

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade



Dissertação

**Fitonematoides associados a cereais de inverno no Rio Grande do Sul:
caracterização de espécies, aspectos bioclimáticos e reação de cultivares de
trigo a *Meloidogyne javanica* e *M. arenaria***

Mayara Rodrigues de Souza

Pelotas, 2025

Mayara Rodrigues de Souza

**Fitonematoides associados a cereais de inverno no Rio Grande do Sul:
caracterização de espécies, aspectos bioclimáticos e reação de cultivares de
trigo a *Meloidogyne javanica* e *M. arenaria***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Fitossanidade (área de conhecimento: Fitopatologia).

Orientador: Prof. Dr. Jeronimo Vieira de Araujo Filho

Coorientador: Profa. Dr^a Danielle Ribeiro de Barros

Pelotas, 2025

Mayara Rodrigues de Souza

Fitonematoides associados a cereais de inverno no Rio Grande do Sul:
caracterização de espécies, aspectos bioclimáticos e reação de cultivares de trigo a
Meloidogyne javanica e *M. arenaria*

Dissertação aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Fitossanidade (área de conhecimento: Fitopatologia), Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, Faculdade de Agronomia 'Eliseu Maciel', Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 24 de junho de 2025

Banca examinadora:

Prof. Dr Jeronimo Vieira de Araujo Filho
(Orientador)

Doutor em Ciências (Fitopatologia) pela Universidade de São Paulo

Prof(a). Dr^a Danielle Ribeiro de Barros

Doutor(a) em Agronomia (Fitopatologia) pela Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. Cesar Bauer Gomes

Doutor em Fitopatologia pela Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. Jansen Rodrigo Pereira Santos

Doutor em Fitopatologia pela Universidade de Brasília

Agradecimentos

Inicialmente agradeço o Professor Doutor Jeronimo Vieira de Araujo Filho, orientador cuja dedicação e lucidez científica conduziram este trabalho. Sua trajetória na nematologia inspira caminhos, e trilhar parte deles sob sua orientação foi um privilégio que marcou esta jornada acadêmica. Agradeço à Professora Doutora Danielle Ribeiro de Barros, cujo conhecimento e dedicação foram fundamentais para a superação de desafios metodológicos e o enriquecimento científico da pesquisa. Aos admiráveis Professores Doutores Cesar Bauer Gomes e Leandro José Dallagnol, cujo apoio foi essencial à realização deste trabalho, contribuindo não apenas com a cessão de equipamentos laboratoriais, mas também com valiosas contribuições intelectuais que enriqueceram significativamente esta pesquisa. O apoio desses professores foi fundamental para tornar possível a realização deste trabalho, oportunizando a ampliação de horizontes que antes não se mostravam ao olhar.

Ao meu estimado amigo e colega de laboratório Mestre Omar C. Tituaña, por ter me acompanhado em todo o percurso e em meio às exigências, sua presença representou um suave alento. Aos também amigos e colegas de laboratório Luiz Guilherme L. de Carvalho, Alexandre Caetano e Guilherme B. Nörmberg, pelo constante apoio, direta e indiretamente, na execução de diversas tarefas que contribuíram significativamente para o desenvolvimento das minhas atividades.

Aos meus queridos amigos Sabrina de Oliveira, Emanuelli Furtado, Juliana Wegner, que não só me deram suporte aos bons momentos ao longo desses anos, mas que dividiram comigo aprendizado, ideias e dúvidas, as quais possibilitaram minha evolução acadêmica. E estiveram presentes na execução de diversas tarefas ao longo desse percurso.

Aos meus pais Cleonice e Ataíde e minha irmã Ive, pelo suporte, amor e carinho para que eu chegasse até esse momento. À minha noiva, Samantha Seibt, pelo amor, companheirismo e dedicação incondicional a cada um dos meus projetos, sendo presença constante e apoio fundamental ao longo de todo o caminho.

A todos os excelentes professores que me guiaram até aqui. Aos colegas e funcionários da FAEM, que mantêm um ambiente de crescimento acadêmico e profissional. À Universidade Federal de Pelotas e à Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, por contribuírem mais uma vez com meu desenvolvimento. **Muito obrigada!**

Resumo

SOUZA, Mayara Rodrigues de. **Fitonematoides associados a cereais de inverno no Rio Grande do Sul: caracterização de espécies, aspectos bioclimáticos e reação de cultivares de trigo a *Meloidogyne javanica* e *M. arenaria***. Orientador: Jeronimo Vieira de Araujo Filho. Coorientador: Danielle Ribeiro de Barros. 91f. 2025. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade) – Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2025.

Os cereais de inverno desempenham papel estratégico nos sistemas de produção agrícola do Rio Grande do Sul, com importância significativa em âmbito regional e contribuindo para a diversificação dos cultivos. Entretanto, essas culturas estão predispostas ao ataque de patógenos, como os fitonematoides. Diante desse cenário, o presente trabalho objetivou: (i) realizar um levantamento de fitonematoides ocorrentes em áreas produtoras de cereais de inverno no Rio Grande do Sul; (ii) estudar a relação entre a distribuição de fitonematoides e variáveis bioclimáticas; e (iii) avaliar a reação de cultivares de trigo ('Lenox', 'TBIO Sossego', 'TBIO Calibre', 'TBIO Ponteiro', 'TBIO Duque' e 'TBIO Motriz') à *Meloidogyne javanica* e *M. arenaria*. Em relação ao levantamento, foram avaliadas 76 amostras em culturas de trigo (94,8%), aveia branca (2,6%), cevada (1,3%) e avevém (1,3%). Ao todo, 12 gêneros de fitonematoides, a saber: *Helicotylenchus* (100%), *Pratylenchus* (28%), *Rotylenchulus* (21%), *Xiphinema* (17%), *Scutellonema* (14%), *Meloidogyne* (13%), *Mesocriconema* (9%), *Rotylenchus* (7%), *Paratrichodorus* (5%), *Psilenchus* (3%), *Heterodera* (1%) e *Hoplolaimus* (1%). Dez espécies foram caracterizadas: *Helicotylenchus dihystra* (96,1%), *H. pseudorobustus* (3,9%), *Pratylenchus brachyurus*, *P. zeae* (8%), *P. penetrans* (3,9%), *Pratylenchus crenatus* (1,3%), *Scutellonema brachyurus* (14,5%), *Rotylenchulus reniformis* (19,7%), *M. javanica* (5,3%) e *M. incognita* (1,3%). O sequenciamento da região ribossomal ITS (ITS1-5.8S-ITS2) confirmaram, por meio do algoritmo blastn, os resultados obtidos *a priori*. As variáveis bioclimáticas relacionadas a temperatura e precipitação anual, temperatura no trimestre mais úmido e no mais seco, bem como a sazonalidade foram significativas ($p < 0,05$) para abundância dos fitonematoides, enquanto para incidência foi pouco influenciada por esses fatores. No que concerne a reação de cultivares de trigo, conduzidos sob casa de vegetação, testadas para *M. javanica*, obtiveram-se resistência para todas as cultivares, com fator de reprodução (FR) variando entre 0,06 e 0,22. Para *M. arenaria* os valores de FR variaram entre 1,02 e 1,71 e, dessa forma, todas as cultivares foram classificadas como suscetíveis. Os resultados sugerem que as cultivares avaliadas têm potencial para sistemas de sucessão em áreas infestadas por *M. javanica*, mas podem atuar como hospedeiras de *M. arenaria*. Os resultados revelam ainda uma diversidade de fitonematoides nas áreas amostradas e indicam que a escolha de cultivares de trigo pode influenciar a dinâmica de *Meloidogyne* em sistemas de sucessão.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*, *Hordeum vulgare*, *Avena sativa*, *Lolium multiflorum*, taxonomia.

Abstract

SOUZA, Mayara Rodrigues de. **Plant-parasitic nematodes associated with winter cereals in Rio Grande do Sul: characterization of species, bioclimatic aspects and reaction of wheat cultivars to *Meloidogyne javanica* and *M. arenaria*.**

Advisor: Jeronimo Vieira de Araujo Filho. Co-advisor: Danielle Ribeiro de Barros.

91p. 2025. Dissertation (Master's in Crop Protection) – Graduate Program in Crop Protection. Federal University of Pelotas, Pelotas, 2025.

Winter cereals play a strategic role in agricultural production systems in the Rio Grande do Sul, holding significant regional importance and contributing to crop diversification. However, these crops are susceptible to attacks by pathogens, such as plant-parasitic nematodes (PPNs). In this context, the present study aimed to: (i) conduct a survey of PPNs occurring in winter cereal-producing areas in Rio Grande do Sul; (ii) analyse the relationship between the distribution of PPNs and bioclimatic variables; and (iii) evaluate the host status of wheat cultivars ('Lenox', 'TBIO Sossego', 'TBIO Calibre', 'TBIO Ponteiro', 'TBIO Duque', and 'TBIO Motriz') to *Meloidogyne javanica* and *M. arenaria*. In relation to survey, 76 samples were analysed from fields cultivated with wheat (94.8%), white oats (2.6%), barley (1.3%), and ryegrass (1.3%). A total of 12 PPNs were identified for us, as follows: *Helicotylenchus* (100%), *Pratylenchus* (28%), *Rotylenchulus* (21%), *Xiphinema* (17%), *Scutellonema* (14%), *Meloidogyne* (13%), *Mesocriconema* (9%), *Rotylenchus* (7%), *Paratrichodorus* (5%), *Psilenchus* (3%), *Heterodera* (1%), and *Hoplolaimus* (1%). Ten species were characterized among these: *Helicotylenchus dihystra* (96.1%), *H. pseudorobustus* (3.9%), *Pratylenchus brachyurus*, *P. zae* (8%), *P. penetrans* (3.9%), *Pratylenchus crenatus* (1.3%), *Scutellonema brachyurus* (14.5%), *Rotylenchulus reniformis* (19.7%), *M. javanica* (5.3%), and *M. incognita* (1.3%). Molecular analyses of the ribosomal DNA ITS region (ITS1-5.8S-ITS2) confirmed through the algorithm blastn the results obtained *a priori*. Bioclimatic variables related to annual temperature and precipitation, as well as temperature during the wettest and driest quarters and seasonality were significant ($p < 0.05$) for PPN abundance, whereas incidence was only marginally affected by these variables. In relation to the host status of wheat cultivars obtained under greenhouse conditions to *M. javanica*, all cultivars were resistant, with values of reproductive factor (RF) ranging between 0.06 and 0.22. Regarding *M. arenaria*, the cultivars were susceptible, with RF values between 1.07 and 1.71. The results suggest that the evaluated wheat cultivars have potential for use in crop succession systems in areas infested with *M. javanica*, although they may act as hosts for *M. arenaria*. Still, the results revealed a diversity of PPNs in the sampled areas and indicated that the selection of wheat cultivars may influence *Meloidogyne* dynamics in crop succession systems.

Keywords: *Triticum aestivum*, *Hordeum vulgare*, *Avena sativa*, *Lolium multiflorum*, taxonomy.

Lista de Figuras

Figura 1 – Características morfológicas de fêmeas de <i>Helicotylenchus dihystra</i> identificadas em cereais de inverno no Rio Grande do Sul.....	36
Figura 2 – Características morfológicas de fêmeas de <i>Helicotylenchus pseudorobustus</i> identificadas em trigo no Rio Grande do Sul.....	37
Figura 3 – Características morfológicas de <i>Rotylenchulus reniformis</i> identificadas em trigo no Rio Grande do Sul.....	40
Figura 4 – Características morfológicas de <i>Scutellonema brachyurus</i> identificadas em trigo no Rio Grande do Sul.....	42
Figura 5 – Características morfológicas de <i>Pratylenchus zeae</i> em campos de trigo no Rio Grande do Sul.....	44
Figura 6 – Características morfológicas de <i>Pratylenchus brachyurus</i> em campos de trigo no Rio Grande do Sul.....	45
Figura 7 – Características morfológicas de <i>Pratylenchus penetrans</i> em campos de cereais de inverno no Rio Grande do Sul.....	47
Figura 8 – Características morfológicas de <i>Pratylenchus crenatus</i> identificadas em campos trigo no Rio Grande do Sul.....	49
Figura 9 – Características morfológicas de <i>Pratylenchus</i> sp. identificadas em campos de cereais de inverno no Rio Grande do Sul.....	50
Figura 10 – Características morfológicas de <i>M. incognita</i> e <i>M. javanica</i> identificadas em cereais de inverno no Rio Grande do Sul.....	58
Figura 11 – Fenótipos de esterase detectados em populações de <i>Meloidogyne</i> coletadas em trigo no Rio Grande do Sul.....	58

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Município, coordenadas geográficas, cultivares e tipos de solo das amostras coletadas no Rio Grande do Sul.....	20
Tabela 2 - Variáveis morfométricas utilizados para a identificação de espécies de <i>Helicotylenchus</i> , <i>Rotylenchulus</i> , <i>Scutellonema</i> e <i>Pratylenchus</i>	26
Tabela 3 – Variáveis Bioclimáticas usadas nos Modelos de Distribuição de Fitonematoides obtidas a partir do WordClim (www.worldclim.org/bioclim).	30
Tabela 4 - Incidência e abundância de fitonematoides em amostras (solo e raízes) provenientes de áreas de cereais de inverno no Rio Grande do Sul	32
Tabela 5 - Incidência e abundância de fitonematoides em amostras de solo e raiz provenientes de áreas de cereais de inverno no Rio Grande do Sul.	33
Tabela 6 – Morfometria de <i>Helicotylenchus dihystra</i> identificados em campos de cereais de inverno no Rio Grande do Sul.....	35
Tabela 7 - Morfometria de espécies de <i>Helicotylenchus pseudorobustus</i> identificados em campos trigo no Rio Grande do Sul	37
Tabela 8 - Morfometria de espécies de <i>Rotylenchulus reniformis</i> identificados em campos de trigo no Rio Grande do Sul	38
Tabela 9 - Morfometria de espécies de <i>Scutellonema brachyurus</i> identificados em campos de trigo no Rio Grande do Sul.	41
Tabela 10 - Morfometria de fêmeas de espécies de <i>Pratylenchus</i> identificados em campos de cereais de inverno no Rio Grande do Sul.	51
Tabela 11 – Identificação molecular de espécies por análise BLASTn, com respectivas amostras de ocorrência e estatísticas	53
Tabela 12 – Morfometria obtidas a partir de fêmeas e perineais de espécies de <i>Meloidogyne</i> identificados em campos de trigo no Rio Grande do Sul	56
Tabela 13 - Modelos lineares generalizados (GLMs) usados para examinar as relações entre variáveis ambientais (bioclimáticas e edáficas), abundância (Ab) e incidência (In) de fitonematoides. [<i>Helicotylenchus</i> (Helic), <i>Pratylenchus</i> (Praty), <i>Meloidogyne</i> (Melo), <i>Rotylenchulus</i> (Roty), <i>Scutellonema</i> (Scut), <i>Xiphinema</i> (Xiphi), <i>Mesocriconema</i> (Meso), <i>Rotylenchus</i> (Rtlic), Tylenchidae (Tylen)]	60
Tabela 14 - Reação de cultivares trigo a <i>Meloidogyne javanica</i>	71
Tabela 15 - Reação de cultivares trigo a <i>Meloidogyne arenaria</i>	73

Sumário

1. Introdução Geral.....	11
2 CAPÍTULO I – Levantamento de fitonematoides em cereais de inverno no Rio Grande do Sul.....	15
2.1 Introdução.....	15
2.2 Material e Métodos	18
2.2.1 Levantamento em cereais de inverno no Rio Grande do Sul	18
2.2.2 Amostragem, extração de espécimes e quantificação	18
2.2.3 Caracterização morfológica e morfométrica das espécies de <i>Helicotylenchus</i> , <i>Rotylenchulus</i> , <i>Scutellonema</i> e <i>Pratylenchus</i>	25
2.2.4 Caracterização molecular das espécies de <i>Helicotylenchus</i> , <i>Rotylenchulus</i> , <i>Scutellonema</i> e <i>Pratylenchus</i>	
2.2.5 Caracterização morfológica, morfométrica e bioquímica de espécies de <i>Meloidogyne</i>	28
2.2.6 Relações entre variáveis nematológicas e variáveis bioclimáticas.....	28
2.3 Resultados e Discussão	31
2.3.1 Levantamento de fitonematoides em áreas cultivadas com cereais de inverno	31
2.3.2 Caracterização de espécies de <i>Helicotylenchus</i> , <i>Rotylenchulus</i> , <i>Scutellonema</i> , <i>Pratylenchus</i> e <i>Meloidogyne</i>	33
2.3.3 Caracterização (morfológica, morfométrica e bioquímica) de espécies de <i>Meloidogyne</i>	54
2.3.4 Relações entre variáveis nematológicas (incidência e abundância) e variáveis bioclimáticas.....	59
2.4 Conclusões.....	65
3. CAPÍTULO II – Reação de cultivares de trigo a <i>Meloidogyne javanica</i> e <i>M. arenaria</i>	67
3.1 Introdução.....	67
3.2 Material e Métodos	69
3.2.1 Local, período experimental e cultivares de trigo testadas.....	69
3.2.2 Semeadura, inóculo, inoculação e condução experimental.....	69
3.2.3 Avaliação e variáveis obtidas	70
3.2.4 Delineamento experimental e análise estatística	70
3.3 Resultados e discussão	71
3.3.1 Teste de reação de cultivares de trigo com <i>Meloidogyne javanica</i>	71
3.3.2 Teste de reação de cultivares de trigo com <i>Meloidogyne arenaria</i>	72
3.4 Conclusões.....	74

4. Conclusões Finais	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

1. Introdução Geral

Os cereais representam a principal fonte de alimento para grande parte da população mundial, com ênfase para o trigo (*Triticum aestivum* L.), o milho (*Zea mays* L.) e o arroz (*Oryza sativa* L.), os quais se destacam pela ampla extensão das áreas cultivadas, elevados índices de produção e expressivo valor nutricional. Estima-se que aproximadamente 70% das terras destinadas à agricultura para cultivos alimentares sejam dedicadas aos cereais (Marathée; Gomez-MacPherson, 2001). Em diversos países, o trigo e a cevada (*Hordeum vulgare* L.) se destacam como as principais culturas de cereais. A China (140 milhões de toneladas), União Europeia (139 milhões de toneladas), Índia (110 milhões de toneladas) e Rússia (81,5 milhões de toneladas) são os maiores produtores mundiais de trigo enquanto o Brasil se destaca como um dos principais produtores de grãos do mundo, mas com expressiva relevância nas culturas de soja, milho e arroz (CONAB, 2024).

