o controle desses patógenos, e um levantamento bibliométrico possibilitará conhecer: i) os principais países que mais publicaram estudos com fungos nematófagos para o controle de *Meloidogyne* spp.; ii) o aspecto temporal das publicações e das descobertas de novas espécies de fungos nematófagos; iii) as principais espécies de fungos nematófagos; iv) as espécies de *Meloidogyne* spp. foco das pesquisas; v) as condições de realização das pesquisas e vi) as principais plantas hospedeiras de *Meloidogyne* spp. estudadas. O levantamento apontou a Índia como o país que mais publicou entre os anos de 1976 e 2017, seguida pelo Brasil. A frequência das publicações apresentou picos na década de 1990 e pós o ano 2000. Das 185 espécies de fungos nematófagos estudadas, a espécie mais frequente foi *Pochonia chlamydosporia*. Os fungos nematófagos tiveram como alvo 9 espécies de *Meloidogyne*, sendo *M. incognita* e *M. javanica* as mais estudadas no mundo e no Brasil, respectivamente. Em 71,0% e 89,5% das ocorrências internacionais e brasileiras, respectivamente, foram realizados experimentos em condição *in vivo*, no qual *Solanum lycopersicum* foi o hospedeiro mais estudado. Muitos avanços ocorreram nos últimos 30 anos no controle biológico de nematoides por fungos nematófagos.

Palavras-chave: *Meloidogyne* spp., controle biológico, diversidade.

BIBLIOMETRIC SURVEY OF STUDIES WITH NEMATOPHAGOUS FUNGI FOR THE CONTROL OF ROOT-KNOT NEMATODES

ABSTRACT - Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) are organisms present in several countries of the world, being responsible for losses in several species of plants of economic interest. Several studies have been carried out with nematophagous fungi species to control these pathogens, and the survey of these studies can provide information on the main species of nematophagous fungi, studied species of *Meloidogyne* spp. and most studied species of host plants. Based on the above, the objectives for this study were: i) to know the countries that have published most works with nematophagous fungi for *Meloidogyne* spp. control; ii) to know the temporal behavior of publications; iii) to know the temporal behavior of the first researches of new nematophagous fungi species; iv) to know the main species of nematophagous fungi studied; v) to know the species of *Meloidogyne* spp. that are the focus of research; vi) to know the conditions of researches; vii) to know the main species of host plants of *Meloidogyne* spp. studied. The survey pointed out that India was the country that published the most between 1976 and 2017, followed by Brazil. The publications frequency peaked in the 1990s and after the 2000s. From the 185 species of nematophagous fungi studied, the most studied species was *Pochonia chlamydosporia*, nationally and internationally. These species of fungi were tested for 9 species of *Meloidogyne*, being *M. incognita* and *M. javanica* the most studied in the world and in Brazil, respectively. In the world and Brazil, about 71,0% e 89,5% of the studies were performed *in vivo* condition, respectively, in which *Solanum lycopersicum* was the most studied host plant species. Even with the scientific advance in the last 30 years, the biological control of nematodes by nematophagous fungi is still not very expressive in Brazil.

Key words: *Meloidogyne* spp., biological control, diversity.

INTRODUÇÃO

Os nematoides formadores de galhas pertencem ao gênero *Meloidogyne* Goeldi. Este constitui um dos mais importantes grupos de fitonematóides para a agricultura (CADIOLI et al., 2007), pois parasitam uma ampla gama de

hospedeiros (ANWAR; MCKENRY, 2010). O controle desses patógenos é extremamente difícil devido seu curto período de geração e altas taxas reprodutivas (TRUDGILL; BLOK, 2001), o que muitas vezes levam os produtores a optar pelo controle químico (JANG et al., 2016).

¹Doutorando em Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Rua dos Funcionários, n.1540, Bairro Juvevê, CEP 80035-050, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: marlonhhahn@gmail.com. *Autor para correspondência.

²Professor(a) Adjunto, Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Rua dos Funcionários, n.1540, Bairro Juvevê, CEP 80035-050, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: maydemio@ufpr.br; henriqueduarte49@gmail.com.

³Professor Adjunto, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), Rua Pernambuco, n.1777, Centro, CEP 85960-000, Marechal Cândido Rondon, Paraná, Brasil. E-mail: ojkuhn@gmail.com.

Por muito tempo o controle químico de nematoides era realizado por meio da fumigação com brometo de metila. O efeito do brometo de metila era esterilizante, causando a morte imediata dos seres vivos no solo (FIELDS; WHITE, 2002; XIE et al., 2015). Entretanto, o brometo de metila foi banido de diversos países, pois era extremamente tóxico ao meio ambiente e a saúde humana (ZUCKERMAN; ESNARD, 1994). Assim, devido à pressão social por uma agricultura menos agressiva e mais ecológica, o controle biológico se tornou uma alternativa para o controle de nematoides (HUANG et al., 2014).

Dentre os agentes de controle biológico, os fungos nematófagos permitem estratégias de controle para várias fases do ciclo de desenvolvimento dos nematoides das galhas. A aglomeração dos ovos na matriz gelatinosa favorece o parasitismo de ovos por fungos nematófagos (CADIOLI et al., 2007). Da mesma forma, ocasionalmente as fêmeas sedentárias podem ser parasitadas por fungos nematófagos. Os juvenis também são suscetíveis aos antagonistas, pois muitos fungos nematófagos produzem estruturas de predação especializadas. Algumas dessas estruturas podem ser redes adesivas, vesículas adesivas, anéis não constritivos, hifas adesivas, anéis constritivos (YANG et al., 2007).

Diversos estudos científicos foram conduzidos para determinar o potencial de controle das diferentes espécies de fungos nematófagos, muitos dos quais foram selecionados especificamente para o controle de *Meloidogyne* spp. Em cada país foram desenvolvidas pesquisas para atender a demanda por conhecimento para o desenvolvimento de táticas para o manejo de *Meloidogyne* spp. Assim, as espécies de fungos nematófagos mais estudadas em cada país podem variar devido às características das espécies de nematoides e das culturas afetadas naquele país. O levantamento dos estudos publicados no mundo e no Brasil poderá fornecer informações importantes para conhecermos como essa linha de pesquisa se desenvolveu ao longo dos anos.

Diante do exposto, objetivou-se com o presente estudo identificar: i) os principais países que mais publicaram com fungos nematófagos para o controle de *Meloidogyne* spp.; ii) o aspecto temporal das publicações e das descobertas de novas espécies de fungos nematófagos; iii) as principais espécies de fungos nematófagos; iv) as espécies de *Meloidogyne* spp. foco das pesquisas; v) as condições de realização das pesquisas e vi) as principais espécies de plantas hospedeiras de *Meloidogyne* spp.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizando um levantamento bibliométrico utilizando o acesso restrito às bases de dados assinadas pela Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal (CAPES), disponível pelo endereço de IP da Universidade Federal do Paraná (UFPR). O levantamento consistiu na pesquisa de artigos científicos nas bases de dados da CAB Abstracts e Web of Science. Os termos utilizados foram *Meloidogyne* e *Nematophagous fungus* utilizando como filtro a opção de busca por somente artigos.

Foram levantados os dados referentes ao título do artigo, ano de publicação, país de filiação do primeiro autor, espécie de *Meloidogyne* estudado, espécie de fungo proposto para o controle biológico de *Meloidogyne* spp., condições de realização dos experimentos (*in vitro* ou *in vivo*), e espécie de planta hospedeira se *in vivo*.

Os dados foram extraídos pela leitura do título, resumo e palavras-chave das publicações. Foram excluídas as publicações caracterizadas como revisões bibliográficas ou artigos que não relacionavam a interação direta do fungo com algum nematoide pertencente ao gênero *Meloidogyne*. A leitura do trabalho completo foi realizada nos casos em que as espécies de nematoides e fungos estudados não estavam descritas no resumo. Nesses casos, para as espécies de fungos nematófagos considerou-se as com potencial para o controle de nematoides do gênero *Meloidogyne* citadas pelo artigo.

Para determinar o país de origem da publicação, foi realizado o levantamento dos endereços das instituições das quais o primeiro autor de cada trabalho era filiado. Não foi realizado o levantamento dos países de filiação dos coautores. A quantificação de publicações de cada país foi realizada por meio da contagem dos títulos das publicações.

A quantificação da frequência de espécies de nematoides, fungos nematófagos e plantas hospedeiras foram realizados por meio da contagem de ocorrências em que determinada espécie de nematoide estava associada a uma determinada espécie de fungo nematófago em determinada espécie de planta hospedeira (ou na condição *in vitro*). Trabalhos que avaliaram diferentes métodos de aplicação ou diferentes isolados de uma espécie de fungo nematófago, geraram uma única ocorrência para mesma espécie de nematoide em uma mesma espécie de planta hospedeira. A condição de realização do experimento se *in vitro* ou *in vivo* foi identificada somente pelo título, resumo ou palavras-chaves. Quando tratava de levantamentos de campo, procedeu-se a leitura completa do trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O levantamento utilizando os termos *Meloidogyne* e *Nematophagous fungus* associado ao filtro de somente artigos resultou em 364 publicações na base de dados do CAB Abstract. Após a análise dos trabalhos, 337 foram diretamente relacionadas ao controle de *Meloidogyne* spp. por fungos nematófagos e enquadravam-se nas condições descritas na metodologia. Na base de dados do Web of Science, retornou uma lista contendo 200 publicações, das quais foi realizada eliminação dos resumos já obtidos pela pesquisa na base do CAB Abstract. A análise dos trabalhos permitiu identificar 51 publicações adicionais que se enquadravam nos critérios estabelecidos na metodologia.

Um total de 388 publicações foram levantadas. Dentre o total de publicações, o percentual de contribuição de cada país está ilustrado na Figura 1. As publicações foram fruto do trabalho de autores de 49 países. A Índia é evidentemente participativa no cenário mundial em pesquisas com fungos nematófagos para o controle de *Meloidogyne* spp., sendo responsável por 120 publicações, equivalente a 30,9% do total de publicações nos anos entre

1976 e 2017. Os três países com maior número de publicações são países emergentes que vêm investindo no controle biológico. A Índia desenvolveu programas de incentivo a pesquisa científica, treinamento e adoção do controle biológico (BARRATT et al., 2018), facilitando o registro de novos produtos de controle biológico (LACEY et al., 2015). O Brasil tem a segunda maior produção com 35 publicações (9,0% do total mundial). O país possui casos-bem-sucedidos de controle biológico de insetos, entretanto, existem obstáculos para a implementação do controle biológico em extensas áreas de cultivo (PARRA, 2014). As publicações da China correspondem a 8,0% do total de publicações. Programas foram criados naquele país para redução do uso de agrotóxicos, o que pode significar oportunidades para o desenvolvimento de pesquisas e implementação do controle biológico (BARRATT et al., 2018). Esses três países somados ao Estados Unidos da América, Inglaterra, Egito, Paquistão e Irã produziram 70,9% das publicações mundiais. 29,1% das publicações foram oriundas de outros 41 países pouco expressivos no cenário mundial das pesquisas com fungos nematófagos para o controle de *Meloidogyne* spp.

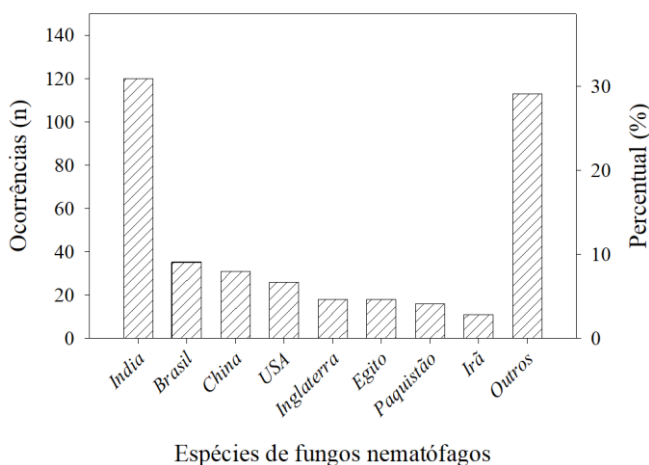


FIGURA 1 - Número de artigos científicos de estudos com fungos nematófagos para controle de *Meloidogyne* spp. publicados em 49 países. Dados obtidos no levantamento de publicações realizado nas bases CAB Abstract e Web of Science entre os anos de 1976 e 2017.