Dentre as unidades federativas do país, o Rio Grande do Sul ocupa a terceira posição no *ranking* nacional de produção de grãos. Embora a área destinada ao cultivo de cereais de inverno seja relativamente restrita em nível nacional, sua importância econômica é significativa em âmbito regional, como é o caso do trigo e cevada (CONAB, 2024). Os primeiros registros do cultivo de trigo no Rio Grande do Sul remetem ao ano de 1737, com a chegada de imigrantes açorianos (CONAB, 2017 *apud* Jacobsen, 2003). Sem grande protagonismo, a produção que era majoritariamente destinada à exportação, devido a uma série de fatores, incluindo-se problemas fitossanitários, entrou em declínio no século XIX (CONAB, 2017). Apenas no século XX, com a retomada da produção, proveniente da chegada de imigrantes alemães e italianos, ocorreu a criação das primeiras estações de pesquisa da cultura no estado, sendo possível a criação de cultivares adaptadas a região. Pesquisas realizadas nas décadas de 60 e 80, tornaram o trigo uma cultura de destaque, tendo incremento significativo de área, mas após alterações de políticas de exportação, em meados dos anos 80, houve grande competição com mercado externo, fazendo com que produtores mais uma vez optassem por culturas alternativas (CONAB, 2017). Apenas em 2000 seu cultivo foi estabilizado até os dias de hoje mantendo majoritariamente produção acima de 5 milhões de toneladas, sendo atualmente o Rio Grande do Sul e Paraná responsáveis por mais de 80% produção do país (CONAB, 2024). Na safra de 2023, o Rio Grande do Sul apresentou desempenho relevante na

produção de trigo, com rendimento de 7.276 mil toneladas com cultivo de trigo e 204,9 mil toneladas de cevada, representando 11% da produção de grãos do estado, com implementação de área cultivada nos últimos oito anos (CONAB 2024).

Além do trigo, a cevada é também um cereal de inverno de importância econômica, ficando entre os cinco cereais mais produzidos do mundo em 2023 (FAO, 2024). No Brasil, apesar de grande parte da necessidade de consumo ser abastecida por países vizinhos como Argentina e Uruguai, é notável a importância da cultura para os estados do sul, sendo o Rio Grande do Sul o segundo maior produtor com 204,9 mil toneladas na safra 2023, ficando atrás apenas do Paraná com produção de 622 mil toneladas (de Mori; Minella, 2012, CONAB, 2024). Além da importância dessas duas culturas, o Rio Grande do Sul ainda conta com a produção de outros cereais que complementam a atividade agrícola de inverno, como aveia (*Avena sativa* L.), canola (*Brassica napus* L.), centeio (*Secale cereale* L.) e tritcale ($\times$ *Triticosecale* Wittm. ex A.Camus) (CONAB, 2024).

Dentre os fatores determinantes do rendimento e qualidade das plantas estão os problemas fitossanitários (Liu; Wang, 2021). De maneira geral, esses fatores representam uma ameaça significativa à produtividade agrícola e no caso do trigo podendo causar perdas de até 50% do rendimento potencial (Oerke *et al.* 2006). Dentre as doenças associadas aos cereais de inverno encontram-se aquelas causadas por fitonematoides (Smiley; Nicol, 2009). Mundialmente, relatos desses patógenos vem sendo descritos em cereais de inverno como trigo e cevada e são notavelmente significativos, incluindo o nematoide do cisto, *Heterodera* Schmidt, 1871, e o nematoide das galhas radiculares, *Meloidogyne* Göldi, 1892, além de *Anguina tritici* (Steinbuch, 1799), *Ditylenchus dipsaci* (Kühn, 1857) e espécies de *Pratylenchus* Filipjev, 1936, como *Pratylenchus thornei* (Sher & Allen, 1953) e *P. neglectus* (Raski, 1952) (McDonald; Nicol, 2007; Castillo; Vovlas, 2007).

Nos Estados Unidos da América (EUA), foi reportado a presença de *P. neglectus*, pela primeira vez em 2005, e em 2022 foi efetuado o primeiro relato de *P. thornei*, também em campos de trigo, sendo ambos os principais fitonematoides na cultura para o país (May *et al.* 2016; Consoli; Dyer, 2024). Na província de Anhui (China) em um levantamento realizado por Li *et al.* (2018) foi relatado pela primeira vez *P. neglectus* em trigo. Na cevada, *P. thornei* pode interferir significativamente na produção (Murray; Brennan, 2010), enquanto a importância do monitoramento de áreas com ocorrência do fitonematoide foi destacada por Fanning *et al.* (2020), com o

objetivo de acompanhar sua densidade populacional, a qual pode variar de acordo com cada estação climática do ano. De maneira semelhante, espécies de *Meloidogyne* também possuem destaque em monocotiledôneas, como é o caso se *M. naasi* (Franklin, 1965), causando impacto na produção de grãos em países do continente europeu (Dos Santos *et al.* 2020).

No contexto brasileiro, há poucos e antigos registros de fitonematoides relacionados à produção de trigo disponíveis na literatura, com ênfase em espécies de *Meloidogyne*, *Pratylenchus* e *Ditylenchus* Filipjev, 1936 (Luz, 1982). Ademais, grande parte dos fitonematoides citados como parasitas de cereais, encontram-se na lista de pragas quarentenárias ausentes no país (MAPA, 2024). Neste cenário, destaca-se a relevância da taxonomia integrativa para a identificação precisa dos fitonematoides, especialmente em grupos com alta variabilidade morfológica ou presença de espécies crípticas (Schlick-Steiner *et al.* 2010; Scholz, 2024). Aplicações bem-sucedidas dessa abordagem têm sido demonstradas em diversos grupos de fitonematoides. A exemplo o gênero *Gracilacus*, historicamente questionado quanto sua classificação (Brzeski, 1963; Siddiqi 2000), através análises filogenéticas, que demonstraram que espécies dos gêneros *Gracilacus* e *Paratylenchus* formam grupos distintos, embora filogeneticamente próximos (Maria *et al.* 2018). Em *Meloidogyne*, a utilização de marcadores moleculares permitiu a identificação precisa de espécies, com o suporte de dados morfológicos e moleculares integrados (McClure *et al.* 2012). No caso do gênero *Helicotylenchus*, estudos recentes adotaram uma abordagem integrativa ao combinar análises morfológicas, morfométricas e moleculares para identificar com maior precisão as espécies associadas a *Musaceae* e elucidar suas relações filogenéticas, reforçando a aplicabilidade da taxonomia integrativa no contexto da nematologia agrícola (Ortíz *et al.* 2020).

Tendo em vista que muitos fitonematoides possuem ampla gama de hospedeiros (Ferraz; Brown, 2016), a inclusão de cultivares ou espécies suscetíveis em sistemas de rotação pode favorecer o aumento populacional desses patógenos, comprometendo não apenas a produtividade dos cereais de inverno, mas também das culturas subsequentes, como a soja. A elevação nas populações de *Helicotylenchus* Steiner, 1945, foi observada por Johnson *et al.* (1998), reforçando essa preocupação em sistemas sucessivos envolvendo trigo e soja, associadas a quedas no rendimento das culturas. Com efeito, a ocorrência de importantes grupos de fitonematoides, frequentemente em elevadas densidades populacionais, foi verificada por Márquez *et*

al. (2021) em levantamento realizado nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, abrangendo as principais regiões produtoras de soja do Rio Grande do Sul. De forma semelhante, a presença de três espécies do gênero *Meloidogyne* em áreas cultivadas com soja no estado foi identificada por Kirsch *et al.* (2016), sendo *M. javanica* (Treub, 1885) e *M. arenaria* (Neal, 1889) as espécies mais frequentemente detectadas.

Em razão de sua ampla gama de hospedeiros, facilidade de dispersão e elevada adaptabilidade a distintas condições de solo e clima de fitonematoides como *M. javanica* e *M. arenaria*, pode-se presumir que espécies vegetais cultivadas no inverno, tais como trigo e cevada, podem impactar nas densidades populacionais de fitonematoides (Karuri *et al.* 2017). Diante da magnitude dos prejuízos causados por essas espécies, torna-se indispensável o desenvolvimento e a aplicação de estratégias de manejo eficientes, voltadas à supressão de suas populações em áreas infestadas. Diversas técnicas são empregadas no manejo de fitonematoides, destacando-se o uso de agentes químicos (nematicidas) bem como práticas culturais, a exemplo da rotação e da sucessão de culturas (Van Der Putten *et al.* 2006). Nesse contexto, a utilização de cultivares com resistência genética aos fitonematoides surge como uma alternativa estratégica de grande relevância. Além de proporcionar um controle eficiente, essa forma de manejo destaca-se por sua sustentabilidade, praticidade e menor custo em comparação aos métodos químicos e culturais convencionais (Starr *et al.* 2002).

Considerando o crescente incremento de área cultivada com estas culturas nas regiões supramencionadas e a necessidade de estratégias de manejo dos fitonematoides previamente citados, teve-se por objetivo: (i) realizar um levantamento de fitonematoides ocorrentes em áreas produtoras cereais de inverno no estado do Rio Grande do Sul; (ii) estudar a relação entre a distribuição de fitonematoides e fatores bioclimáticos e, por fim, (iii) avaliar a reação (susceptibilidade/resistência) de cultivares de trigo a *M. javanica* e *M. arenaria* sob condições de casa de vegetação.

2 CAPÍTULO I – Levantamento de fitonematoides em cereais de inverno no Rio Grande do Sul

2.1 Introdução

É notável a participação de culturas de inverno para segurança alimentar ao redor do mundo (Devi; Mahapatra; Das, 2018). Conforme revisado por Ingram (2011), os componentes da segurança alimentar incluem a sua disponibilidade e sua utilização, incluindo produção, importação, reservas e acesso físico e econômico aos alimentos. As perdas nas culturas devido a doenças de plantas afetam diretamente o primeiro desses elementos e há também o impacto nos demais componentes de utilização dos alimentos, direta ou indiretamente, por meio das estruturas de comércio, políticas e sociedades (Zadoks *et al.* 2013).

Desafios fitossanitários sempre se fizeram presente, atingindo seu ápice durante a crise alimentar de 2008, gerando alta no preço de alimentos, incluindo o trigo (FAO, 2011). Perdas potenciais causadas por problemas fitossanitários podem ser de 50% enquanto perdas reais podem chegar a representar 26% a depender da cultura (Oerke *et al.* 2006). Diversos patógenos têm a capacidade de infectar culturas de cereais, abrangendo uma ampla gama que inclui diversas espécies de bactérias, oomicetos, fungos, vírus e fitonematoides (Dean *et al.* 2012). Os fungos são amplamente reconhecidos como um dos principais grupos de patógenos que afetam as culturas de cereais, exercendo sua ação em diversos níveis da fisiologia (Leonard; Bushnell, 2003; Nalley *et al.* 2016; Doehlemann *et al.* 2017).

Dentre os patógenos habitantes de solo, os fitonematoides podem ser os principais responsáveis pelas perdas econômicas em cereais de inverno, como é o caso de regiões na Austrália, onde o nematoide do cisto (*Heterodera* spp.) chega a causar perdas em cevada de 148 milhões de dólares. Além disso, o nematoide das lesões radiculares (*Pratylenchus* spp.) é associado a perdas em trigo e cevada no país (GRDC, 2018).

Diversos gêneros de nematoides fitoparasitas têm sido associados ao cultivo de trigo e cevada, destacando-se alguns como os de maior relevância econômica. (Handoo, 1998). Dessas, algumas das mais importantes encontram-se nos gêneros *Heterodera*, *Pratylenchus*, *Meloidogyne*, *Ditylenchus* e *Anguina* (Rivoal; Cook, 1993; McDonald; Nicol *et al.* 2007; Bockus *et al.* 2010). Os nematoides das lesões

radiculares, como *P. thornei* e *P. neglectus*, representam um desafio para a produção de trigo em sistemas de sequeiro em todo o mundo, uma vez que, ao parasitar as raízes, ocorre a redução do crescimento radicular e formação de lesões necróticas, as quais podem servir como locais propícios para infecções secundárias por fungos que causam a decomposição das raízes (Jones *et al.* 2013). De acordo com estudos realizados por Smiley *et al.* (2005) revelou a prevalência de espécies do gênero *Pratylenchus*, *P. thornei* e *P. neglectus*, em cultivos associados a cevada. De maneira similar, Thompson *et al.* (2010), relatou essas duas espécies associadas a cultura do trigo, destacando um aumento proporcional dos fitonematoides com o aumento em anos de cultivo agrícola. De acordo com Nicol *et al.* (2011), *P. thornei* é associado a perdas estimadas em até 85% na Austrália, 70% em Israel, além de relatos de danos também na região noroeste dos EUA. Na Austrália, um estudo conduzido por Owen *et al.* (2022), os autores relataram perdas em cevada de até 13% na produção de grãos. Em relação a *P. neglectus*, há registros de perdas de até 30% na Austrália (Vanstone *et al.* 2008). O gênero *Pratylenchus* é capaz de completar seu ciclo no sistema radicular da planta, característica que o permite sobreviver em solos semiáridos, onde nematoides de vida livre possuem sua atividade limitada (Williams *et al.* 2002; Vanstone *et al.* 1998).

Nematoides do cisto do gênero *Heterodera* também foram identificados em culturas de cereais, algumas espécies desse gênero de fitonematoides consistem em um complexo de várias espécies estreitamente relacionadas que têm distribuição global em plantas da família Poaceae (Nicol; Rivoal; Taylor, 2002). Perdas por *Heterodera avenae* (Wollenweber, 1924), foram relatadas em diferentes países; na Arábia Saudita, por exemplo, foram assinaladas perdas entre 40 e 92% no trigo entre 17 e 77% em cevada (Ibrahim *et al.* 1999), enquanto na Índia Mathur *et al.* (1986) constatou 40 a 50% de redução na produção de trigo e nos EUA, Smiley *et al.* (1994) observou redução de até 60% em áreas onde não há rotação de culturas. Na China, a presença de *H. avenae*, em densidades com potencial prejudicial, é estimada em 22% das áreas produtoras de trigo no país, podendo causar até 10% de perdas na cultura (Peng *et al.* 2009). De maneira similar, *H. latipons* (Franklin, 1969) reduziu em 50% a produção de cevada no Chipre (Philis *et al.* 1988). Além das espécies citadas, diversas espécies de *Meloidogyne* também são reconhecidas por atacar culturas de cereais. Algumas dessas espécies têm sido identificadas em plantas da família

Poaceae em regiões com diferentes condições climáticas (Wesemael; Viaene; Moens, 2011).

No Brasil, alguns dos fitonematoides citados como parasitas de cereais encontram-se na lista de praga quarentenária ausente (PQA) (MAPA, 2024). Os relatos de doenças causadas por fitonematoides em cereais de inverno no Brasil ainda são escassos e antigos, sendo que o último levantamento, realizado no Rio Grande do Sul, revelou a presença de 14 gêneros associados a cultura do trigo (Luz, 1982). Contudo, deve-se ressaltar que nas regiões produtoras os cereais de inverno são comumente incluídos em sistemas de sucessão com a soja, a qual já foi associada a mais de 100 fitonematoides (Ferraz, 2001). Em levantamento realizado por Márquez *et al.* (2021) em áreas do sul do país, relatou-se a presença de 10 gêneros, destacando-se *Meloidogyne*, *Pratylenchus* e *Helicotylenchus*. Considerando que muitos fitonematoides são polívoros (Ferraz; Brown, 2016) pode-se, em certa medida, deduzir que a hospedabilidade das cultivares e/ou culturas pode comprometer a estabilidade de determinados sistemas agrícolas.

Diante do cenário exposto, teve-se por objetivos: (i) identificar e quantificar os principais fitonematoides incidentes em áreas cultivadas com cereais de inverno no Rio Grande do Sul; (ii) avaliar a relação entre variáveis bioclimáticas e a ocorrência dos fitonematoides; (iii) caracterizar (morfologia, morfometria e molecular) espécies de *Helicotylenchus*, *Rotylenchulus* Linford & Oliveira, 1940, *Pratylenchus* e *Scutellonema* Andrassy, 1958; e (iv) caracterizar (bioquimicamente e morfologicamente) as espécies de *Meloidogyne* detectadas em áreas de cultivo de cereais de inverno. Coletivamente, espera-se que os resultados obtidos possam servir de subsídio para a implementação de estratégias eficazes de manejo desses fitonematoides.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Levantamento em cereais de inverno no Rio Grande do Sul

Ao total, 76 amostras foram coletadas em áreas cultivadas com trigo (94,8%), aveia branca (2,6%), cevada (1,3%) e azevém (1,3%) no Rio Grande do Sul, nos municípios de Alegrete, Arroio Grande, Barra do Quaraí, Candido Godói, Canguçu, Capão do Leão, Catuípe, Cerrito, Cruz Alta, Dom Pedrito, Ijuí, Lavras do Sul, Muitos Capões, Piratini, Rolador, Rosario do Sul, Santana da Boa Vista, Santana do Livramento, Santo Ângelo, Santo Antônio das Missões, São Francisco de Assis, São Martinho da Serra, Uruguaiana e Vacaria. Do total de amostras, 64 foram coletadas durante as safras de 2023 e 2024 enquanto as demais (#12) foram previamente coletadas e quantificadas (gêneros) em 2022 e mantidas rotineiramente sob condições de casa de vegetação, efetuando-se a partir delas a caracterização de espécies e demais análises. Todas as amostras foram codificadas sequencialmente, conforme a Tabela 1.

2.2.2 Amostragem, extração de espécimes e quantificação

Nas áreas amostradas foram coletadas, aleatoriamente, na profundidade de 0 - 25 cm (rizosfera), cerca de 5 a 10 subamostras de solo para compor a amostra composta. A coleta de raízes não foi realizada para todas as amostras, sendo efetuada nas amostras referentes à safra de 2022 (T01 a T12) e, de forma excepcional, em algumas amostras da safra de 2023 e 2024, especificamente de T64 a T70.

Em relação as amostras de solo, foi empregado o método de flotação-centrifugação, conforme Jenkins (1964). Assim, após a homogeneização da amostra (250 cm³), a suspensão resultante foi submetida a peneiramento (20 e 400 mesh), seguido por 2 centrifugações subsequentes a 1776 rpm (5 e 1 minuto). Os espécimes foram recuperados a partir da solução de sacarose. A extração dos espécimes a partir de raízes foi realizada pelo método proposto por Coolen; D'Herde (1972). Para esse procedimento, foram selecionados 10 g de raízes, que, após a trituração, foram submetidas a peneiramento sequencial (20 e 500 mesh) e, em seguida, a duas etapas de centrifugação a 1.776 rpm e utilizando também solução de sacarose.

A quantificação dos espécimes foi realizada com o auxílio de microscópio óptico, utilizando ampliações de 40x e 100x, com auxílio da câmara de Peters. A partir das contagens, foram estimadas as respectivas densidades populacionais. A identificação dos gêneros de fitonematoides (grupos morfológicos) baseou-se na análise de características morfológicas, tais como forma e tamanho do corpo e do estilete, número de anéis labiais, conformação da região esofagiana, posição da vulva e morfologia da cauda (Mai; Lyon, 1982). No caso das amostras de raízes, os ovos foram atribuídos ao gênero com maior frequência relativa. No caso dos indivíduos pertencentes a família Tylenchidae, a identificação foi realizada apenas até o nível de família, devido à complexidade taxonômica do grupo. Em relação ao gênero *Psilenchus*, embora seja possível encontrar alguns estudos o associando a família Tylenchidae, o presente estudo foi baseado nas referências de Siddiqi (2000), no qual este gênero está filiado a família Psilenchidae.

Neste estudo, a incidência (%) refere-se à proporção de amostras contendo determinado táxon em relação ao total de amostras analisadas. Doravante, as estimativas de densidade populacional — expressas em número de espécimes por 250 cm³ de solo ou por 10 g de raiz — serão denominadas como abundância, conforme adotado por Simon *et al.* (2018).

O solo infestado não utilizado na extração foi empregado como substrato para semeadura em vasos (1L) objetivando manter os espécimes em elevadas densidades populacionais para estudos taxionômicos posteriores. Desse modo, plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L. “Santa Clara”), soja, trigo (‘TBIO Aton’) e feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) foram semeadas visando a manutenção e/ou multiplicação das populações encontradas.

Tabela 1- Município, coordenadas geográficas, cultivares e tipos de solo das amostras coletadas no Rio Grande do Sul.

Município	Código da amostra	Coordenadas Geográficas		Cultura	Cultivar	Tipo de Solo ^a
		Latitude	Longitude			
Cândido Godoi	*T01	-27.936667	-54.728611	Trigo	TBIO Sossego	Ferralsols
Cândido Godoi	*T02	-27.945000	-54.703056	Trigo	TBIO Sossego	Ferralsols
Cândido Godoi	*T03	-27.933889	-54.714444	Trigo	TBIO Sossego	Ferralsols
Cândido Godoi	*T04	-27.981944	-54.701389	Trigo	TBIO Sossego	Ferralsols
Cândido Godoi	*T05	-27.929444	-54.712500	Trigo	TBIO Sossego	Ferralsols
Ijuí	*T06	-28.441944	-53.883056	Trigo	TBIO Ponteiro	Ferralsols
Cruz Alta	*T07	-28.649722	-53.666667	Trigo	ORS Feroz	Ferralsols
Cruz Alta	*T08	-28.780000	-53.691667	Trigo	N.I.	Ferralsols
Cruz Alta	*T09	-28.742222	-53.508056	Trigo	N.I.	Cambisols
Santana Boa Vista	*T10	-30.962222	-53.046944	Trigo	TBIO Audaz	Cambisols
Santana Boa Vista	*T11	-30.961667	-53.061667	Trigo	TBIO Audaz	Ferralsols
Rosário do Sul	*T12	-30.199028	-55.318278	Trigo	ORS 1403	Ferralsols
São Francisco de Assis	T13	-29.342583	-55.434278	Trigo	TBIO Ponteiro	Ferralsols
Catuípe	T14	-28.361111	-54.146833	Trigo	TBIO Audaz	Ferralsols
Catuípe	T15	-28.279778	-53.998167	Trigo	TBIO Audaz	Ferralsols
Santo Ângelo	T16	-28.262889	-54.213889	Trigo	TBIO Audaz	Ferralsols
Catuípe	T17	-28.265194	-54.074472	Trigo	TBIO Audaz	Ferralsols

Tabela 1 – Município, coordenadas geográficas, cultivares e tipos de solo das amostras coletadas no Rio Grande do Sul.

Município	Código da amostra	Coordenadas Geográficas		Cultura	Cultivar	Tipo de Solo ^a
		Latitude	Longitude			
Catuípe	T18	-28.283389	-54.082722	Trigo	TBIO Audaz	Ferralsols
Catuípe	T19	-28.305333	-54.095250	Trigo	TBIO Audaz	Ferralsols
Catuípe	T20	-28.313194	-54.105389	Trigo	TBIO Audaz	Ferralsols
Catuípe	T21	-28.306556	-54.105222	Trigo	TBIO Audaz	Ferralsols
Catuípe	T22	-28.363472	-54.150111	Trigo	TBIO Audaz	Ferralsols
Catuípe	T23	-28.360278	-54.149111	Trigo	TBIO Audaz	Ferralsols
Santo Antônio das Missões	T24	-28.423639	-55.271861	Trigo	ORS Guardiã	Ferralsols
Capão do Leão	T25	-31.769222	-52.450389	Trigo	TBIO Audaz	Planosols
Capão do Leão	T26	-31.773917	-52.512667	Trigo	TBIO Audaz	Planosols
Canguçu	T27	-31.478028	-52.669167	Trigo	TBIO Audaz	Acrisols
Canguçu	T28	-31.478028	-52.669167	Trigo	TBIO Aton	Acrisols
São Francisco de Assis	T29	-29.554444	-55.127222	Trigo	TBIO Aton	Acrisols
Uruguaiana	T30	-29.970778	-57.168472	Trigo	TBIO Ponteiro	Planosols
Uruguaiana	T31	-29.971806	-57.171556	Trigo	TBIO Ponteiro	Planosols
Uruguaiana	T32	-29.895313	-56.863565	Trigo	TBIO Ponteiro	Phaeozems
Santana do Livramento	T33	-30.848528	-55.516028	Trigo	TBIO Blanc	Acrisols

Tabela 1 – Município, coordenadas geográficas, cultivares e tipos de solo das amostras coletadas no Rio Grande do Sul.

Município	Código da amostra	Coordenadas Geográficas		Cultura	Cultivar	Tipo de Solo ^a
		Latitude	Longitude			
Santana do Livramento	T34	-30.848528	-55.516028	Trigo	TBIO Blanc	Acrisols
Rosário do Sul	T35	-30.22625	-54.755944	Trigo	TBIO Ponteiro	Acrisols
Rosário do Sul	T36	-30.230667	-54.752750	Trigo	FPS Regente	Acrisols
Alegrete	T37	-29.823667	-55.884722	Trigo	TBIO Blanc	Planosols
São Martinho da Serra	T38	-29.414528	-53.811111	Trigo	TBIO Calibre	Acrisols
São Martinho da Serra	T39	-29.405389	-53.823500	Trigo	TBIO Ponteiro	Acrisols
São Martinho da Serra	T40	-29.402583	-53.825833	Trigo	TBIO Triunfo	Acrisols
São Martinho da Serra	T41	-29.402667	-53.819861	Trigo	TBIO Duque	Acrisols
Piratini	T42	-31.635361	-53.170056	Trigo	TBIO Ponteiro	Acrisols
Piratini	T43	-31.623139	-53.165833	Trigo	N.I.	Acrisols
Piratini	T44	-31.641417	-53.153222	Trigo	N.I.	Acrisols
Piratini	T45	-31.688556	-53.040139	Trigo	N.I.	Acrisols
Piratini	T46	-31.684111	-53.043528	Trigo	N.I.	Acrisols
Cerrito	T47	-31.728000	-52.860333	Trigo	N.I.	Acrisols
Cerrito	T48	-31.729222	-52.858194	Trigo	N.I.	Acrisols
Arroio Grande	T49	-32.189139	-53.004056	Trigo	N.I.	Planosols

Tabela 1 – Município, coordenadas geográficas, cultivares e tipos de solo das amostras coletadas no Rio Grande do Sul.

Município	Código da amostra	Coordenadas Geográficas		Cultura	Cultivar	Tipo de Solo ^a
		Latitude	Longitude			
Arroio Grande	T50	-32.186750	-53.006222	Trigo	N.I.	Planosols
Arroio Grande	T51	-32.168167	-53.000667	Trigo	N.I.	Planosols
Arroio Grande	T52	-32.170250	-52.991389	Trigo	N.I.	Planosols
Arroio Grande	T53	-32.170250	-52.991389	Trigo	N.I.	Planosols
Santana do Livramento	T54	-30.848528	-55.516028	Azevém	N.I.	Acrisols
Santana do Livramento	T55	-30.848528	-55.516028	Trigo	N.I.	Acrisols
Santana do Livramento	T56	-30.848528	-55.516028	Trigo	N.I.	Acrisols
Rolador	T57	-28.255194	-54.819806	Trigo	ORS Guardião	Ferralsols
Rolador	T58	-28.255194	-54.819806	Trigo	ORS Guardião	Ferralsols
Rolador	T59	-28.255194	-54.819806	Trigo	TBIO Audaz	Ferralsols
Rolador	T60	-28.255194	-54.819806	Trigo	XBIO Fusão	Ferralsols
Dom Pedrito	T61	-30.984380	-54.895010	Trigo	BRS Tarumã	Planosols
Dom Pedrito	T62	-30.981667	-54.677500	Trigo	ORS Guardião	Planosols
Vacaria	T63	-28.392972	-51.010778	Trigo	ORS Guardião	Cambisols
Vacaria	T64	-28.464528	-51.012722	Trigo	ORS Guardião	Nitisols
Vacaria	T65	-28.262056	-50.949500	Cevada	ABI Rubi	Ferralsols

Tabela 1 – Município, coordenadas geográficas, cultivares e tipos de solo das amostras coletadas no Rio Grande do Sul.

Município	Código da amostra	Coordenadas Geográficas		Cultura	Cultivar	Tipo de Solo ^a
		Latitude	Longitude			
Vacaria	T66	-28.344861	-51.031972	Aveia	N.I.	Nitisols
Vacaria	T67	-28.513639	-50.980056	Trigo	N.I.	Nitisols
Vacaria	T68	-28.513639	-50.980056	Trigo	N.I.	Nitisols
Muitos Capões	T69	-28.216278	-51.119278	Trigo	N.I.	Ferralsols
Vacaria	T70	-28.286167	-50.967722	Aveia	N.I.	Cambisols
Barra do Quaraí	T71	-29.999833	-57.320892	Trigo	BRS Tarumã	Planosols
Barra do Quaraí	T72	-29.963379	-57.291603	Trigo	TBIO Audaz	Planosols
Santana do Livramento	T73	-31.263639	-54.949639	Trigo	TBIO Ponteiro	Acrisols
Dom Pedrito	T74	-31.307170	-54.875980	Trigo	BRS Tarumã	Planosols
Lavras do Sul	T75	-30.757830	-54.388700	Trigo	TBIO Audaz	Phaeozems
Lavras do Sul	T76	-30.811778	-53.884861	Trigo	BRS Campeiro	Acrisols

* Amostras coletadas no ano de 2022.

^a Classificação taxonômica dos solos obtida da World Reference Base for Soil Resources (WRB), sistema universal reconhecido pela International Union of Soil Science (IUSS) e FAO.

N.I. – Cultivar não informada

2.2.3 Caracterização morfológica e morfométrica das espécies de *Helicotylenchus*, *Rotylenchulus*, *Scutellonema* e *Pratylenchus*

Foi realizada a caracterização a nível de espécie dos gêneros *Helicotylenchus*, *Rotylenchulus*, *Pratylenchus* e *Scutellonema*. Estes gêneros foram selecionados para caracterização pelos critérios de incidência e/ou abundância nas amostras associados à sua importância para cultura da soja. Dessa forma, com exceção do gênero *Pratylenchus* (baixa densidade populacional) em algumas amostras, foram selecionados no mínimo 8 espécimes (fêmeas) de cada gênero em lâmina contendo formalina 4%. Em seguida, as lâminas foram observadas em microscópio óptico nas ampliações de 40-1.000X e a análise morfológica foi efetuada através da observação do formato da cauda, projeção ventral, espermateca, região labial, bulbo do estilete e forma do corpo (*post mortem*) (Tabela 2).

Posteriormente, fotografias dos espécimes foram obtidas por meio do software BELview 6.2 (Bel Engineering, 2025) utilizando câmera digital integrada com ampliações de 40-1.000X. As mensurações foram analisadas utilizando o software Digimizer (Medcalc software ltd, 2025). Estas características (Tabela 2) foram comparadas com as descrições e ilustrações fornecidas em chaves taxonômicas. Para *Helicotylenchus*, as características morfológicas e morfométricas obtidas foram comparadas com a chave de Sher (1966); para *Pratylenchus*, a chave de Handoo; Golden (1989) foi utilizada para comparação de fêmeas e para *Scutellonema*, também utilizando fêmeas, foi utilizada a chave disponibilizada por Kolombia *et al.* (2017). Para identificação de *Rotylenchulus*, foram utilizadas fêmeas imaturas e machos para comparação morfológica. Além disso, características foram comparadas em duas chaves dicotômicas, sendo a primeira proposta por Loof; Oostenbrink (1962) e segunda proposta por Robinson *et al.* (1997).

Objetivando-se comparar variações intraespecíficas dos morfótipos, foi realizada uma análise de agrupamento por meio do método não supervisionado “K-means”. Esta abordagem considerou cinco características taxonômicas e teve-se por finalidade identificar padrões de similaridade entre os indivíduos. Dessa forma, considerando-se o elevado número de análises, foi possível diminuir a redundância dos dados sem comprometer a representação da diversidade. A determinação do número ideal de grupos foi realizada por meio da aplicação do critério do somatório total das distâncias intragrupos, com base na análise gráfica conhecida como método

do cotovelo, permitindo identificar o melhor número de grupos a ser utilizado, através do ponto de inflexão mostrado no gráfico (Umargono; Suseno; Gunawan, 2019). Este método foi utilizado para as espécies *H. dihystra*, *R. reniformis* e *Scutellonema brachyurus*.

Tabela 2 - Variáveis morfométricas utilizados para a identificação de espécies de *Helicotylenchus*, *Rotylenchulus*, *Scutellonema* e *Pratylenchus*

Acrônimo	Mensuração (µm)
L	Comprimento total do corpo
St	Comprimento do estilete
AB	Altura do Bulbo do estilete
Ex	Distância do poro excretor ao extremo anterior
LB	Largura do bulbo do estilete
AL	Altura da região labial
LI	Largura da região labial
Ø	Largura máxima do corpo
Lt	Comprimento da cauda
V	Distância do extremo anterior a vulva
VL	Distância do extremo posterior a vulva
VB	Largura do corpo ao nível da vulva
Índices de Man	
a	Comprimento do corpo/maior largura do corpo
c	Comprimento do corpo/comprimento da cauda
c'	Comprimento do corpo/maior largura do ânus
Porcentagem	
V%	Distância do extremo anterior à vulva x 100/L
Número de anéis	
Ran	Anéis entre o ânus e o extremo posterior
R	Quantidade de anéis labiais

2.2.4 Caracterização molecular das espécies de *Helicotylenchus*, *Rotylenchulus*, *Scutellonema* e *Pratylenchus*

A caracterização molecular foi realizada para as amostras T14, T15, T16, T17, T18, T21, T22, T30, T31, T35, T55, T58, T60 e T64 para *Helicotylenchus*, *Rotylenchulus*, *Scutellonema* e *Pratylenchus*. A partir da extração de espécimes do solo (Jenkins, 1964), um representante de cada espécie (morfótipo), previamente caracterizada, foi coletado, transferido para uma lâmina contendo uma gota de água estéril, fechada com lamínula, observada sob microscópio ótico, fotografada e mensurada conforme descrito anteriormente. Após obtenção da fotografia, o espécime foi transferido para uma gota de 4 µl de solução lise (WLB), constituída 880 µl de água deionizada 50 µl de KCl (1M), 10 µl de Tris HCl pH 8,2 (1M), 4,5 µl de Tween 20 (100 %), 3,3 µl de Proteinase K (20 mg/ml) e 2,5 µl de MgCl₂ (1M), metodologia adaptada de Machado; Silva; Ferraz (2019) e cortado em duas ou 3 partes, a depender o tamanho do indivíduo. As partes cortadas foram transferidas para um microtubo (0,2ml), contendo 15 µl de WLB. Posteriormente, os tubos foram incubados a 60 °C por 60 minutos, seguidos por 10 minutos a 95 °C para inativar a proteinase K, em termociclador Biorad T100 modelo 3D.

A amplificação dos fragmentos da região ITS do DNA ribossomal foi realizada por meio da reação em cadeia da polimerase (PCR), utilizando os iniciadores 5367 (5'-TTGATTACGTCCTGCCCTTT-3') e F195 (5'-TCCTCCGCTAAATGATATG-3'), conforme descrito por McClure *et al.* (2012). Assim, as reações foram conduzidas em termociclador, com volume final de 25 µl, composto por 5 µl da amostra com nematoide, 12,5 µl de conjunto Master Mix (Ludiwing), 0,5 µl de cada primer a 10 µM e 6,5 µl de água estéril, sob as seguintes condições: desnaturação inicial a 94 °C por 3 minutos; seguida por 40 ciclos de desnaturação a 94 °C por 1 minuto, anelamento a 55 °C por 1 minuto e extensão a 72 °C por 1 minuto; finalizando com uma etapa de extensão final a 72 °C por 10 minutos adaptado de McClure *et al.* (2012). Os produtos amplificados foram submetidos à eletroforese em gel de agarose (1,0%), em tampão TBE 0,5X a 100V/cm, utilizando 5µL de reação, corados com GelRed e visualizados sob luz ultravioleta. Posteriormente, o DNA amplificado foi purificado e enviado para sequenciamento Sanger. As sequências obtidas ("forward" e "reverse") de cada amostra foram corrigidas, manualmente, com base nos cromatogramas, eliminando-se as extremidades e, posteriormente, convertidas em fita única (fita consenso),

utilizando os programas MEGA 11 (Tamura; Stecher; Kumar, 2021) e SnapGene 8.1.0 (Insightful Science, 2022). As sequências foram então analisadas utilizando-se o algoritmo BLASTn (Altschul *et al.* 1990)

2.2.5 Caracterização morfológica, morfométrica e bioquímica de espécies de *Meloidogyne*

Para caracterização de espécies de *Meloidogyne* foram realizados exames perineais (morfologia e morfometria) e observação de fenótipos de esterase (Machado; Silva; Ferraz, 2019). A preparação de lâminas foi realizada conforme metodologia descrita por Taylor; Netscher (1974). Assim, 8 fêmeas foram cuidadosamente dissecadas das galhas radiculares (tomate) e as regiões perineais foram analisadas sob microscópio óptico e comparadas com descrições previamente registradas na literatura (Taylor; Netscher 1974). Foram mensuradas a distância da vulva ao ânus, comprimento do arco dorsal e a largura e comprimento da fêmea.