A publicação internacional mais antiga encontrada no levantamento foi do ano de 1976. O número de publicações mundiais entre os anos de 1976 e 2017 foram expressas na Figura 2, bem como a descoberta de novas

espécies de fungos nematófagos nesse período. Segundo esse levantamento, é possível observar dois momentos de maior número de contribuições para as pesquisas com fungos nematófagos para o controle de *Meloidogyne* spp. O primeiro momento ocorreu entre os anos de 1991 e 1999.

Esse interesse da comunidade científica pelo controle biológico de nematoides por fungos nematófagos pode ter sido influenciado pela pressão social iniciada nos anos 90, favorecida pelo lançamento da Política de redução dos riscos dos pesticidas agrícolas pela União Europeia em 1991 (CEE, 1991), além da proposta de banimento do brometo de metila, que era o principal nematicida utilizado (ZUCKERMAN; ESNARD, 1994).

O segundo momento iniciou em 2003 até 2015. O incremento no número de publicações nesse período possivelmente foi favorecido pelas políticas de redução do uso do brometo de metila (UNEP/TEAP, 1998). Este tipo de política visou reduzir o controle químico e substituir parte dele por métodos de controle menos agressivos ao meio ambiente e a saúde humana.

O período de incremento no número de novas publicações também pode ter sido influenciado pelo desenvolvimento de técnicas moleculares mais acessíveis. Novas técnicas moleculares permitiram identificar espécies desconhecidas e reagrupar grupos que até então eram muito discutidos em relação sua posição taxonômica (BLACKWELL, 2011).

Antes do surgimento das técnicas moleculares, a descrição de fungos nematófagos era exclusivamente baseada em morfologia (SAXENA, 2008). A evolução dessas técnicas redefiniu a taxonomia dos fungos nematófagos, gerando um aumento no número de novas espécies que consequentemente, estimulou novas pesquisas. As ferramentas moleculares também tiveram papel importante na compreensão dos processos de transição de fungos saprofíticos para fungos nematófagos (NORDBRING-HERTZ, 2004).

Os aumentos expressivos no número de novas espécies de fungos nematófagos estudados correspondem aos períodos com maiores incrementos no número de publicações. Possivelmente esses fatos estão relacionados, pois com o favorecimento das pesquisas na década de 1990, novas espécies foram descobertas e com isso também eram realizados novos estudos para analisá-las mais profundamente.

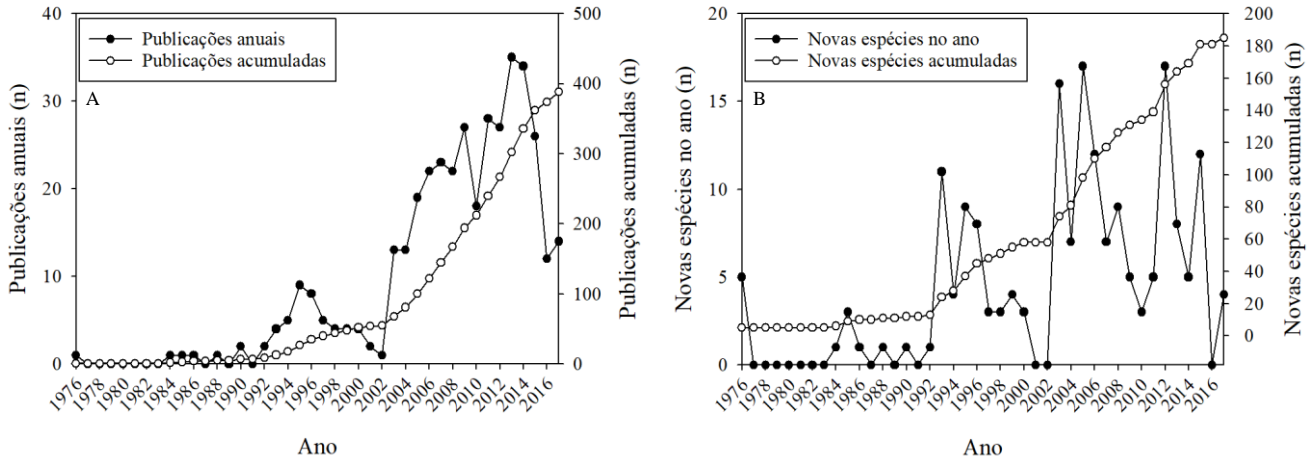


FIGURA 2 - Número de publicações mundiais lançadas anualmente (A), e de novas espécies de fungos nematófagos estudados (B) para o controle de *Meloidogyne* spp. Dados obtidos no levantamento de publicações realizado nas bases CAB Abstract e Web of Science entre os anos de 1976 e 2017.

Em relação às publicações brasileiras (Figura 3), a pesquisa nas bases de dados retornou trabalhos publicados somente após 1995. Este fato pode ser associado à possibilidade de que diversos periódicos brasileiros tenham sido indexados nas bases de dados da CAB Abstract e Web of Science após 1995. As pesquisas com fungos nematófagos para o controle de *Meloidogyne* spp. no Brasil se tornam expressivas após 2008. Da mesma

forma que o panorama mundial se comporta em relação ao número de novas espécies de fungos nematófagos e sua relação com número de publicações, o panorama brasileiro também apresenta este comportamento. Os picos de novas publicações nos anos de 1999, 2003, 2004, 2007, 2010 e 2013 se repetem para novas espécies de fungos nematófagos estudadas.