A caracterização bioquímica foi realizada através a análise de isoenzimas de esterase (Est) por eletroforese em gel de poliacrilamida. Assim, 8 fêmeas aleatórias de coloração branco leitosa coletadas diretamente da raiz de tomateiro, seguindo metodologia de Carneiro; Almeida (2001). Cada fêmea foi adicionada individualmente a 5 µL da solução de extração, macerada e os extratos proteicos obtidos foram aplicados em poços de gel de poliacrilamida, constituído por gel empilhador a 4% (pH 6,8) e gel separador a 7,5% (pH 8,9). A eletroforese foi conduzida em cuba vertical, modelo VERT-i10 (LOCCUS). Após a etapa de revelação, foi determinada a mobilidade relativa (R_m) das isoformas, segundo critérios de Oliveira; Santos; Castro (2016). Utilizou-se como padrão extrato proteico de duas fêmeas de isolado previamente caracterizado de *M. javanica* (Est J3), conforme descrito por Carneiro; Almeida (2001).

2.2.6 Relações entre variáveis nematológicas e variáveis bioclimáticas

A partir das coordenadas geográficas (longitude e latitude) de cada localidade (Tabela 1), foi determinado o tipo de solo utilizando o software HWSD – Viewer 2.0 (FAO, 2020). Além disso, foi possível utilizando software R 4.1.1 (R Development Core Team, 2021) e os pacotes raster (Hijmans, 2025) e geodata (Hijmans *et al.* 2025),

obter do banco de dados do WordClim (<https://www.worldclim.org/>), 19 variáveis bioclimáticas (Tabela 3). As variáveis BIO1 (temperatura média anual) e BIO12 (precipitação anual), foram obrigatoriamente incluídas no modelo, uma vez que estudos anteriores já realizados por Márquez *et al.* (2021) demonstraram sua importância para os fitonematoides. As demais foram selecionadas utilizando fatores de variância de inflação ($VIF < 10$), a fim de evitar a colinearidade das variáveis. Dessa forma, só foram incluídas no modelo aquelas que não são fortemente correlacionadas entre si (colinearidade baixa) (Dormann *et al.* 2013).

Os modelos lineares generalizados (GLMs) foram ajustados para avaliar a relação entre as variáveis bioclimáticas e os fitonematoides, tanto para incidência quanto abundância. A seleção dos modelos foi realizada com base nos valores do Critério de Informação de Akaike (AIC) e VIF (Márquez *et al.* 2021). Para isso foram utilizados os pacotes raster (Hijmans *et al.* 2020), sf (Pebesma, 2018), usdm (Naimi; Araujo, 2014), MASS (Venables; Ripley, 2002), broom (Robinson, 2023) e tidyr (Wickham, 2023). Após a seleção do modelo final, foi possível analisar o efeito das variáveis bioclimáticas sendo classificadas como positiva ou negativa, ou ainda não significantes ($p > 0,05$), sobre as variáveis nematológicas (abundância e incidência). Além disso, os gêneros de menor representatividade foram excluídos da análise.

Tabela 3 – Variáveis Bioclimáticas usadas nos Modelos de Distribuição de Fitonematoides obtidas a partir do WordClim (www.worldclim.org/bioclim).

Variáveis	Descrições	Unidades
Bioclimáticas		
BIO1	Temperatura média anual	°C
BIO2	Intervalo médio diurno (média mensal (temperatura máxima - temperatura mínima))	°C
BIO3	Isotermalidade (BIO2/BIO7) (*100)	°C
BIO4	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão das temperaturas * 100)	°C
BIO5	Temperatura máxima do mês mais quente	°C
BIO6	Temperatura mínima do mês mais frio	°C
BIO7	Faixa anual de temperatura (BIO5-BIO6)	°C
BIO8	Temperatura média do trimestre mais úmido	°C
BIO9	Temperatura média do trimestre mais seco	°C
BIO10	Temperatura média do trimestre mais quente	°C
BIO11	Temperatura média do trimestre mais frio	°C
BIO12	Precipitação anual	mm
BIO13	Precipitação do mês mais chuvoso	mm
BIO14	Precipitação do mês mais seco	mm
BIO15	Sazonalidade de precipitação (coeficiente de variação)	mm
BIO16	Precipitação do quarto mais úmido	mm
BIO17	Precipitação do trimestre mais seco	mm
BIO18	Precipitação do quarto mais quente	mm
BIO19	Precipitação do trimestre mais frio	mm

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Levantamento de fitonematoides em áreas cultivadas com cereais de inverno

Ao total foram identificados 12 gêneros, um subgênero (*Pararotylenchus*) e uma família (Tylenchidae) de fitonematoides com variação na incidência e abundância conforme o grupo taxonômico. Em relação a incidência, o gênero *Helicotylenchus* esteve presente em 100% das amostras (todas as culturas), sendo o gênero mais amplamente distribuído. Em seguida, destacaram-se *Pratylenchus* (28%), encontrado em amostras de solo e raízes de trigo e aveia (T66), *Rotylenchulus* (21%), encontrado em amostras de solo na cultura trigo e aveia (T54), *Xiphinema* (17%), em amostras de solo coletadas em trigo, *Scutellonema* (14%) em amostras de solo coletadas em trigo, *Meloidogyne* (13%), em amostras de solo e raízes de trigo e com observação de fêmea obesa, *Mesocriconema* (9%), em amostras de solo coletadas em trigo e *Rotylenchus* (7%), em amostras de solo coletadas em trigo. Em menor magnitude, observaram-se os seguintes táxons: *Pararotylenchus* (3%), em amostras de trigo, *Paratrichodorus* (5%), em amostras de trigo, *Psilenchus* (3%), em amostras de trigo, *Heterodera* (1%), em amostra de solo coletada em trigo e *Hoplolaimus* (1%), encontrado em amostras de trigo.

Em ordem decrescente de abundância em amostras de solo, destacou-se *Helicotylenchus* com valores variando entre 37,5 e 2.713 indivíduos por 250 cm³ de solo, seguido pelos seguintes táxons: *Rotylenchulus* (25 a 4.438), *Pararotylenchus* (475 a 2.275), Tylenchidae (13 a 1.013), *Scutellonema* (62,5 a 712,5), *Xiphinema* (37,5 a 450), *Pratylenchus* (13 a 312,5), *Mesocriconema* (62,5 a 300), *Meloidogyne* (12,5 a 362,5), *Rotylenchus* (50 a 162,5), *Paratrichodorus* (50 a 162,5), *Heterodera* (250), *Psilenchus* (25 a 37,5) e *Hoplolaimus* (37,5). Nas raízes, os quatro gêneros encontrados tiveram abundância variável, a saber: *Helicotylenchus* (12,5 – 762), seguido por *Pratylenchus* (12,5 - 100), *Meloidogyne* (12,5 - 37,5) e *Rotylenchulus* (12,5).

Tabela 4 - Incidência e abundância de fitonematoides em amostras (solo e raízes) provenientes de áreas de cereais de inverno no Rio Grande do Sul

Solo			Raiz		
Táxon	Incidência (%)	Abundância ¹	Táxon	Incidência (%)	Abundância ²
<i>Helicotylenchus</i>	100	644,9 (2713-38)	<i>Helicotylenchus</i>	80,0	70,6 (88-13)
Tylenchidae ²	23,7	137,7 (1013-13)	<i>Pratylenchus</i>	45,0	26,2 (175-13)
<i>Pratylenchus</i>	21,1	80,5 (333-25)	<i>Meloidogyne</i>	10,0	2,5(38-13)
<i>Rotylenchulus</i>	19,7	822,9 (4438-25)	<i>Rotylenchulus</i>	5,0	0,6 (13)
<i>Xiphinema</i>	17,1	140,4 (450-38)			
<i>Scutellonema</i>	14,5	185,2 (712-63)			
<i>Meloidogyne</i>	11,8	73,6 (363-13)			
<i>Mesocriconema</i>	9,2	151,8 (300-63)			
<i>Rotylenchus</i>	6,6	95,0 (163-50)			
<i>Pararotylenchus</i> ³	2,6	1375 (2275-475)			
<i>Paratrichodorus</i>	5,3	81,2 (113-50)			
<i>Psilenchus</i>	2,6	31,2 (25-38)			
<i>Heterodera</i>	1,3	3,3 (250)			
<i>Hoplolaimus</i>	1,3	37,5 (38)			

¹ Abundância média de fitonematoides e amplitude (maior e menor valor encontrado em uma amostra) de fitonematoides por 250 cm³ de solo; ² Abundância média de fitonematoides por 10 gramas de raiz; ³ Classificação taxonômica a nível de subgênero.

2.3.2 Caracterização de espécies de *Helicotylenchus*, *Rotylenchulus*, *Scutellonema*, *Pratylenchus* e *Meloidogyne*

Ao todo foram caracterizadas dez espécies de fitonematoides, a saber: *H. dihystra* (Cobb, 1893), *H. pseudorobustus* (Steiner, 1914) Golden, 1945, *P. brachyurus*, *P. zae* (Graham, 1951), *P. penetrans* (Cobb, 1917), *P. crenatus* (Loof, 1960), *S. brachyurus* (Steiner, 1938), *R. reniformis* (Linford & Oliveira, 1940), *M. incognita* (Kofoid & White, 1919) e *M. javanica*, conforme apresentado na Tabela 5.

Amostras que continham mais de uma espécie do mesmo gênero não tiveram seus dados de abundância incluídos, uma vez que não foi possível realizar a diferenciação das espécies durante a contagem dos fitonematoides. O fitonematoide *H. dihystra* foi encontrado em 96,1% das amostras, sendo o fitonematoide com maior incidência enquanto *H. pseudorobustus* foi encontrado em apenas 3,9%. A segunda espécie de maior incidência foi *R. reniformis*, espécie que também apresentou maior abundância. Seguidamente, *S. brachyurus* foi encontrado em 14,5% das amostras e *P. zae* em 8%. As demais espécies foram encontradas em menor incidência, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Incidência e abundância de fitonematoides em amostras de solo e raiz provenientes de áreas de cereais de inverno no Rio Grande do Sul.

Espécies	Incidência (%)	Abundância ¹
<i>H. dihystra</i>	96,1	622,9 (37,5 – 2713)
<i>R. reniformis</i>	19,7	822,9 (25 – 4438)
<i>S. brachyurus</i>	14,5	185,2 (62,5 – 712,5)
<i>P. zae</i>	8,0	100,1 (13 – 313)
<i>M. javanica</i>	5,3	131,3 (37,5 – 362,5)
<i>H. pseudorobustus</i>	3,9	558,3 (62,5 – 1287,5)
<i>P. penetrans</i>	3,9	87,5 (25 – 50)
<i>P. brachyurus</i>	1,3	150 (150 – 150)
<i>M. incognita</i>	1,3	62,5 (62,5 – 62,5)
<i>P. crenatus</i>	1,3	—*

¹ Abundância média e amplitude (menor e maior valor encontrado em uma amostra) de nematoides por 250 cm³ de solo. —* encontrado apenas em amostras mistas

O gênero *Helicotylenchus* (Hoplolaimidae) abrange mais de 200 espécies e se destacam pela sua ampla distribuição geográfica (Marais, 2001). A espécie *H. dihystra* se destaca pela sua ampla distribuição geográfica e polifagia, além da capacidade de sobrevivência na ausência de hospedeiro por meses (Sidiqqi, 2000).

No presente estudo, em todas as amostras foram encontrados indivíduos desse gênero, sendo predominante a espécie *H. dihystra*, encontrados em trigo, aveia, azevém e cevada e em menor escala também foram encontrados indivíduos de *H. pseudorobustus*. encontrados apenas em amostras de solo provenientes de áreas cultivadas com trigo. Não foi observada a presença de populações mistas nas amostras para esse gênero. As principais diferenças entre as duas espécies foram: formato e comprimento da cauda, L e St. Os espécimes de *H. dihystra* apresentaram V% variando entre 61% e 67%, espermateca vazia e sem presença de macho, o St variou entre 21-24 μm e a DGO de 9 a 13 μm (Tabela 6). Em relação a *H. pseudorobustus*, obtiveram-se St entre 25,75 e 28,0 μm , DGO entre 9,75 e 11,50 μm e V% entre 59 e 61% (Tabela 7).

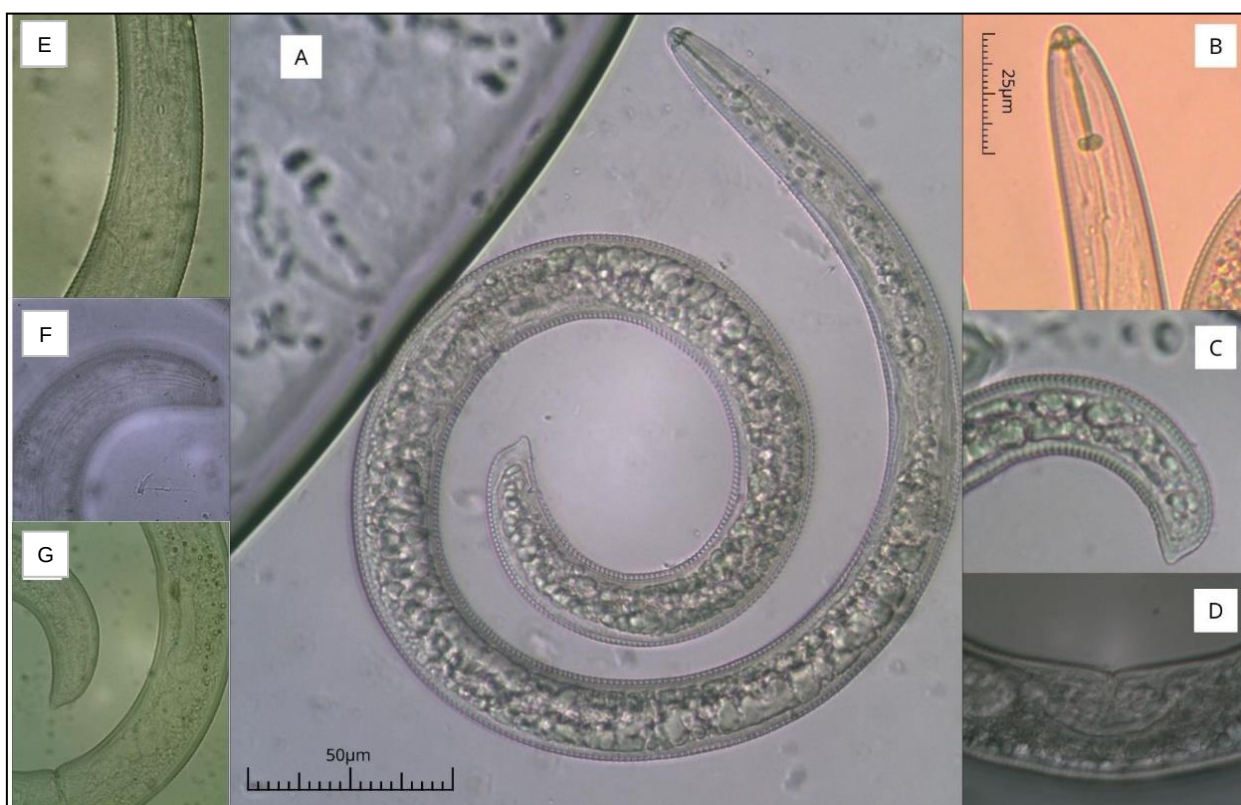
Tabela 6 – Morfometria de *Helicotylenchus dihystra* identificados em campos de cereais de inverno no Rio Grande do Sul

*Grupo		L	St	DGO	Ø	Lt	a	c	V%
1	Média	677	23,13	12,12	25,99	27,71	26,11	25,54	63%
	se	13,78	0,59	1,3	0,6	1,86	0,49	1,48	0,01
2	Média	667,98	24,71	12,08	25,98	15,62	25,86	43,11	61%
	se	3,88	0,15	0,11	0,19	0,18	0,27	0,43	0
3	Média	636,3	20,76	12,91	25,68	13,94	25,01	45,95	62%
	se	5,29	0,14	0,1	0,29	0,13	0,3	0,54	0
4	Média	752,2	22,61	12,76	23,78	14,22	32,9	53,23	67%
	se	3,84	0,13	0,09	0,22	0,12	1,39	0,39	0,01
5	Média	669,92	21,19	10,46	24,43	14,49	27,6	46,55	64%
	se	4,04	0,14	0,07	0,22	0,13	0,31	0,44	0
6	Média	743,54	24,32	12,13	28,84	15,12	25,78	49,52	65%
	se	4,2	0,21	0,12	0,2	0,15	0,27	0,54	0

L = Comprimento do corpo, DGO = distância da abertura dos ductos da glândula dorsal esofagiana aos nódulos basais do estilete, St= Comprimento do estilete, Ø = Largura máxima do corpo, Lt = Comprimento da cauda, V% = Distância da extremidade anterior à vulva, como porcentagem do comprimento total do corpo, a = Comprimento do corpo dividido pela maior largura, c = Comprimento do corpo dividido pelo comprimento da cauda, se = erro padrão. * Indivíduos agrupados por similaridade morfológica utilizando o algoritmo K-means.