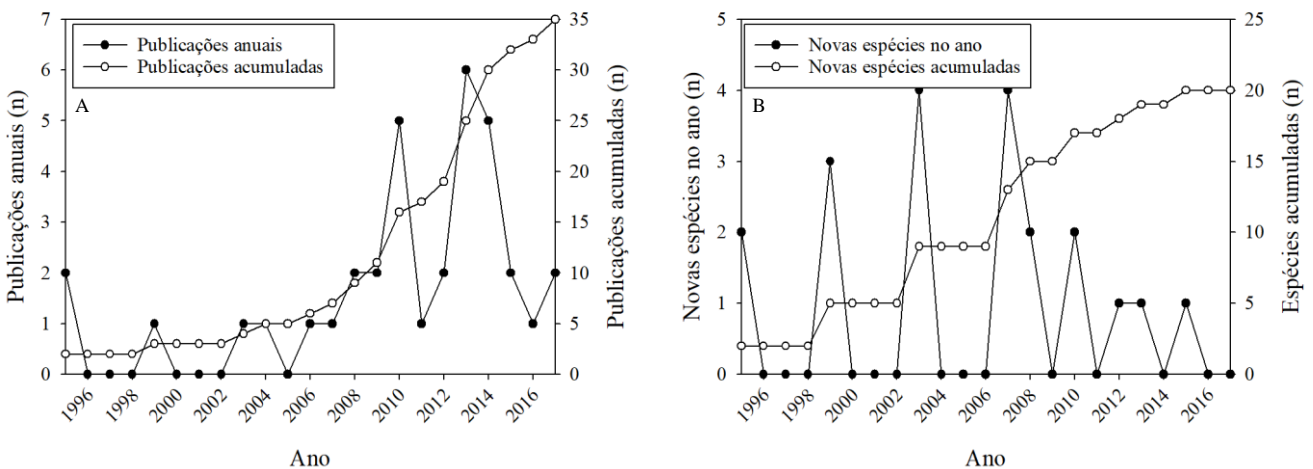


FIGURA 3 - Número de publicações brasileiras lançadas anualmente (A), e de novas espécies de fungos nematófagos estudados (B) para o controle de *Meloidogyne* spp. Dados obtidos no levantamento de publicações realizado nas bases CAB Abstract e Web of Science entre os anos de 1995 e 2017.

As espécies de fungos nematófagos que foram estudadas com maior frequência como tratamento, ou detectadas em levantamentos de campo foram expressas na Figura 4. O levantamento apontou que as pesquisas internacionais estudaram a interação de 185 espécies de fungos nematófagos com nematoides do gênero *Meloidogyne*. Entre as principais espécies de fungos nematófagos estudadas mundialmente, foram observadas 8 espécies com maior frequência, distribuídas em 6 gêneros.

A espécie mais estudada até o momento é a *Pochonia chlamydosporia* (Goddard) Zare & W. Gams. Este fungo nematófago facultativo é caracterizado pelo

parasitismo de ovos e fêmeas sedentárias de importantes nematoides fitopatogênicos (MUKHTAR; PERVAZ, 2003). Os clamidósporos de *P. chlamydosporia* emitem micélio que coloniza as raízes e as massas de ovos dos nematoides (HIRSCH et al., 2001; BORDALLO et al., 2002; MANZANILLA-LOPEZ et al., 2013). O hábito endofítico de *P. chlamydosporia* também pode promover o desenvolvimento da planta (DALLEMOLE-GIARETTA et al., 2015) e induzir a resistência contra outros patógenos (BORDALLO et al., 2002; MANZANILLA-LOPEZ et al., 2013).

Na segunda posição entre as espécies de fungos nematófagos mais estudados está o fungo *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson que é um parasita facultativo das fases sedentárias de diversas espécies de nematoides (KHAN e WILLIAMS; NEVALAINEN, 2006; CADIOLI et al., 2007). Espécies pertencentes ao gênero *Trichoderma* Pers ocupam a terceira e quinta colocação entre os fungos nematófagos mais estudados. As espécies desse gênero podem atuar promovendo o desenvolvimento das plantas (AL-HAZMI e TARIQJAVEED, 2016) e induzindo as defesas da planta (SAHEBANI e HADAVI, 2008).

As espécies de fungos predadores do gênero *Arthrobotrys* Corda ocupam a quarta e a sexta colocação entre os fungos mais estudados. A espécie *Arthrobotrys oligospora* Fresen forma uma típica rede de armadilhas adesivas, formadas por uma aglomeração de inúmeros anéis com três células (NORDBRING-HERTZ, 2004). As armadilhas podem ser formadas imediatamente após a germinação dos conídios de *Arthrobotrys* spp.

A espécie *Beauveria bassiana* (Bals. Criv., 1836) Vuill. é conhecida por ser utilizada no controle biológico de insetos. Entretanto, o efeito desse fungo sobre os nematoides é devido à síntese de inúmeras toxinas (LIU et al., 2008). Outra espécie de fungo predador frequentemente estudada em âmbito mundial é a espécie *Dactylaria brochopaga* Drechsler. A característica principal dessa espécie é produzir anéis constritores (KUMAR; SINGH, 2011). A inflação das células da armadilha é devido o atrito do nematoide que se move pelo interior do anel (SINGH e BANDYOPADHYAY, 2001).

No cenário brasileiro foram encontradas 20 espécies de fungos nematófagos. As espécies *P. chlamydosporia*, *P. lilacinus*, *B. bassiana* e *A. oligospora* são frequentemente estudadas. O gênero *Trichoderma* não é expressivo nas pesquisas brasileiras para o controle de nematoides do gênero *Meloidogyne* spp. Entretanto, os fungos dos gêneros *Metarhizium* Sorokin e *Monacrosporium* Oudem foram frequentemente estudados no Brasil.