Os resultados de incidência de *H. dihystra* corroboram outros levantamentos realizados no Rio Grande do Sul recentemente. Estudo realizado por Kirsch *et al.* (2016), apresentou resultados semelhantes em relação a incidência de *H. dihystra*, no qual foi encontrado em 100% das amostras coletadas em campos de soja. Outro estudo realizado também no Rio Grande do Sul por Ramos *et al.* (2024), em áreas de tabaco, *H. dihystra* também se destacou com 100% de incidência. Coletivamente, estes resultados demonstram a importância deste fitonematoide, seja pela sua distribuição geográfica, seja pela sua capacidade polífaga. A classificação de espécies de *Helicotylenchus* é complexa, uma vez que exibe elevada variação intraespecífica (Fortuner, 1979).

Figura 1 – Características morfológicas de fêmeas de *Helicotylenchus dihystra* identificadas em cereais de inverno no Rio Grande do Sul.



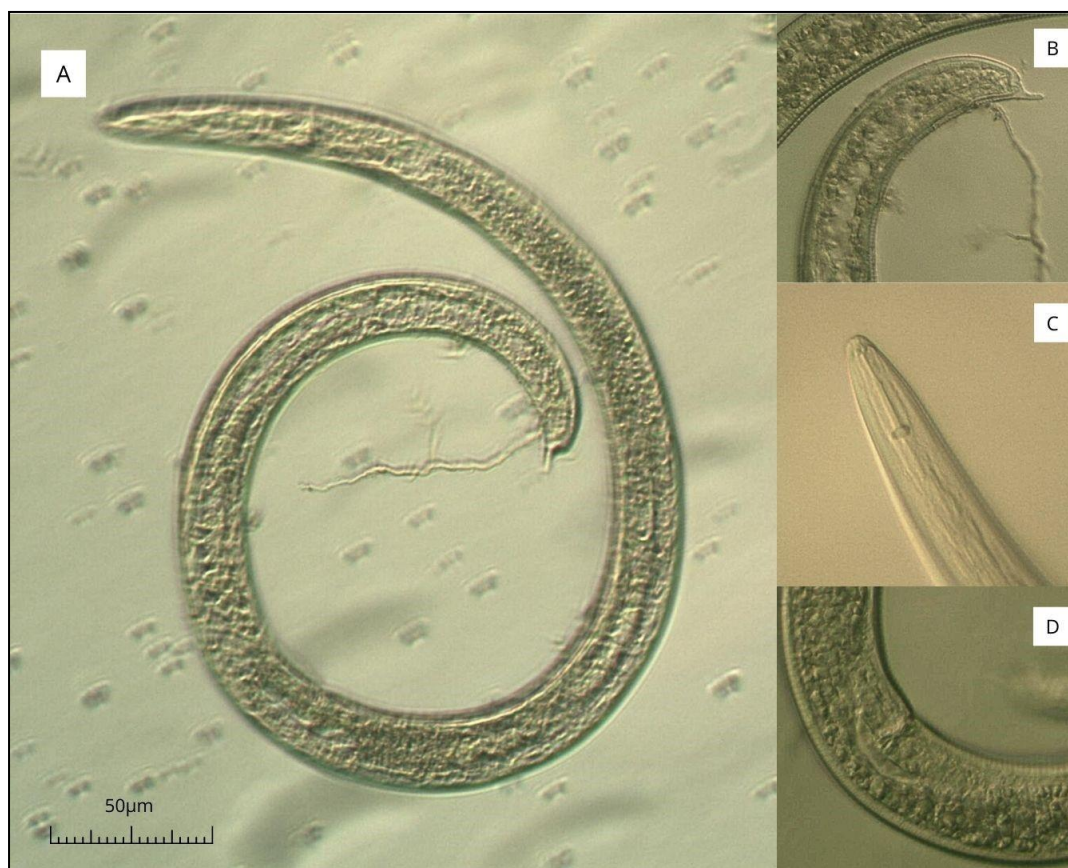
(A) Corpo inteiro; (B) região anterior do corpo, (C) região posterior do corpo, (D) região da vulva, (E) detalhe do poro excretor e bulbo médio, (F) linhas do campo lateral, (G) detalhe do ramo uterino.

Tabela 7 - Morfometria de espécies de *Helicotylenchus pseudorobustus* identificados em campos trigo no Rio Grande do Sul

Amostra		L (μm)	DGO (μm)	St (μm)	$\emptyset$ (μm)	(a)	(c)	(c')	V %
T30	Média	751,13	11,50	25,75	22,00	34,27	43,24	1,40	59%
	se	13,04	0,45	0,86	0,46	1,05	2,52	0,05	1%
T31	Média	807,56	9,75	28,00	27,75	29,23	36,32	1,53	60%
	se	12,06	0,17	0,31	0,83	0,76	1,12	0,06	1%
T32	Média	774,13	10,25	27,38	26,07	31,40	33,82	1,69	61%
	se	13,26	0,16	0,42	2,22	2,68	0,95	0,09	1%

L = Comprimento do corpo, DGO = distância da abertura dos ductos da glândula dorsal esofagiana aos nódulos basais do estilete, St= Comprimento do estilete, $\emptyset$ = Largura máxima do corpo, V% = Distância da extremidade anterior à vulva, como porcentagem do comprimento total do corpo, a = Comprimento do corpo dividido pela maior largura, c = Comprimento do corpo dividido pelo comprimento da cauda, c'=comprimento dividido pela largura no ânus, se = erro padrão

Figura 2 – Características morfológicas de fêmeas de *Helicotylenchus pseudorobustus* identificadas em trigo no Rio Grande do Sul.



(A) Corpo inteiro (B) região posterior do corpo (C) região anterior do corpo (D) região da vulva

O gênero *Rotylenchulus*, pertencente à família Hoplolaimidae, compreende 11 espécies válidas (Robinson *et al.* 1997). Não obstante, *R. reniformis* é a única espécie amplamente distribuída no país (Soares; Santos; Lehman, 2003). No presente estudo, 14 populações de *Rotylenchulus* foram caracterizadas como *R. reniformis*, sendo observadas exclusivamente em amostras provenientes (solo) de cultivos de trigo. As populações encontradas apresentaram baixa variação morfométrica, com a média das populações dentro das faixas descritas para espécie em apreço. Neste aspecto, o menor valor para L (376,7 μm) foi encontrado na amostra T60 e o maior valor de L (392 μm) na amostra T20. Outras características mensuradas estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Morfometria de espécies de *Rotylenchulus reniformis* identificados em campos de trigo no Rio Grande do Sul

Grupo*		L	St	DGO	$\emptyset$	Lt	(a)	(c)	V
		(μm)	(μm)	(μm)	(μm)	(μm)			%
1	Média	390,61	19,08	3,42	17,09	27,71	22,87	15,59	71%
	se	1,65	0,15	0,04	0,6	0,09	0,16	0,1	0
2	Média	376,68	19,42	3,5	16,64	15,62	22,68	14,05	70%
	se	1,05	0,16	0,05	0,19	0,11	0,17	0,09	0
3	Média	384,16	19,16	3,45	15,28	13,94	25,16	14,73	71%
	se	1,6	0,17	0,05	0,29	0,08	0,15	0,1	0

L = Comprimento do corpo, DGO = distância da abertura dos ductos da glândula dorsal esofagiana aos nódulos basais do estilete, St= Comprimento do estilete, $\emptyset$ = Largura máxima do corpo, V% = Distância da extremidade anterior à vulva, como porcentagem do comprimento total do corpo, a = Comprimento do corpo dividido pela maior largura, c = Comprimento do corpo dividido pelo comprimento da cauda, se = erro padrão. * Indivíduos agrupados por similaridade morfológica utilizando o algoritmo K-means.

Em estudo realizado por Lehman; Inserra (1990) os autores relataram que as principais características para diferenciar *R. parvus* (Williams, 1960) de *R. reniformis* são os valores de L, St e Lt em fêmeas imaturas. De modo semelhante, Palomares-Rios *et al.* (2020) identificaram que as mesmas variáveis — L, St e Lt — foram determinantes na distinção entre *R. macrosoma* (Dasgupta, Raski & Sher, 1968) e *R. borealis* (Loof & Oostenbrink, 1962). Dentre essas, *R. parvus* encontra-se na lista de Pragas Quarentenárias Ausentes (PQA) no Brasil (MAPA, 2024).

A espécie *R. reniformis* se destaca por sua ampla distribuição geográfica e por possuir uma vasta gama de hospedeiros, incluindo mais de 140 espécies de plantas (Jatala, 1991). Entretanto, a cultura do trigo não é considerada um bom hospedeiro para este fitonematoide. Com efeito, estudo realizado por Jones; Lawrence; Lawrence (2006) avaliou diferentes culturas de inverno, incluindo quatro cultivares de trigo, quanto ao fator de reprodução (população final/população inicial). Os resultados obtidos variaram de 0,24 a 0,51, indicando o potencial dessas cultivares na redução da população deste fitonematoide. Não obstante, as elevadas densidades populacionais encontradas em áreas de cultivo de trigo no Rio Grande do Sul podem estar associadas, muito provavelmente, à suscetibilidade da cultura anterior, somada à capacidade desse fitonematoide de sobreviver por longos períodos em anidrobiose sob condições desfavoráveis (Robinson *et al.* 1997).

Os resultados obtidos nesse estudo revelam a importância da espécie para o estado, uma vez que se fez presente em 19,7% das áreas amostradas. Este cenário reveste-se de preocupação, uma vez que, embora não tenha sido apresentado o parasitismo dessa espécie para cultura do trigo, demonstrou sua capacidade em permanecer em elevadas populações mesmo na ausência de hospedeiro favorável. Ademais, a cultura da soja, sendo a principal cultura de verão, pode ser utilizada em sistemas de cultivo com trigo e, conseqüentemente, ser afetada pela população inicial encontrada no campo.

Figura 3 – Características morfológicas de *Rotylenchulus reniformis* identificadas em trigo no Rio Grande do Sul.



(A) Região anterior da fêmea (B) corpo inteiro da fêmea (C) corpo inteiro do macho (D) região posterior da fêmea (E) região da vulva (F) região posterior do macho.

O gênero *Scutellonema* pertencente à família Hoplolaimidae abrangendo cerca de 48 espécies e está inserido na subfamília Hoplolaiminae; algumas das características da subfamília que se destacam são o fasmídeo normalmente aumentado e região cefálica deslocada Siddiqi (2000). As características observadas e comparadas com a chave dicotômica proposta por Kolombia *et al.* (2017) foram a presença de macho, L, St, V%, L, Ø, T, altura e largura da região labial, número de anéis labiais além de outras características listadas na Tabela 2. Diante disso, todas as populações encontradas foram caracterizadas como *S. brachyurus*, sendo observado estilete robusto, 3 anéis labiais quando possível observar, 4 linhas laterais e região labial hemisférica com leve deslocamento “offset” (Tabela 9).

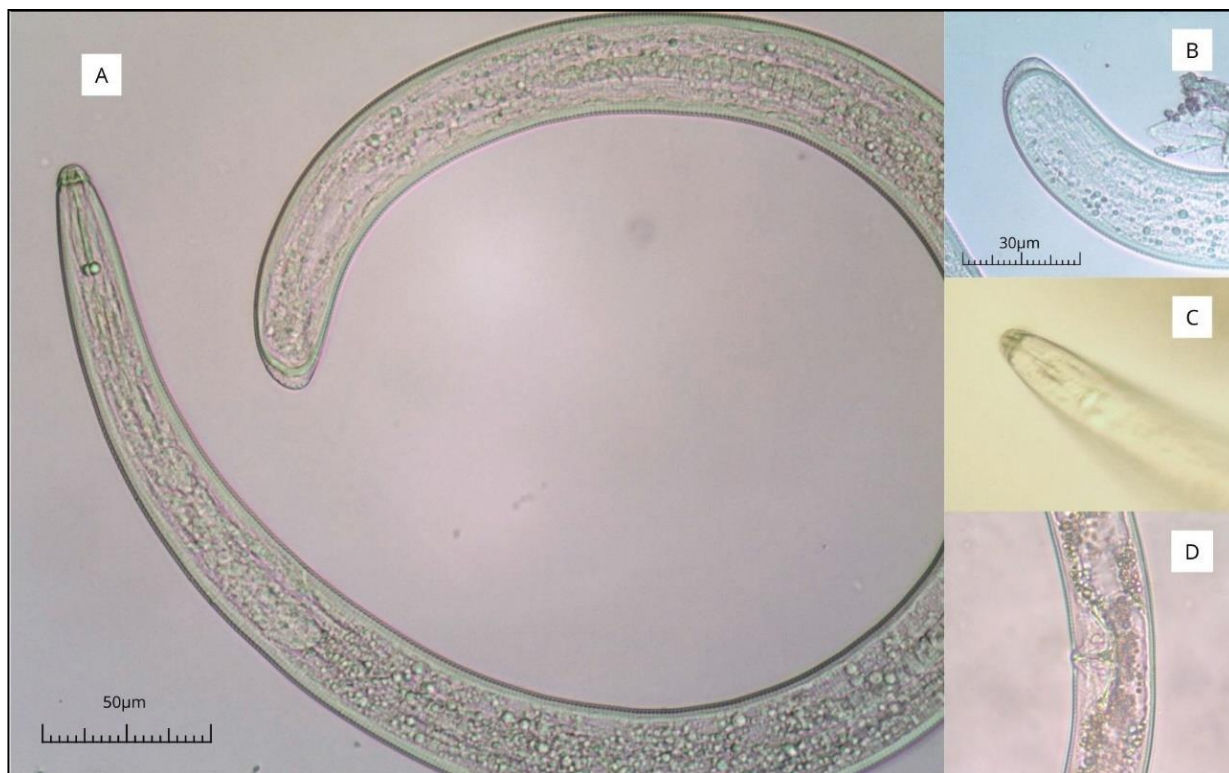
Tabela 9 - Morfometria de espécies de *Scutellonema brachyurus* identificados em campos de trigo no Rio Grande do Sul.

Grupo*		L	St	DGO	Ø	Lt	(a)	(c)	V
		(µm)	(µm)	(µm)	(µm)	(µm)			%
1	Média	773,73	28,61	4	27,07	37,14	28,61	21,28	57
	se	8,61	0,29	0,14	0,47	1,48	0,5	0,96	0,01
2	Média	737,86	25,97	4,48	26,31	26,22	27,97	28,34	59
	se	5,4	0,27	0,1	0,29	0,49	0,36	0,55	0,01
3	Média	803,26	29,53	4,48	29,02	25,92	27,71	31,3	61
	se	3,11	0,19	0,08	0,2	0,53	0,2	0,6	0,01
4	Média	818,03	28,42	4,44	26,06	26,29	31,41	31,32	60
	se	5,34	0,27	0,08	0,15	0,43	0,21	0,52	0

L = Comprimento do corpo, DGO = distância da abertura dos ductos da glândula dorsal esofagiana aos nódulos basais do estilete, St= Comprimento do estilete, Ø = Largura máxima do corpo, V% = Distância da extremidade anterior à vulva, como porcentagem do comprimento total do corpo, a = Comprimento do corpo dividido pela maior largura, c = Comprimento do corpo dividido pelo comprimento da cauda, se = erro padrão. * Indivíduos agrupados por similaridade morfológica utilizando o algoritmo K-means

No Brasil, *S. brachyurus* foi associado a cultivos de soja em diferentes regiões. Estudo realizado por Machado *et al.* (2019) em campos de soja, constatou a presença do fitonematoide em mais de 30% das amostras de solo e 15,7% em amostras de raiz; nesse mesmo estudo, também foram conduzidos experimentos em casa de vegetação, que comprovaram sua capacidade de parasitar plantas de soja. No Rio Grande do Sul, há poucos relatos da espécie, apenas um estudo antigo citou sua associação com plantas de tomateiro (Sperandio, 1992). Além de *S. brachyurus*, outras espécies encontradas no Brasil são *S. bizanae* Van der Berg and Heyns, 1973, relatado por Ferraz *et al.* (2006) em plantas daninhas não identificadas no estado de São Paulo e *S. bradys*, registrado por Lordello (1959) associado a plantas de inhame em Pernambuco.

Figura 4 – Características morfológicas de *Scutellonema brachyurus* identificadas em trigo no Rio Grande do Sul.



(A) Corpo da fêmea (B) detalhe da cauda (C) detalhe da região anterior (D) detalhe da vulva

Espécimes do gênero *Pratylenchus* foram encontrados em 16 das 76 amostras coletadas, para as quais apenas 10 amostras foram classificadas ao nível de espécie, isso ocorreu pois em algumas amostras além da baixa quantidade de espécimes, sem a observação de nenhum indivíduo adulto, bem como não foi possível a recuperação no solo amostrado utilizando plantas de soja, trigo e tomate. Dessa forma, não apresentando informações suficientes para caracterização. Assim, 4 espécies foram identificadas: *P. zae* representando 31,25% dos indivíduos do gênero, seguido de *P. penetrans* (18,75%), *P. brachyurus* (6,25%) e *P. crenatus* (6,25%), enquanto 37,5% foram mantidos como *Pratylenchus* spp. Dessa forma, foi o gênero que apresentou maior diversidade de espécies.

A espécie *P. zae* foi identificada exclusivamente em amostras solo na cultura do trigo. Nestas populações, não foram observados indivíduos de outras espécies do mesmo gênero, tampouco a presença de machos. As características taxonômicas observadas que se destacaram foram: a posição da vulva variando entre 74% e 77%,

formato da cauda pontiaguda, achatamento dos nódulos basais, região labial com 3 anéis, sendo uma característica importante para diferenciação das espécies, segundo Jesus *et al.* (2020).

As características observadas estão, em sua maioria, em consonância com outros estudos. Castillo; Vovlas (2007), consideram a variação de V% entre 68 - 76%, mas em estudo realizado no Rio Grande do Sul, a mesma apresentou variação entre as populações de 75 - 79% (Ramos *et al.* 2022). Além disso, populações (cana-de-açúcar) de *P. zae* observados por Bellé *et al.* (2014) apresentaram a posição da vulva mais anterior (71,17 - 72,98%). Ainda no Rio Grande do Sul, indivíduos de *P. zae* foram caracterizadas por Márquez *et al.* (2021) em lavouras de soja, apresentaram V% de 71%. Além dessa característica, estes estudos também apresentaram valores similares nas demais características observadas, como tamanho do corpo onde Bellé *et al.* (2014) relatou medidas de 431,80 a 512,61µm, enquanto De Ramos *et al.* (2022) observou medidas entre 468 e 528 µm. No presente estudo, a variação para essa característica foi de 495 – 569 µm entre populações.

Em levantamento realizado em cereais de inverno, *P. zae* foi associado a cultura do trigo em Anhui na China e com características próximas com valores médios de L de 490 µm, St =16,1 µm e Lt = 27,3 µm. Neste mesmo estudo, foi realizado o postulado de Koch a fim de comprovar o parasitismo do fitonematoide perante as cultivares de trigo, o qual foi confirmado através do FR igual a 2,65 (Gao *et al.* 2025). Ademais, outro estudo com o objetivo de verificar a reprodução de *P. zae* em diferentes espécies utilizadas na rotação de cultura em sistema com cana-de-açúcar, incluindo cereais de inverno como cultivares de trigo, cevada e aveia, observou a suscetibilidade de cultivares das três espécies, apresentando elevados valores de FR para algumas cultivares, como para Aveia 'Nugene' (FR= 11,9) e de maneira similar, uma cultivar de trigo apresentou FR de 7,8, enquanto uma cultivar de cevada apresentou FR igual a 4,2 (Stirling *et al.* 2010).

A hospedabilidade favorável de gramíneas de inverno para *P. zae*, incluindo trigo, cevada e aveia (Stirling *et al.* 2010) e a presença deste fitonematoide já relatada em diferentes culturas no Rio Grande do Sul (Márquez *et al.* 2021; Ramos *et al.* 2022; Bellé *et al.* 2014), reforça a importância da caracterização de *P. zae* em áreas de cultivo de cereais de inverno no Rio Grande do Sul, a fim de compreender sua distribuição, dinâmica populacional e potencial impacto na sucessão de culturas, especialmente nos sistemas que integram trigo e soja.

Figura 5 – Características morfológicas de *Pratylenchus zae* em campos de trigo no Rio Grande do Sul.



A: Região anterior da fêmea, B: corpo inteiro da fêmea, C: região posterior da fêmea.

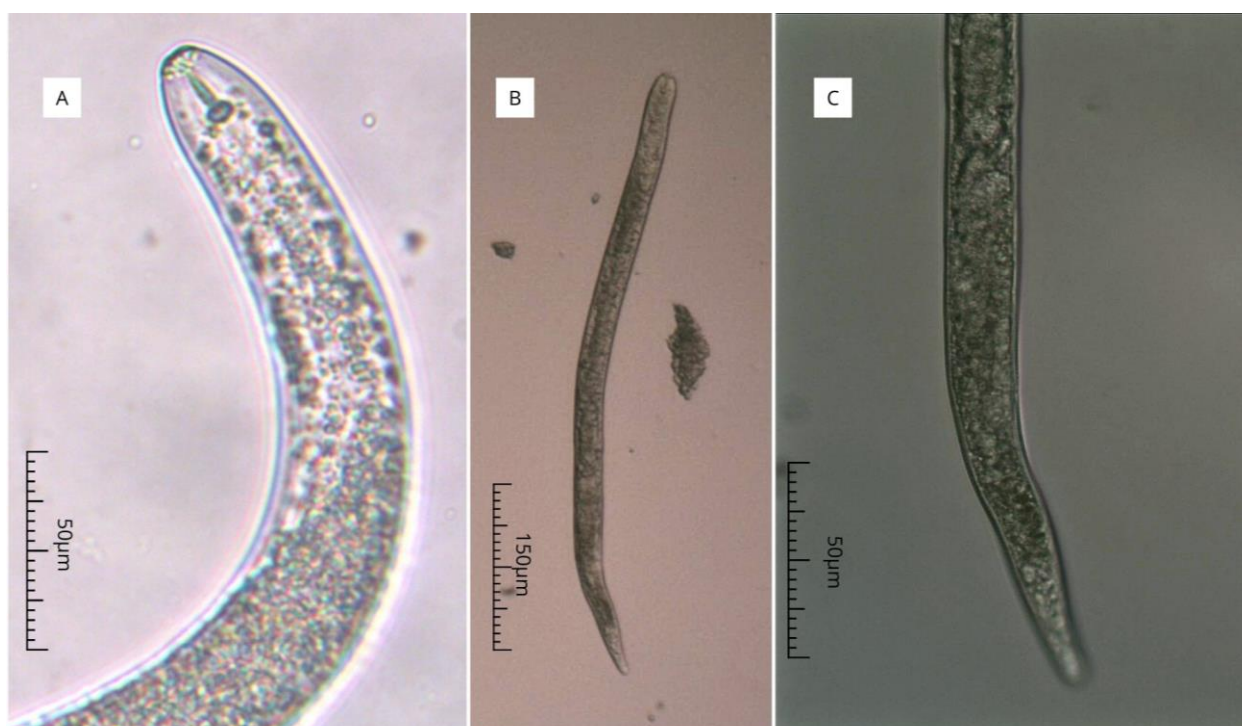
Além de *P. zae*, espécimes de *P. brachyurus* também foram caracterizadas, não sendo observada a presença de macho e nem a presença de espermateca cheia. Os espécimes foram observados em amostra de solo coletadas na cultura de trigo. Foi possível observar a predominância de nódulos basais arredondados e robustos, cauda arredonda e dois anéis labiais. Além disso, as medidas obtidas do tamanho do estilete ($St = 19,24 \mu m$) e posição da vulva ($V\%=85$) divergiram com indivíduos de outras espécies presentes nesse trabalho, além do comprimento do corpo ($L=533 \mu m$) (Tabela 10).

As características analisadas foram comparadas com as mensurações obtidas na literatura. A guisa de exemplificação, Márquez *et al.* verificou resultados similares, observando valores próximos de $V\%$ (85,2), St ($20,4 \mu m$) bem como os índices a (20,3), c (19,8) e c' (1,9) em soja no Rio Grande do Sul. Um estudo conduzido por Belle *et al.* (2014) em áreas de cana-de-açúcar no estado observou a presença desse fitonematoide em 35,38% das amostras coletadas e as características taxonômicas

encontradas corroboram com os achados nesse estudo, principalmente em relação ao formato dos nódulos basais do estilete, V% sendo 84%.

O fitonematoide *P. brachyurus* representa um dos principais problemas fitossanitários da soja (Ferraz, 2001). Segundo Nomura *et al.* (2024), a espécie foi encontrada nas principais regiões produtoras do país, incluindo o Rio Grande do Sul, o qual se encontra como quarto maior produtor de soja do Brasil, a qual é uma das principais opções de sucessão para cereais de inverno no estado (Pires *et al.* 2013; CONAB, 2017; 2025). Além disso, Nomura *et al.* (2024), destaca a importância desse fitonematoide para diferentes grandes culturas no Brasil.

Figura 6 – Características morfológicas de *Pratylenchus brachyurus* em campos de trigo no Rio Grande do Sul.



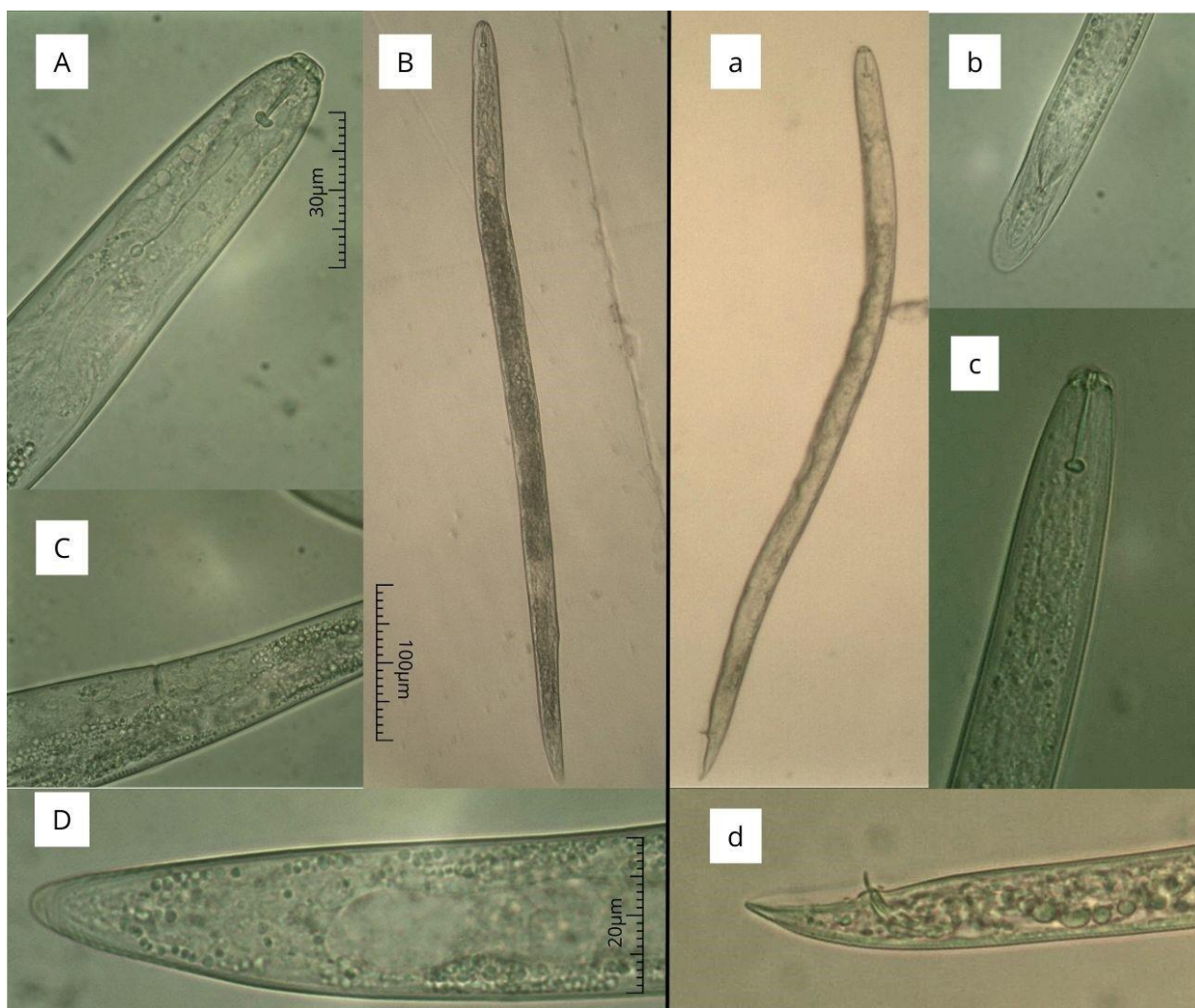
A: Região anterior da fêmea, B: corpo inteiro da fêmea, C: região posterior da fêmea.

Outro fitonematoide encontrado em campos de trigo e aveia (T66) no Rio Grande do Sul foi *P. penetrans* e sua caracterização foi associada a presença de machos raros. Embora seja importante a constatação de machos, sua caracterização não é considerada essencial para caracterizar a população. Dessa forma, apenas fêmeas foram mensuradas (Gonzaga *et al.* 2006). Os espécimes analisados apresentaram nódulos basais apresentando formato arredondado, em conformidade

com as descrições morfológicas de Castillo; Vovlas (2007). A maioria dos indivíduos exibiu cauda afilada e presença de três anéis labiais, característica considerada diagnóstica por diversos autores (Márquez *et al.* 2021; Gonzaga *et al.* 2006; Castillo; Vovlas (2007). Os valores de V% variaram entre 79% e 81%, se destacando quando comparada a *P. zae* e *P. brachyurus*. Outras características morfológicas e morfométricas relevantes estão apresentadas na Tabela 10. Os valores de V% observados neste estudo são compatíveis com os intervalos relatados por Castillo; Vovlas (2007), os quais descreveram variação entre 73% e 80% para essa mesma espécie.

Espécimes de *P. penetrans* já foram relatados no Rio Grande do Sul em áreas de cultivo de soja, conforme observado por Márquez *et al.* (2021). No entanto, até o momento, não há registros deste fitonematoide em áreas destinadas ao cultivo de cereais de inverno na região. Embora a maioria das ocorrências de *P. penetrans* esteja associada a culturas hortícolas (Collins *et al.* 2015), na Austrália, este fitonematoide também foi identificado em campos comerciais de aveia, trigo e cevada, evidenciando sua presença nestes cereais de inverno, conforme descrito por Copeland *et al.* (2025) Tais evidências ressaltam a relevância dos dados obtidos no presente estudo.

Figura 7 – Características morfológicas de *Pratylenchus penetrans* em campos de cereais de inverno no Rio Grande do Sul.



A: Região anterior da fêmea, B: corpo inteiro da fêmea, C: detalhe da vulva, D: região posterior da fêmea, a: corpo inteiro do macho, b: detalhe da espícula c: região anterior do macho, d: região posterior do macho.

Ademais, espécimes de *P. crenatus* também foram identificadas em uma população mista, contendo mais de uma espécie na mesma amostra (T64), em campo de trigo, destacando-se pela ausência de macho, bem como ausência de espermateca cheia, presença de 3 anéis labiais e cauda arredondada apresentando crenação, característica determinante para definição da espécie. Além disso, foi possível observar o pronunciamento do poro excretor-secretor de alguns indivíduos, uma vez que a visualização dessa característica normalmente é possível visualizar com os espécimes vivos conforme descrito por Karssen; Bolk (2000), sendo uma característica auxiliar para diferenciação dessa espécie. Características morfométricas apresentaram $L = 441,60 \mu\text{m}$, $St = 17.04 \mu\text{m}$, $DGO = 2.15 \mu\text{m}$, $V\% =$

82, somados a altura do fasmídeo (AF), característica que auxiliou na distinção de morfótipos presentes na mesma amostra, além dessas, outras medidas são apresentadas conforme Tabela 10, essas características vão ao encontro com as descritas por Bonfim Junior *et al.* (2016), em seu primeiro e único relato dessa espécie no país, onde foi observado $L=477,16\ \mu\text{m}$, $St=16,54\ \mu\text{m}$ e $V\%=81,10$, além da cauda crenada e presença de três anéis labiais.

Apesar da cauda crenada ser uma característica importante para identificação desta espécie, um estudo de Castillo; Vovlas (2007) apresentando variações intraespecíficas de diversas espécies do gênero relatou a presença de crenação em diferentes espécies, como *P. neglectus*, *P. fallax* e *P. pseudofallax*. Consoante estudos relatando a variação intraespecífica que reforçam a necessidade da associação de diversas características morfológicas para definição de espécie, Kim; Chum (2014), ao caracterizar diferentes espécies do gênero, onde mais de uma apresentava crenação na cauda destacou a importância de estudos que esclareçam a variedade de características morfológicas e morfométricas com objetivo de auxiliar na detecção eficiente de fitonematoides. De maneira semelhante, Yu (2008) comparou 11 espécies de *Pratylenchus* que ocorrem no Canadá, onde foi proposta uma chave com as principais características diferenciadoras, destacando-se, o número de anéis labiais, presença de espermateca cheia, crenação da cauda, tamanho do estilete e número de linhas do campo lateral, as quais serviram de base para a diagnose de *P. crenatus* no presente estudo. Estes estudos demonstram a importância da taxonomia integrativa, para reforçar os resultados descritos.

Figura 8 – Características morfológicas de *Pratylenchus crenatus* identificadas em campos trigo no Rio Grande do Sul.

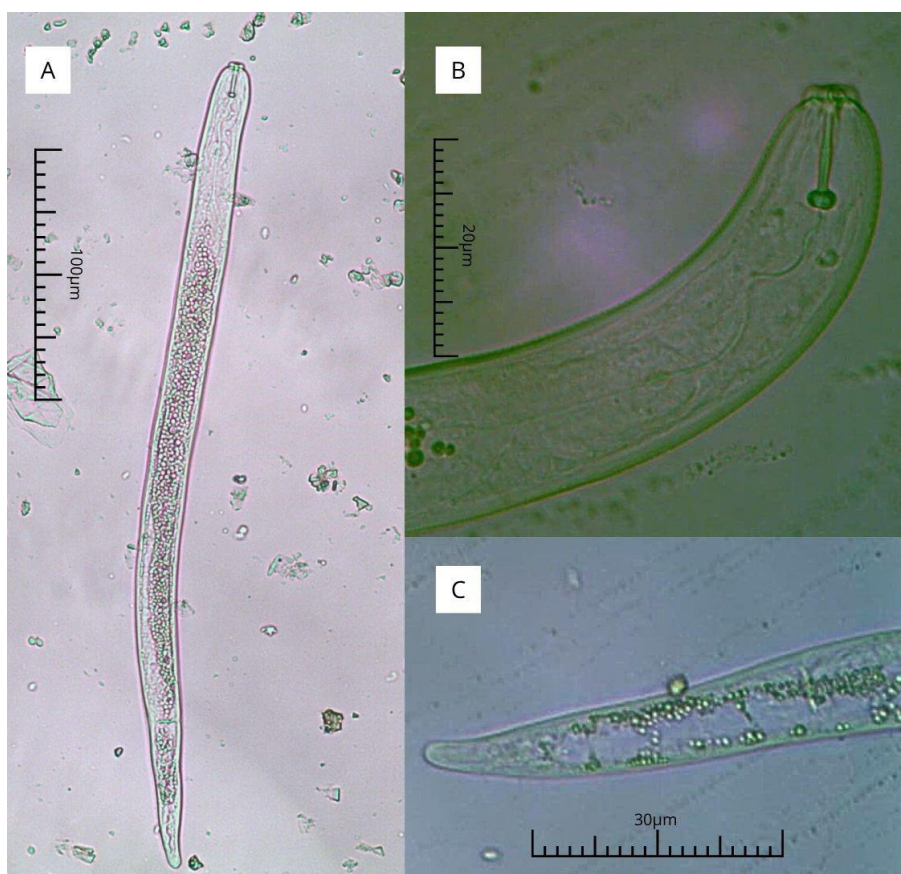


A: Região anterior da fêmea, B: corpo da fêmea indicando pronunciamento do poro excretor-secretor, C: região posterior da fêmea, c': detalhe da crenação da cauda.