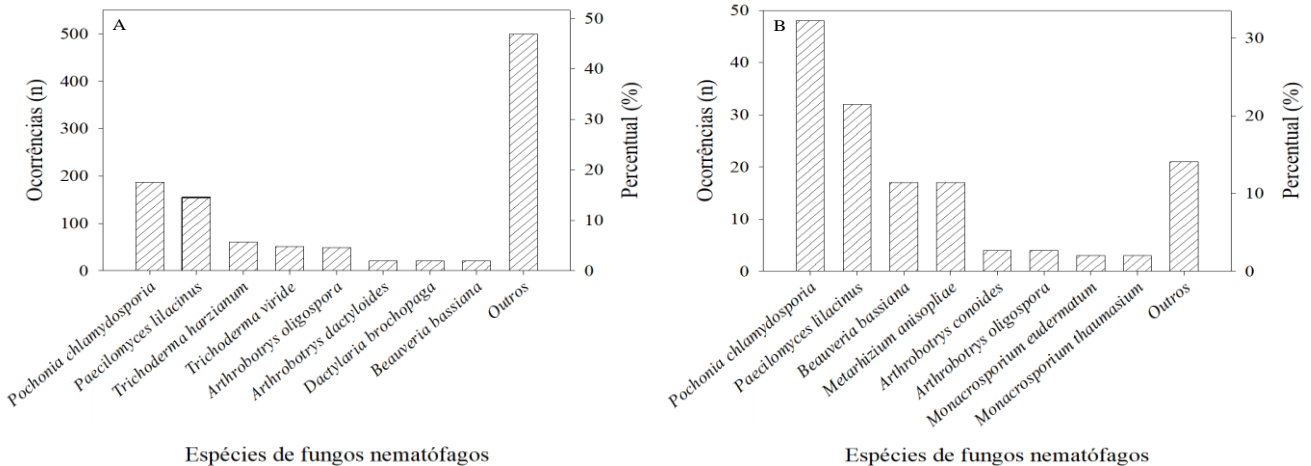


FIGURA 4 - Principais espécies de fungos nematófagos mais estudadas dentre 185 espécies para o controle de *Meloidogyne* spp. no cenário mundial (A) e 20 espécies de fungos nematófagos no cenário brasileiro (B). Dados obtidos no levantamento de publicações realizado nas bases do CAB Abstract e do Web of Science entre os anos de 1976 e 2017.

As espécies de fungo do gênero *Metarhizium* geralmente são utilizadas para o controle de insetos pragas. Entretanto, isolados de *Metarhizium* apresentam potencial para o controle de nematoides das galhas (SUN et al., 2006). Os fungos predadores do gênero *Monacrosporium* são caracterizados por produzirem vesículas adesivas ou redes de hifas adesivas capazes de capturar nematoides móveis (KHAN e WILLIAMS; NEVALAINEN, 2006).

No Brasil há registro de alguns produtos à base de fungos para o controle de pragas e doenças. As espécies de fungos, *Aspergillus flavus* Link., *B. bassiana*, *Metarhizium anisopliae* (Metschn.) Sorokin, *Trichoderma asperellum* Samuels, *Trichoderma harzianum* Rifai, *Trichoderma stromaticum* Samuels & Pardo-Schulth., *P. lilacinus* e *P. chlamydosporia* estão disponíveis comercialmente para utilização em algumas culturas. Entretanto somente *P. lilacinus* e *P. chlamydosporia* possuem registro específico

para controle de *Meloidogyne incognita* e *M. javanica*, respectivamente (BRASIL, 2017).

O número restrito de produtos à base de fungos nematófagos para o controle de *Meloidogyne* spp. é direcionada para algumas espécies de *Meloidogyne*. As espécies de nematoides do gênero *Meloidogyne* estudadas no cenário mundial e brasileira foram expressos na Figura 5. Dentre as 185 espécies de fungos nematófagos pesquisadas no mundo todo, somente 9 espécies de *Meloidogyne* foram alvo das pesquisas. Com 53,3% das 1065 ocorrências, *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood foi a espécie mais estudada, seguida por *Meloidogyne javanica* (Treib) Chitwood com 22,8%. As espécies *M. incognita* e *M. javanica* são as mais frequentes em regiões tropicais, e muitas culturas agrícolas podem ser hospedeiras para essas espécies (ANWAR; MCKENRY, 2010).

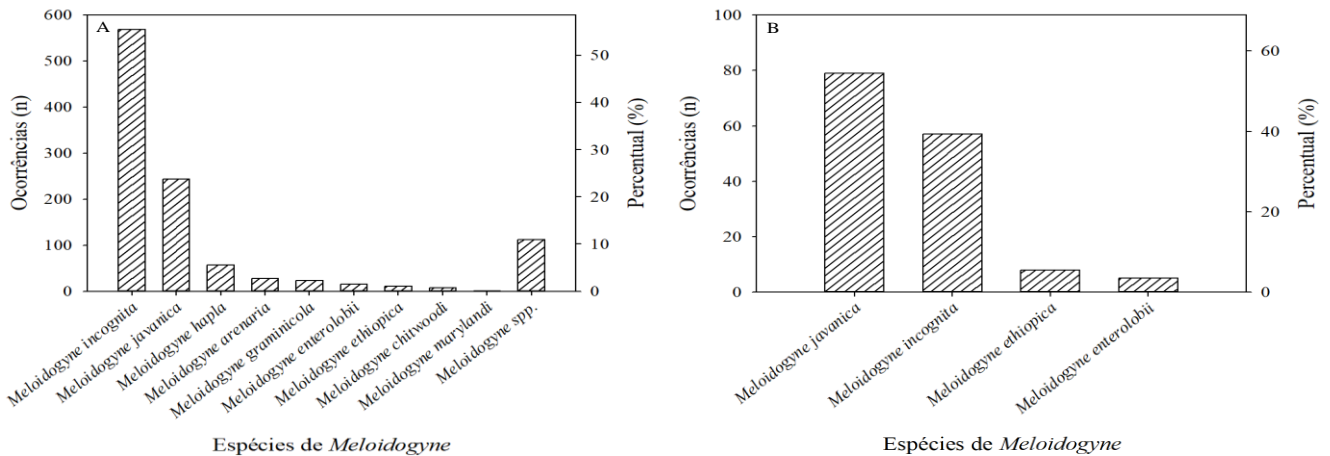


FIGURA 5 - Espécies de nematoides do gênero *Meloidogyne* mais estudadas para o controle por fungos nematófagos no cenário mundial (A) e brasileiro (B). Dados obtidos no levantamento de publicações realizado nas bases CAB Abstract e Web of Science entre os anos de 1976 e 2017.