Nessa mesma amostra (T64), coletada em campo de trigo, onde foram encontrados *P. crenatus* também foi observada a presença de *P. penetrans*, além de um morfótipo não identificado, classificado apenas como *Pratylenchus* sp., o qual também exibiu cauda arredondada com crenação em alguns indivíduos. As demais características não corresponderam a nenhuma das outras duas espécies presentes na amostra. Apesar da crenação, não foi observado pronunciamento no poro excretor e a altura do fasmídeo em relação a extremidade posterior apresentou diferença significativa nos espécimes da mesma amostra, sendo *P. crenatus* (AF=16,9 µm) e *Pratylenchus* sp (AF=7 µm). Ademais, o comprimento do corpo apresentou valores significativamente menores ($L = 289,6 \mu\text{m}$; 376-230 µm), bem como tamanho do estilete ($St = 10,3 \mu\text{m}$; 8,3-14,8), V% (83%) e distância do poro excretor até a região mais anterior do copo ($Ex=63,0 \mu\text{m}$). Outra espécie que possui características semelhantes a *P. crenatus* é a espécie *P. pseudofallax* Café Filho & Huang, 1989, a qual foi descrita, também apresentando cauda crenada, três anéis labiais e comprimento do corpo próximo aos descritos nesse estudo ($L= 471 \mu\text{m}$), V%=80 e $St = 14,8 \mu\text{m}$. Entretanto, apesar de pouco frequente, é possível a visualização de machos nessa espécie (Café Filho; Huang, 1989). Espécimes de *P. arlingtoni*,

descritos nos EUA apresentaram características morfológicas que se aproximam ao morfótipo encontrado, destacando-se a crenação na cauda e recuo na região labial em relação ao corpo “*off-set*”, sendo destacado pelo autor a semelhança desses indivíduos a *P. crenatus*. Não obstante, características diferentes também podem ser observadas, como o formato periforme da glândula do esôfago e características morfométricas como L e St (Handoo; Carta; Skantar, 2001). Diante do cenário exposto, é evidente que para caracterização (resolução taxonômica) deste morfótipo serão necessários estudos futuros adicionais (e.g estudos moleculares), haja vista que pode ser apenas uma variante morfológica de *P. crenatus* ou mesmo espécie não descrita relacionada (*sibling species*).

Figura 9 – Características morfológicas de *Pratylenchus* sp. identificadas em campos de cereais de inverno no Rio Grande do Sul.



A: corpo inteiro da fêmea, B: anterior da fêmea, C: região posterior da fêmea.

Tabela 10 - Morfometria de fêmeas de espécies de *Pratylenchus* identificados em campos de cereais de inverno no Rio Grande do Sul.

Amostra	N.	Espécie		L (μm)	DGO (μm)	St (μm)	LB/AB (μm)	$\emptyset$ (μm)	Lt (μm)	(a)	(c)	(c')	V%
T21 ¹	4	<i>P. brachyurus</i>	Média	533,60	2,64	19,24	1,20	25,34	27,76	21,05	19,25	2,08	85%
			se	13,5	0,1	0,5	0,04	0,48	0,84	0,24	0,35	0,17	0,0
T64 ¹	5	<i>P. crenatus</i>	Média	441,60	2,15	17,04	1,98	20,62	22,90	20,73	18,61	2,46	82%
			se	21,25	0,20	0,79	0,12	0,84	0,82	0,92	0,18	0,29	0,0
T64 ¹	5	<i>Pratylenchus</i> sp.	Média	289,60	1,64	10,30	1,45	13,70	17,86	21,81	19,31	2,63	83%
			se	25,9	0,3	1,34	0,16	1,94	3,63	1,06	4,37	0,55	0,0
T63 ¹	8	<i>P. penetrans</i>	Média	516,86	2,26	14,97	1,91	23,71	25,57	21,79	20,30	1,83	81%
			se	22,41	0,05	0,19	0,09	0,81	1,17	0,61	0,75	0,11	0,0
T64 ¹	9	<i>P. penetrans</i>	Média	471,17	2,40	15,97	1,80	21,33	28,50	22,20	16,67	1,95	81%
			se	17,97	0,04	0,24	0,07	0,6	1,04	1,18	1,14	0,05	0,0
T66 ²	6	<i>P. penetrans</i>	Média	463,33	2,35	15,08	1,64	22,17	22,50	20,99	20,64	1,64	79%
			se	9,66	0,04	0,21	0,05	0,75	0,5	0,65	0,63	0,08	0,0
T30 ¹	6	<i>P. zaeae</i>	Média	500,20	2,20	15,10	1,87	23,92	27,00	21,04	18,54	2,07	76%
			se	10,39	0,15	0,25	0,05	0,78	0,36	0,89	0,46	0,075	0,0
T31 ¹	8	<i>P. zaeae</i>	Média	569,50	2,19	15,19	1,80	25,67	26,80	22,48	21,44	2,12	77%
			se	7,12	0,08	0,18	0,04	0,42	0,31	0,31	0,23	0,08	0,0
T32 ¹	7	<i>P. zaeae</i>	Média	571,14	2,30	14,89	1,94	26,29	29,49	21,76	19,45	2,29	76%
			se	3,67	0,03	0,12	0,08	0,42	0,8	0,40	0,53	0,13	0,0
T43 ¹	7	<i>P. zaeae</i>	Média	495,43	2,40	14,47	1,95	24,46	25,29	20,29	19,68	1,97	74%
			se	4,97	0,03	0,19	0,04	0,39	0,68	0,38	0,55	0,56	0,0
T75 ¹	6	<i>P. zaeae</i>	Média	522,67	2,35	15,00	1,69	25,32	28,15	20,65	18,86	2,16	74%
				17,84	0,06	0,37	0,02	0,77	1,64	0,35	1,14	0,07	0,0

L = Comprimento do corpo, DGO = distância da abertura dos ductos da glândula dorsal esofagiana aos nódulos basais do estilete, St= Comprimento do estilete, $\emptyset$ = Largura máxima do corpo, Lt = Comprimento da cauda, LB= Largura do bulbo do estilete, AB = Altura do bulbo do estilete, V% = Distância da

extremidade, a anterior à vulva, como porcentagem do comprimento total do corpo, a = Comprimento do corpo dividido pela maior largura, c = Comprimento do corpo dividido pelo comprimento da cauda, c' = Comprimento da cauda dividido pela maior largura na região anal, N= Número de indivíduos utilizados para mensuração. ¹ Amostras coletadas em campos de trigo. ² Amostras coletadas em campos de aveia.

As respostas das análises moleculares realizados para as amostras T14, T15, T16, T17, T18, T21, T22, T30, T31, T35, T55, T58, T60 e T64, confirmaram as avaliações previamente observados nas análises morfológicas e morfométricas, reforçando os resultados desse estudo, sendo para cada uma dessas amostras, realizado o sequenciamento de pelo menos um indivíduo conforme espécies apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 – Identificação molecular de espécies por análise BLASTn, com respectivas amostras de ocorrência e estatísticas

Espécies	Amostras	Algoritmos BLASTn	
		E-valor ¹	Identidade ²
<i>H. dihystra</i>	T21, T63, T55, T14, T18, T17	<0,01	82,5 - 96%*
<i>H. pseudorobustus</i>	T31	<0,01	85,54%
<i>R. reniformis</i>	T14, T15, T16, T19, T20, T21, T22, T23, T24, T60	<0,01	81,2 - 98,7%*
<i>S. brachyurus</i>	T58, T35, T18, 30, T21	<0,01	89,1 - 96,7%*
<i>P. crenatus</i>	T64	<0,01	87,22%

¹ Valor esperado de alinhamentos; ² Percentual de identidade entre as sequencias comparadas; * Amplitude (menor e maior valor encontrados em uma amostra).

No presente estudo, foram observadas variações intraespecíficas relevantes nas sequências obtidas, com percentuais de identidade entre 81,2% e 98,7% para *R. reniformis*, enquanto para *H. dihystra* a variação ficou entre 82,5% e 96%, o que sugere diversidade genética entre as populações analisadas. A diversidade molecular no gênero *Rotylenchulus* foi investigada no estudo conduzido por Palomares-Rius *et al.* (2017). Embora tenham sido observados altos percentuais de similaridade entre as populações analisadas (99–100%), dois clados bem sustentados, denominados tipo A e tipo B, foram distinguidos por meio de análises filogenéticas baseadas em três regiões gênicas (D2-D3 do 28S, ITS e COXI).

Variações intraespecíficas foram relatadas por Mwamula *et al.* (2023), tendo sido detectadas diferenças de até 3,2% entre isolados de *H. dihystra* coletados em diferentes localidades da Coreia do Sul associados à gramínea *Zoysia japonica* e quando comparadas a sequencias disponíveis no GenBank, identificaram divergências de até 5,4%. Essas discrepâncias foram atribuídas, em parte, a possíveis

erros de sequenciamento, como deleções, inserções ou substituições, embora também possam refletir a diversidade genética natural da espécie.

A sequência obtida da amostra T64 apresentou 87,22% de identidade com sequências disponíveis no GenBank. Variações intraespecíficas foram reportadas por Wang *et al.* (2022), onde isolados da mesma espécie dentro da família Pratylenchidae apresentam variações na região ITS, com percentuais de identidade variando entre 4,4% e 9,5% entre isolados de *P. zae*. Estes dados reforçam que percentuais de identidade inferiores a 90% não implicam, necessariamente, em diferenciação específica, sobretudo quando avaliados em conjunto com características morfológicas e morfométricas, conforme estabelece a abordagem da taxonomia integrativa.

2.3.3 Caracterização (morfológica, morfométrica e bioquímica) de espécies de *Meloidogyne*

Espécimes de *Meloidogyne* foram encontrados em 9 amostras. Dentre estas, foi possível identificar as espécies em cinco populações (T5, T12, T29, T55, T59), uma vez que algumas não puderam ser recuperadas em tomate. Os padrões perineais observados em *M. javanica* apresentaram características compatíveis com aquelas descritas por Rusinque *et al.* (2018), evidenciando um formato predominantemente arredondado e estrias laterais interrompidas por incisuras na região próxima à cauda (Figura 10).

Dessa forma, as diferenças entre as populações podem ser observadas nos padrões perineais, destacando-se, entre elas, a presença de linhas do campo lateral bem definidas nos espécimes de *M. javanica*, além da variação na conformação do arco dorsal entre as espécies encontradas. Contudo, foi possível notar a variação intraespecífica de algumas características, conforme observado na Figura 10, onde *M. javanica* EST J2, apresenta maior número de estrias onduladas e curtas ou quebradas em relação a *M. javanica* EST J3, além de apresentar diferença na região perivulval livre e diferença na distância entre a vulva e o ânus, conforme apresentado na Tabela 12. Quanto as características da população de *M. incognita*, foi possível observar o campo lateral marcado somente por estrias dorsais fundidas, formato do arco dorsal alto apresentando-se de forma trapezoidal e a presença de estrias curtas. Ademais, foi possível identificar três fenótipos de esterase: *M. incognita* (Rm: 1,05;

1,12), *M. javanica* J3 (Rm: 1,0; 1,25; 1,35) e *M. javanica* J2 (Rm: 1,0; 1,25), conforme apresentado na Figura 11.

Tabela 12 – Morfometria obtidas a partir de fêmeas e perineais de espécies de *Meloidogyne* identificados em campos de trigo no Rio Grande do Sul

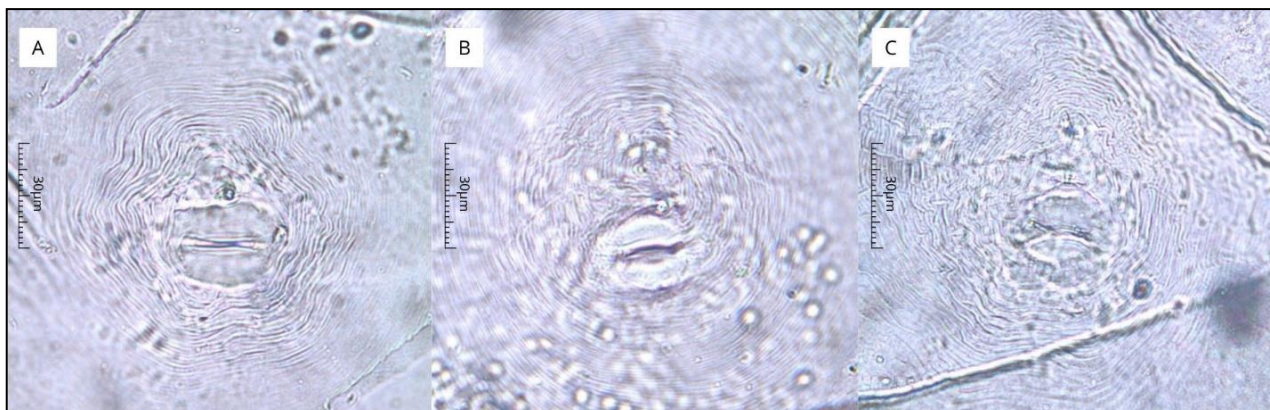
Amostra	Espécie		¹ Distância vulva-cauda (µm)	¹ Distância anus-cauda (µm)	¹ Largura da vulva (µm)	¹ Distância da Vulva-cauda (µm)	² Largura do Corpo (µm)
T5	<i>M. javanica</i>	Média	16,56	13,02	21,95	29,58	601
		se	1,17	0,52	0,65	1,37	12,85
T12	<i>M. javanica</i>	Média	15,36	15,12	23,12	30,48	621,8
		se	0,76	0,58	0,64	1,13	10,36
T29	<i>M. javanica</i>	Média	15,04	12,6	22,82	27,64	598
		se	0,41	0,48	0,59	0,41	27,23
T55	<i>M. javanica</i>	Média	14,126	12,5	23,3	26,626	567,4
		se	0,54	1,11	1,3	1,65	26,26
T59	<i>M. incognita</i>	Média	16,58	13,66	27,48	30,24	525,2
		se	0,37	0,71	1,31	0,68	13,49

¹ Medidas obtidas a partir de perineal de fêmeas de *Meloidogyne*. ² Medidas obtidas de fêmeas maduras de *Meloidogyne*.

Os estudos nematológicos associados a cereais de inverno são antigos e escassos no Brasil e o primeiro registro do gênero associado a cultura do trigo foi realizado por Lordello (1964), nos estados de São Paulo e Espírito Santo, enquanto no Cerrado, *M. javanica* foi associado a redução dos percentuais de peso seco de parte aérea, perfilhamento, espiga e peso de raiz, cultura do trigo (Sharma, 1982). Não obstante, em relação a distribuição destes fitonematoides, os resultados apresentados corroboram com resultados observados no Rio Grande do Sul, onde as duas espécies foram identificadas em diferentes culturas, com predominância para *M. javanica*, como encontrado por Ramos *et al.* (2024) em campos de tabaco e em levantamento realizado por Kirsch *et al.* (2016) *M. javanica* foi encontrado predominantemente nas regiões norte e nordeste do estado em lavouras de soja do estado. De forma semelhante, Márquez *et al.* (2019), observou a presença do gênero em 10 municípios, com destaque para *M. javanica*. Em 2003, um estudo em lavouras de soja em diferentes regiões do Brasil também apontou a presença de *M. javanica* e *M. incognita* no Rio Grande do Sul (Castro; Lima; Carneiro, 2003).

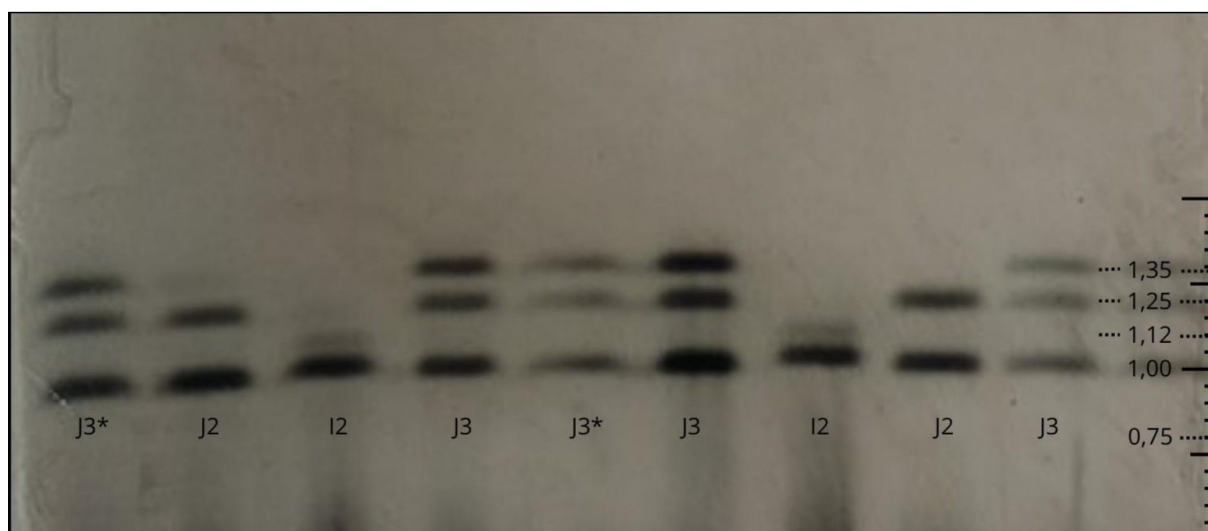
Cereais de inverno são comumente usados como opção de rotação e/ou sucessão em sistemas de cultivo, com destaque para o trigo (Moresco, 2016). Estudo apresentado por Carraro-Lemes *et al.* (2022) demonstrou a suscetibilidade de diferentes cultivares de trigo em relação a *M. javanica* e *M. incognita*, através da multiplicação do inoculo inicial. Ademais, Dias *et al.* (2010) destaca a importância dessas duas espécies para cultura da soja, a qual é a principal cultura no estado do Rio Grande do Sul.

Figura 10 – Características morfológicas de *M. incognita* e *M. javanica* identificadas em cereais de inverno no Rio Grande do Sul.



A: região perineal de *M. incognita* (T59); B: região perineal de *M. javanica* fenótipo esterase J3 (T55); C: região perineal de *M. javanica* fenótipo esterase J2 (T12).

Figura 11 – Fenótipos de esterase detectados em populações de *Meloidogyne* coletadas em trigo no Rio Grande do Sul.