No cenário brasileiro, o levantamento apontou apenas as espécies *M. javanica*, *M. incognita*, *Meloidogyne ethiopica* Whitehead e *Meloidogyne enterolobii* Uang & Eisenback. As espécies *M. javanica* e *M. incognita* representam 53,0% e 38,3% das ocorrências, respectivamente. Contrariando o cenário mundial, *M. javanica* supera em ocorrências de *M. incognita*. A importância destas espécies para a agricultura brasileira justifica esses números. As espécies *M. ethiopica* e *M. enterolobii*, representaram cerca de 5,4% e 3,6% das ocorrências, respectivamente. Essas espécies não são amplamente distribuídas da mesma forma que *M. incognita* e *M. javanica*, sendo relatadas em algumas regiões e culturas. Poucos estudos foram feitos com essas espécies de nematoides, e ainda conhecemos muito pouco sobre o potencial de controle por fungos nematófagos. Assim, há a possibilidade de desenvolvimento de

pesquisas para o controle de nematoides de menor ocorrência, dos quais vem aumentando sua distribuição com o passar dos anos.

Em 71,0% e 89,5% das ocorrências internacionais e brasileiras, respectivamente, foram realizados experimentos em condição *in vivo*. As principais plantas hospedeiras estudadas nos trabalhos levantados estão reunidas na Figura 6. Observamos a preocupação existente na necessidade de controlar os nematoides das galhas em plantas da família Solanaceae. Essa família de plantas compreende cerca de três a quatro mil espécies de plantas distribuídas em 95 gêneros (BARBARY et al., 2015). O mais importante desses gêneros é o *Solanum* Linnaeus, do qual está incluído o tomate (*Solanum lycopersicum* L.), com 22,6% das ocorrências, a berinjela (*Solanum melongena* L.), com 4,9% das ocorrências e a batata (*Solanum tuberosum* L.), com 2,3% das ocorrências.

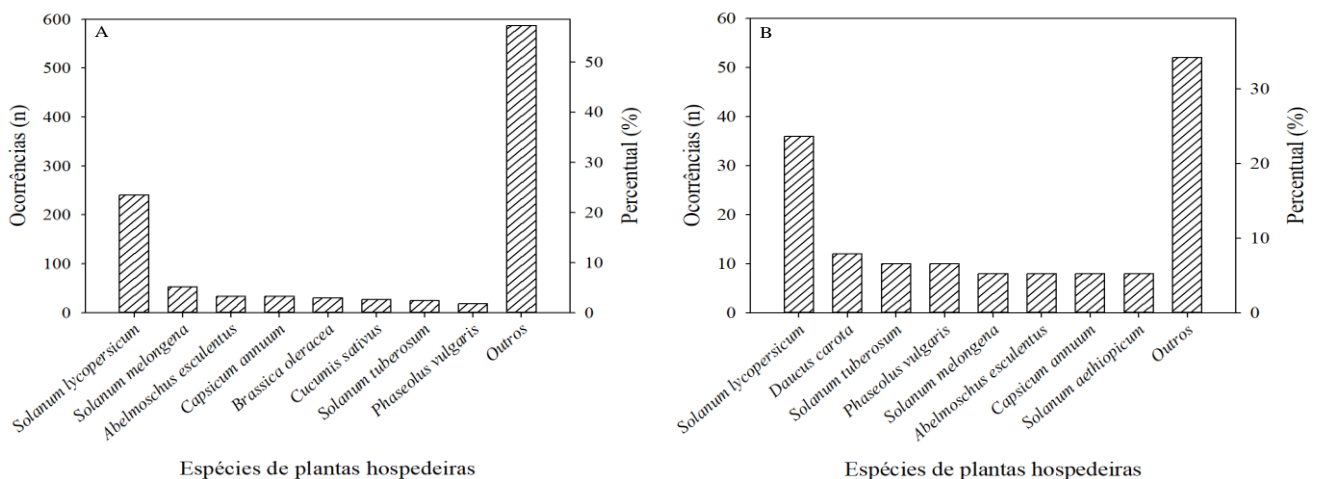


FIGURA 6 - Principais espécies de plantas hospedeiras de *Meloidogyne* spp. entre 71 espécies estudadas no controle por fungos nematófagos no cenário mundial (A) e 20 espécies estudadas no cenário brasileiro (B). Dados obtidos no levantamento de publicações realizado nas bases CAB Abstract e Web of Science entre os anos de 1976 a 2017.

Ainda na família Solanaceae estão incluídas as pimentas do gênero *Capsicum* L., mais especificamente os pimentões (*Capsicum annuum* L.), que representaram 3,1% das ocorrências. Os tomateiros foram as plantas hospedeiras de *Meloidogyne* spp. mais estudadas nos trabalhos em âmbito mundial. Em geral, as plantas de tomateiro apresentam alta suscetibilidade a diversas espécies de nematoides das galhas (SEID et al., 2015).

Plantas como o quiabo (*Abelmoschus esculentus* Moench) com 3,1% das ocorrências, couves e repolhos (*Brassica oleracea* Linnaeus) com 2,8% das ocorrências, pepinos (*Cucumis sativus* L.), com 2,5% das ocorrências e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), 1,7% das ocorrências, possivelmente são severamente parasitadas por *Meloidogyne* spp. O exemplo disso é o quiabeiro, em que os nematoides das galhas são considerados os patógenos mais importantes para a cultura (MUKHTAR et al., 2013).

No cenário brasileiro observamos que as plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) apresentaram 23,7% das ocorrências, cenoura (*Daucus carota* Linnaeus), com 7,9% das ocorrências, batata (*S. tuberosum*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*), cada um com 6,6% das ocorrências, berinjela (*S. melongena*), pimentões (*Capsicum annuum*), quiabo (*Abelmoschus esculentus*) e jiló (*S. aethiopicum* L.), cada um com 5,3% das ocorrências. Nas pesquisas brasileiras, a cenoura e o jiló são expressivos. A cenoura sofre grandes deformidades decorrentes dos nematoides das galhas, acarretando em perdas (WESEMAEL e MOENS, 2008). No caso do jiló, espécie pertencente ao gênero *Solanum*, apresenta algum nível de resistência à *Meloidogyne* spp. (DHIVYA e SADASAKTHI; SIVAKUMAR, 2014).

Os estudos sobre a relação fungo nematófago, nematoide e planta hospedeira são necessários para traçar estratégias de manejo. Com a procura por novos métodos de controle de nematoides menos agressivos ao meio ambiente e a saúde humana, certamente a quantidade conhecida de espécies deste tipo de fungos continuará aumentando. Da mesma forma, outras espécies de nematoides deverão ser estudadas de maneira mais aprofundada, de modo a elucidar as interações com as espécies de fungos.

Conhecer o estado da arte da pesquisa científica referente ao controle de *Meloidogyne* spp. por fungos nematófagos permite conhecer as deficiências e demandas da produção científica mundial e nacional. A Índia, como maior produtora de publicações, em 2015 possuía no mercado inúmeros produtos à base de fungos para o controle de nematoides. Estavam disponíveis, seis diferentes marcas de produtos à base de *P. lilacinus* (ASKARY, 2015). No Brasil, atualmente existe dois registros de fungos nematófagos para o controle de *Meloidogyne* spp.

Para as 185 espécies de fungos nematófagos conhecidas com potencial para o controle de *Meloidogyne* spp. há também a necessidade de focar em estudos para a eficiência, produção massal, industrialização, armazenamento, distribuição, implementação e publicidade (GLARE et al., 2012). A possibilidade de

expansão das pesquisas científicas para essas áreas do conhecimento pouco exploradas, poderá subsidiar a ampliação da produção e utilização dos fungos nematófagos no controle do nematoide das galhas.

CONCLUSÕES

A Índia é o país com maior produção de trabalhos com fungos nematófagos, seguida pelo Brasil.

As publicações mundiais iniciaram em 1976, apresentando picos na década de 1990, e após 2000.

As pesquisas brasileiras iniciaram em 1995, e tiveram comportamento temporal semelhante ao cenário mundial.

Novas espécies de fungos nematófagos foram inseridos no cenário mundial e nacional com maior frequência na década de 1990 e pós 2000.

A espécie de fungo nematófago mais estudada no mundo e no Brasil é *Pochonia chlamydosporia*.

A espécie de nematoide alvo mais frequente nas pesquisas internacionais foi a espécie *Meloidogyne incognita*. No Brasil as pesquisas foram focadas em *Meloidogyne javanica*.

Os experimentos *in vivo* foram os mais frequentes no mundo e Brasil.

O tomateiro (*Solanum lycopersicum*) é a espécie de planta hospedeira mais estudada no mundo e no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de mestrado ao autor principal, e aos pesquisadores Dr^a. Raquel Rejane Bonato Negrelle e Dr. Wagner Vicente Pereira pela colaboração.

REFERÊNCIAS

- AL-HAZMI, A.S.; TARIQJAVEED, M. Effects of different inoculum densities of *Trichoderma harzianum* and *Trichoderma viride* against *Meloidogyne javanica* on tomato. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v.23, n.2, p.288-292, 2016.
- ANWAR, S.A.; MCKENRY, M.V. Incidence and reproduction of *Meloidogyne incognita* on vegetable crop genotypes. **Pakistan Journal of Zoology**, v.42, n.2, p.135-141, 2010.
- ASKARY, T.H. **Nematophagous fungi as biocontrol agents of phytonematodes**. In: ASKARY, T.H.; MARTINELLI, P.R.P. (Ed.). *Biocontrol agents of phytonematodes*. 1a. ed. Wallingford, UK: CAB International, 2015. p.81-125.
- BARBARY, A.; DJIAN-CAPORALINO, C.; PALLOIX, A.; CASTAGNONE-SERENO, P. Host genetic resistance to root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp., in Solanaceae: from genes to the field. **Pest Management Science**, v.71, n.12, p.1591-1598, 2015.
- BARRATT, B.I.P.; MORAN, V.C.; BIGLER, F.; VAN LENTEREN, J.C. The status of biological control and recommendations for improving uptake for the future. **Bio Control**, v.63, n.1, p. 155-167, 2018.

- BLACKWELL, M. The fungi: 1, 2, 3 ... 5.1 million species? **American Journal of Botany**, v.98, n.3, p.426-438, 2011.
- BORDALLO, J.J.; LOPEZ-LLORCA, L.V.; JANSSON, H.B.; SALINAS, J.; PERSMARK, L.; ASENSIO, L. Colonization of plant roots by egg-parasitic and nematode-trapping fungi. **New Phytologist**, v.154, n.2, p.491-499, 2002.
- BRASIL. **Sistema Agrofit**. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 7 jul. 2018.
- CADIOLI, M.C.; SANTIAGO, D.C.; HOSHINO, A.T.; HOMECHIN, M. Crescimento micelial e parasitismo de *Paecilomyces lilacinus* sobre ovos de *Meloidogyne paranaensis* em diferentes temperaturas *in vitro*. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.2, p.305-311, 2007.
- CEE. COMUNIDADE ECONÔMICA EUROPÉIA. **Directiva do Conselho de 15 de Julho de 1991 relativa à colocação dos produtos fitofarmacêuticos no mercado (91/414/CEE)**. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, p.1-32, 15 jul. 1991. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0414&from=PT>>. Acesso em: 20 out. 2018.
- DALLEMOLE-GIARETTA, R.; FREITAS, L.G.; LOPES, E.A.; SILVA, M.D.C.S.; KASUYA, M.C.M.; FERRAZ, S. *Pochonia chlamydosporia* promotes the growth of tomato and lettuce plants. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.37, n.4, p.417, 2015.
- DHIVYA, R.; SADASAKTHI, A.; SIVAKUMAR, M. Response of wild *Solanum* rootstocks to root-knot nematode (*Meloidogyne incognita* Kofoid and White). **International Journal of Plant Sciences**, v.9, n.1, p.117-122, 2014.
- FIELDS, P.G.; WHITE, N.D.G. Alternatives to Methyl Bromide treatments for stored-product and quarantine insects. **Annual Review of Entomology**, v.47, n.1, p.331-359, 2002.
- GLARE, T.; CARADUS, J.; GELERNTER, W.; JACKSON, T.; KEYHANI, N.; KÖHL, J.; MARRONE, P.; MORIN, L.; STEWART, A. Have biopesticides come of age? **Trends in Biotechnology**, v.30, n.5, p.250-258, 2012.
- HIRSCH, P.R.; ATKINS, S.D.; MAUCLINE, T.H.; MORTON, C.O.; DAVIES, K.G.; KERRY, B.R. Methods for studying the nematophagous fungus. **Plant and Soil**, v.232, n.1-2, p.21-30, 2001.
- HUANG, W.K.; SUN, J.H.; CUI, J.K.; WANG, G.F.; KONG, L.A.; PENG, H.; CHEN, S.L.; PENG, D.L. Efficacy evaluation of fungus *Syncephalastrum racemosum* and nematicide avermectin against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on cucumber. **Plos One**, v.9, n.2, p.1-6, 2014.
- JANG, J.Y.; CHOI, Y.H.; SHIN, T.S.; KIM, T.H.; SHIN, K.S.; PARK, H.W.; KIM, Y.H.; KIM, H.; CHOI, G.J.; JANG, K.S.; CHA, B.; KIM, I.S.; MYUNG, E.J.; KIM, J.C. Biological control of *Meloidogyne incognita* by *Aspergillus niger* F22 producing oxalic acid. **Plos One**, v.11, n.6, p.1-15, 2016.
- KHAN, A.; WILLIAMS, K. L.; NEVALAINEN, H. K. M. Infection of plant-parasitic nematodes by *Paecilomyces lilacinus* and *Monacrosporium lysipagum*. **Bio Control**, v.51, n.5, p.659-678, 2006.
- KUMAR, N.; SINGH, K.P. Use of *Dactylaria brochopaga*, a predacious fungus, for managing root-knot disease of wheat (*Triticum aestivum*) caused by *Meloidogyne graminicola*. **Mycobiology**, v.39, n.2, p.113-117, 2011.
- LACEY, L.A.; GRZYWACZ, D.; SHAPIRO-ILAN, D.I.; FRUTOS, R.; BROWNBRIDGE, M.; GOETTEL, M.S. Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. **Journal of Invertebrate Pathology**, v.32, n.1, p.1-41, 2015.
- LIU, T.; WANG, L.; DUAN, Y.X.; WANG, X. Nematicidal activity of culture filtrate of *Beauveria bassiana* against *Meloidogyne hapla*. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.24, n.1, p.113-118, 2008.
- MANZANILLA-LOPEZ, R.H.; ESTEVES, I.; FINETTI-SIALER, M.M.; HIRSCH, P.R.; WARD, E.; DEVONSHIRE, J.; HIDALGO-DIAZ, L. *Pochonia chlamydosporia*: advances and challenges to improve its performance as a biological control agent of sedentary endo-parasitic nematodes. **Journal of Nematology**, v.45, n.1, p.1-7, 2013.
- MUKHTAR, T.; ARSHAD, I.; KAYANI, M.Z.; HUSSAIN, M.A.; KAYANI, S.B.; RAHOO, A.M.; ASHFAQ, M. Estimation of damage to okra (*Abelmoschus esculentus*) by root-knot disease incited by *Meloidogyne incognita*. **Pakistan Journal of Botany**, v.45, n.3, p.1023-1027, 2013.
- MUKHTAR, T.; PERVAZ, I. *In vitro* evaluation of ovicidal and larvicidal effects of culture filtrate of *Verticillium chlamydosporium* against *Meloidogyne javanica*. **International Journal of Agriculture & Biology**, v.5, n.4, p.576-579, 2003.
- NORDBRING-HERTZ, B. Morphogenesis in the nematode-trapping fungus *Arthrobotrys oligospora* - an extensive plasticity of infection structures. **Mycologist**, v.18, n.3, p.125-133, 2004.
- PARRA, J.R.P. Biological control in Brazil: an overview. **Scientia Agricola**, v.71, n.5, p.345-355, 2014.
- SAHEBANI, N.; HADAVI, N. Biological control of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* by *Trichoderma harzianum*. **Soil Biology & Biochemistry**, v.40, n.8, p.2016-2020, 2008.
- SAXENA, G. Observations on the occurrence of nematophagous fungi in Scotland. **Applied Soil Ecology**, v.39, n.3, p.352-357, 2008.
- SEID, A.; FININSA, C.; MEKETE, T.; DECRAEMER, W.; WESEMAEL, W.M.L. Tomato (*Solanum lycopersicum*) and root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) - a century-old battle. **Nematology**, v.17, n.9, p.995-1009, 2015.
- SINGH, K.P.; BANDYOPADHYAY, P. Induction of trapping rings and assessment of predacity of *Dactylaria brochopaga* against some plant parasitic nematodes. **Indian Phytopathology**, v.54, n.2, p.233-239, 2001.

SUN, M.H.; GAO, L.; SHI, Y.X.; LI, B.J.; LIU, X.Z. Fungi and actinomycetes associated with *Meloidogyne* spp. eggs and females in China and their biocontrol potential. **Journal of Invertebrate Pathology**, v.93, n.1, p.22-28, 2006.

TRUDGILL, D.L.; BLOK, V.C. Apomictic, polyphagous root-knot nematodes: Exceptionally successful and damaging biotrophic root pathogens damaging biotrophic root pathogens. **Annual Review of Phytopathology**, v.39, n.1, p.53-77, 2001.

UNEP/TEAP. **Montreal Protocol on substances that deplete the Ozone layer**. Nairobi: assessment report of the technology and economic assessment panel, 1998.

WESEMAEL, W.; MOENS, M. Quality damage on carrots (*Daucus carota* L.) caused by the root-knot nematode *Meloidogyne chitwoodi*. **Nematology**, v.10, n.2, p.261-270, 2008.

XIE, H.; YAN, D.; MAO, L.; WANG, Q.; LI, Y.; OUYANG, C.; GUO, M.; CAO, A. Evaluation of methyl bromide alternatives efficacy against soil-borne pathogens, nematodes and soil microbial community. **Plos One**, v.10, n.2, p.1-12, 2015.

YANG, Y.; YANG, E.; AN, Z.; LIU, X. Evolution of nematode-trapping cells of predatory fungi of the Orbiliaceae based on evidence from rRNA-encoding DNA and multiprotein sequences. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.104, n.20, p.8379-8384, 2007.

ZUCKERMAN, B.M.; ESNARD, J. Biological control of plant nematodes - current status and hypotheses. **Japanese Journal of Nematology**, v.24, n.1, p.1-13, 1994.