A escala à direita da imagem indica a mobilidade relativa (Rm) das bandas, referente a distância percorrida por cada fragmento e a frente de corrida do gel. J3 = *M. javanica* (Rm: 1,0; 1,25; 1,35) (T55); J2 = *M. javanica* (Rm: 1,0; 1,25) (T12). I2 = *M. incognita* (Rm: 1,05; 1,12) (T59). *Padrão J3 (*M. javanica*) utilizado para comparar fenótipos esterase encontrados.

2.3.4 Relações entre variáveis nematológicas (incidência e abundância) e variáveis bioclimáticas

A conformação das comunidades de fitonematoides são considerados fatores determinantes, uma vez que influenciam diretamente nos processos biológicos desses organismos (Hamza *et al.* 2018). Com relação a abundância, o efeito das variáveis bioclimáticas foi distinto para cada gênero. Neste aspecto, a variável bioclimática bio1 teve efeito positivo sobre *Paratrichodorus*, *Pratylenchus*, *Rotylenchus* e *Scutellonema*, enquanto para *Helicotylenchus*, *Meloidogyne*, *Xiphinema*, *Mesocriconema*, *Rotylenchulus* e gêneros da família Tylenchidae teve efeito negativo. A variável bio12 teve efeito positivo sobre *Pratylenchus*, *Rotylenchulus*, *Rotylenchus*, *Scutellonema* e Tylenchidae, sendo negativo para *Helicotylenchus*, *Meloidogyne*, Tylenchidae, *Mesocriconema* e *Xiphinema*. As únicas variáveis que não apresentaram significância ($p>0,05$) foram bio15 para *Rotylenchulus* e bio8 para *Rotylenchus*, conforme a Tabela 13.

No que se refere a incidência, o efeito das variáveis, em sua maioria, não fora significativo. As relações que apresentaram significância foram: bio12 com efeito negativo sobre *Mesocriconema* e *Xiphinema* e com efeito positivo sobre *Rotylenchulus*; bio8 com efeito negativo sobre *Pratylenchus* e Tylenchidae e bio15 que apresenta resposta positiva para *Pratylenchus* (Tabela 13).

Tabela 13 - Modelos lineares generalizados (GLMs) usados para examinar as relações entre variáveis ambientais (bioclimáticas e edáficas), abundância (Ab) e incidência (In) de fitonematoides. [*Helicotylenchus* (Heli), *Pratylenchus* (Praty), *Meloidogyne* (Melo), *Rotylenchulus* (Roty), *Scutellonema* (Scut), *Xiphinema* (Xiphi), *Mesocriconema* (Meso), *Rotylenchus* (Rtlc), Tylenchidae (Tylen)]

Modelo	Modelo global	Modelo final	VIF	Função de ligação
1	Ab-Heli ~ bio1 + bio12 + bio8 + bio9 + bio15	Ab-Heli ~ - bio1 - bio12 - bio8 + bio9 + bio15	2,49; 1,43; 2,2; 1,92; 1,35	Poisson (log)
2	Ab-Praty ~ bio1 + bio12 + bio8 + bio9 + bio15	Ab-Praty ~ + bio1 + bio12 - bio8 - bio9 + bio15	2,74; 2,79; 6,13; 2,15; 6,44	Poisson (log)
3	Ab-Melo ~ bio1 + bio12 + bio8 + bio9 + bio15	Ab-Melo ~ - bio1 - bio12 + bio8 + bio9 - bio15	3,64; 1,62; 3,22; 2,97; 2,07	Poisson (log)
4	Ab-Roty ~ bio1 + bio12 + bio8 + bio9 + bio15	Ab-Roty ~ - bio1 + bio12 - bio8 + bio9 - bio15 ^{ns}	8,08; 3,3; 3,45; 2,03; 3,29	Poisson (log)
5	Ab-Scut ~ bio1 + bio12 + bio8 + bio9 + bio15	Ab-Scut ~ + bio1 + bio12 - bio8 + bio9 + bio15	5,01; 4,16; 3,71; 3,12; 4,14	Poisson (log)
6	Ab-Xiphi ~ bio1 + bio12 + bio8 + bio9 + bio15	Ab-Xiphi ~ - bio1 - bio12 + bio8 + bio9 - bio15	3,05; 1,54; 4,75; 4,1; 2,46	Poisson (log)

Tabela 14 - Modelos lineares generalizados (GLMs) usados para examinar as relações entre variáveis ambientais (bioclimáticas e edáficas), abundância (Ab) e incidência (In) de fitonematoides. [*Helicotylenchus* (Helic), *Pratylenchus* (Praty), *Meloidogyne* (Melo), *Rotylenchulus* (Roty), *Scutellonema* (Scut), *Xiphinema* (Xiphi), *Mesocriconema* (Meso), *Rotylenchus* (Rtlc), Tylenchidae (Tylen)]

Modelo	Modelo global	Modelo final	VIF	Função de ligação
7	Ab-Meso ~ bio1 + bio12 + bio8 + bio9 + bio15	Ab-Meso ~ - bio1 - bio12 + bio8 + bio9 + bio15	3,98; 3,21; 10,29; 8,76; 8,88	Poisson (log)
8	Ab-Rtlc ~ bio1 + bio12 + bio8 + bio9 + bio15	Ab-Rtlc ~ + bio1 + bio12 - bio8 ^{ns} + bio9	2,29; 2,05; 1,86; 1,13	Poisson (log)
9	Ab-Tylen ~ bio1 + bio12 + bio8 + bio9 + bio15	Ab-Tylen ~ - bio1 + bio12 - bio8 + bio9 - bio15	2,54; 2,14; 2,57; 2,09; 1,4	Poisson (log)
10	In-Helic ~ bio1 + bio12 + bio8 + bio9 + bio15	In-Helic ~ + bio1 ^{ns} - bio12 ^{ns}	1,16; 1,16	Binomial (logit)
11	In-Praty ~ bio1 + bio12 + bio8 + bio9 + bio15	In-Praty ~ + bio1 ^{ns} + bio12 ^{ns} - bio8 + bio15	1,87; 2,4; 3,13; 2,16	Binomial (logit)
12	In-Melo ~ bio1 + bio12 + bio8 + bio9 + bio15	In-Melo ~ + bio1 ^{ns} - bio12 ^{ns} - bio15 ^{ns}	2,75; 3,12; 1,24	Binomial (logit)
13	In-Roty ~ bio1 + bio12 + bio8 + bio9 + bio15	In-Roty ~ + bio1 ^{ns} + bio12 + bio9 ^{ns}	1,58; 1,54; 1,04	Binomial (logit)
14	In-Scut ~ bio1 + bio12 + bio8 + bio9 + bio15	In-Scut ~ + bio1 ^{ns} - bio12 ^{ns} + bio9 ^{ns}	3,57; 3,47; 1,56	Binomial (logit)

Tabela 15 - Modelos lineares generalizados (GLMs) usados para examinar as relações entre variáveis ambientais (bioclimáticas e edáficas), abundância (Ab) e incidência (In) de fitonematoides. [*Helicotylenchus* (Helic), *Pratylenchus* (Praty), *Meloidogyne* (Melo), *Rotylenchulus* (Roty), *Scutellonema* (Scut), *Xiphinema* (Xiphi), *Mesocriconema* (Meso), *Rotylenchus* (Rtlc), Tylenchidae (Tylen)]

Modelo	Modelo global	Modelo final	VIF	Função de ligação
15	In-Xiphi ~ bio1 + bio12 + bio8 + bio9 + bio15	In-Xiphi ~ - bio1 ^{ns} - bio12 + bio8 ^{ns}	1.27; 1.22; 1.5	Binomial (logit)
16	In-Mesoc ~ bio1 + bio12 + bio8 + bio9 + bio15	In-Meso ~ + bio1 ^{ns} - bio12	1.24; 1.24	Binomial (logit)
17	In-Rtlc~ bio1 + bio12 + bio8 + bio9 + bio15 +	In-Rtlc~ + bio1 ^{ns} + bio12 ^{ns}	1.39; 1.39	Binomial (logit)
18	In-Tylen~ bio1 + bio12 + bio8 + bio9 + bio15	In-Tylen ~ - bio1 ^{ns} + bio12 ^{ns} - bio8	1.55; 1.46; 1.93	Binomial (logit)

Ab: Abundância no solo; Incid: Incidência; VIF: Fatores de Inflação de Variação; (): ausente; (+) efeito positivo; (–) efeito negativo. () p < 0,05; (ns) p > 0,05; Variáveis: bio1 (temperatura média anual); bio3 (isotermalidade (bio2/bio7) (*100)); bio4 (Sazonalidade da temperatura (desvio padrão das temperaturas * 100); bio7 (faixa anual de temperatura (bio5-bio6)); bio8 (Temperatura média do trimestre mais úmido); bio12 (precipitação anual).

No presente estudo, a abundância de *Helicotylenchus* foi negativamente influenciada por variáveis relacionadas à temperatura média (bio1 e bio8), umidade e precipitação (bio12), sugerindo que esse gênero apresenta menor abundância em ambientes caracterizados por temperaturas elevadas e maior umidade ao longo do ano. Em contrapartida, observou-se efeito positivo de variáveis associadas inversamente à umidade (bio9 e bio15), a correlação positiva com a bio9 sugere que *Helicotylenchus* pode se beneficiar de condições mais quentes durante os períodos de menor disponibilidade hídrica. Já a correlação positiva com a bio15 indica que o gênero pode se adaptar melhor a ambientes com alta variabilidade hídrica ao longo do ano, onde há alternância entre períodos chuvosos e secos. Já a incidência não foi significativa para nenhuma das variáveis apresentadas, o que corrobora com o frequente relato desse gênero em levantamentos em diferentes regiões, como relatado já relatado no Brasil, em regiões de clima temperado em culturas de soja, tabaco e maçã (Márquez *et al.* 2021; Ramos *et al.* 2022; Ramos *et al.* 2024), também no cerrado apresentando altas densidades na cultura da soja (Machado; Amado; Silva, 2019). Embora a incidência desse fitonematoide seja relatada em estudos de diferentes regiões, sua abundância é variada. Cabe ainda ressaltar que embora a análise tenha sido em nível de gênero, 96% das populações encontradas se trata exclusivamente de *H. dihystra*.

O efeito positivo de bio1 e bio12 para populações de *Pratylenchus* indicam a tendência favorável em regiões com temperaturas médias anuais mais elevadas e maior disponibilidade hídrica ao longo do ano. A correlação positiva com bio15, por sua vez, indica que *Pratylenchus* também pode se beneficiar de ambientes com maior variabilidade pluviométrica. Não obstante, o efeito negativo das variáveis bio8 e bio9 indicam que temperaturas mais elevadas durante os períodos mais úmidos ou mais secos do ano podem limitar a abundância do gênero. Tais resultados estão em concordância parcial, com os encontrados por Márquez *et al.* (2021) que também relataram correlação positiva do gênero para bio1 e bio12. Thompson *et al.* (2018) observou que condições de altas temperaturas associadas a escassez e ressecamento do solo são muito provavelmente a causa do declínio de *P. thornei* associado a menor profundidade do solo. De maneira semelhante Amarasena; Mohotti; De Costa (2016) observou correlação positiva da abundância de *Pratylenchus loosi*, Loof, 1960, com a precipitação média e correlação negativa para temperatura do solo em áreas de produção de chá.

bio9 =temperatura média no trimestre mais seco

A correlação negativa da abundância de *Rotylenchulus* com bio1 e bio8, sugere que, nos momentos mais úmidos, o aumento da temperatura pode afetar negativamente a abundância, mas a resposta positiva para bio9 e bio12 podem ser favoráveis ao seu desenvolvimento, indicando que o aumento da temperatura quando não associada a umidade pode ser favorável. Ademais, bio12 também foi favorável para sua incidência. Um estudo realizado por Leach; Agudelo; Gerard (2009) que ao avaliar o desenvolvimento embrionário de três populações distintas de *R. reniformis* provenientes de diferentes regiões dos EUA observou a eclosão e o desenvolvimento até 37,5 °C, além da multiplicação do nematoide em temperaturas de até 36 °C. Embora o aumento da temperatura tenha afetado a reprodução, não foi observada erradicação do fitonematoide, demonstrando sua capacidade de tolerância ambientes adversos. De maneira similar Khanal; Land (2023) testaram a sobrevivência, multiplicação e virulência a temperaturas até 34°C, onde apesar de afetar em sua sobrevivência, não demonstrou impactos significativos em sua reprodução, além disso foi observado um aumento na virulência do fitonematoide. Dessa forma, é importante destacar que mesmo em condições desfavoráveis este fitonematoide possui capacidade de sobrevivência e multiplicação. Para as relações com gênero *Rotylenchulus*, é importante ressaltar que apenas a espécie *R. reniformis* foi descrita nesse trabalho, destacando a importância dessas variáveis para essa espécie no Rio Grande do Sul.

No presente estudo, a abundância de *Scutellonema* foi influenciada significativa e positivamente por diferentes variáveis bioclimáticas (bio1, bio12, bio9 e bio15), demonstrando sua adaptabilidade tanto pra períodos secos quanto para períodos com índices pluviométricos mais elevados. Entretanto, a correlação negativa com bio8 indica que apesar de sua adaptabilidade à umidade, quando associada ao aumento de temperatura, pode ser desfavorável para sua abundância. Embora existam poucos estudos específicos sobre o efeito do clima e/ou temperaturas sobre esse gênero, é possível encontrar relatos que o associem a diversidade ecológica desses indivíduos, a exemplo, um levantamento realizado, Kolombia *et al.* (2017) caracterizou espécies de *Scutellonema* associadas ao inhame no continente africano. Na Europa, Nguyen (2019) registrou a presença de *S. brachyurus*, além de Sharma *et al.* (1992) registrar a presença do gênero na Nigéria.

Em relação ao gênero *Meloidogyne*, observou-se correlação negativa da abundância com as variáveis bio1, bio12 e bio15, indicando que ambientes com

temperaturas médias elevadas, alta precipitação e grande variabilidade pluviométrica tendem a limitar seu desenvolvimento. Em contrapartida, bio8 e bio9 apresentaram correlação positiva, sugerindo que aumentos de temperatura em momentos específicos do ano podem favorecer a multiplicação do gênero. Khanal; Land (2023) relataram maior sensibilidade térmica em *Meloidogyne* em comparação com *Rotylenchulus*, evidenciada por uma redução significativa na reprodução sob elevadas temperaturas, enquanto *Rotylenchulus* manteve sua capacidade reprodutiva em condições similares. Por outro lado, Márquez *et al.* (2021) relataram a presença de *Meloidogyne* em áreas de cultivo de soja nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, com correlação positiva para bio1 e negativa para bio9. Além disso, Ramos *et al.* (2024), em estudo com plantas de tabaco no Rio Grande do Sul, também observaram correlações negativas para bio1 e bio12, corroborando parcialmente os achados do presente estudo.

De modo geral, os resultados observados apresentam pontos de convergência com a literatura. Márquez *et al.* (2021), verificaram similaridade nos padrões de resposta para *Pratylenchus* de 66,7%, quando comparada através das variáveis bio1, bio12 e bio9, enquanto *Mesocriconema* foi de 100% e de forma contrária, *Meloidogyne* apresentou um baixo grau de convergência sendo apenas 33,3% compatível com esse estudo. De forma complementar, Ramos *et al.* (2024) identificaram respostas idênticas de *Helicotylenchus* e *Meloidogyne* às variáveis bio1 e bio12, reforçando os padrões climáticos associados à ocorrência desses fitonematoides no Rio Grande do Sul. Cabe ressaltar que a base de dados utilizada neste estudo é proveniente de modelos climáticos regionais, os quais fornecem estimativas específicas para variáveis bioclimáticas que refletem exclusivamente as condições locais de temperatura, precipitação, velocidade do vento e radiação solar nas áreas analisadas (Fick; Hijmans, 2017).

2.4 Conclusões

No presente levantamento, o gênero *Helicotylenchus* foi o único detectado em todas as amostras analisadas, com predominância da espécie *H. dihystra*, identificada quase na totalidade das amostras, estando presente nas amostradas das culturas de trigo, aveia, azevém e cevada. O gênero *Rotylenchus* esteve representado por uma única espécie, que apresentou a maior abundância registrada

individualmente. Para o gênero *Meloidogyne*, duas espécies foram identificadas: *M. incognita* e *M. javanica*. No caso de *Scutellonema*, foi constatada exclusivamente a espécie *S. brachyurus*.

Destaca-se o gênero *Pratylenchus* pela maior diversidade de espécies observada, incluindo *P. brachyurus*, *P. zaeae*, *P. penetrans*, *P. crenatus* e um morfótipo ainda não identificado, o que evidencia sua relevância ecológica e complexidade taxonômica. Adicionalmente, foram detectados outros gêneros em menor incidência, tais como *Mesocriconema*, *Paratrichodorus*, *Psilenchus*, *Heterodera*, *Hoplolaimus* e *Xiphinema*, compondo um panorama diversificado da nematofauna presente nas áreas amostradas.

As variáveis bioclimáticas apresentaram influência sobre as populações de fitonematoides avaliadas, indicando que fatores como temperatura e precipitação podem interferir na incidência e abundância desses patógenos. Esses resultados reforçam a importância de considerar condições ambientais na compreensão da dinâmica populacional dos fitonematoides e no planejamento de estratégias de manejo mais eficientes.

3. CAPÍTULO II – Reação de cultivares de trigo a *Meloidogyne javanica* e *M. arenaria*

3.1 Introdução

Os cereais de inverno são culturas de elevada importância para diversas regiões do mundo, exercendo um papel estratégico na promoção da segurança alimentar global (Devi; Mahapatra; Das, 2018). Dentre essas culturas, destaca-se o trigo, integrante da tribo Triticeae, que engloba outros 14 gêneros, cuja relevância histórica, social e econômica é amplamente reconhecida. Evidências arqueológicas indicam que seu cultivo teve início por volta de 10.000 a.C. (Venske *et al.* 2019). Originário do Oriente Médio, o trigo foi introduzido no Brasil em 1534, inicialmente em São Paulo, consolidando-se posteriormente como cultura agrícola significativa na região Sul do Brasil (CONAB, 2017).

A segurança alimentar, conforme delineado por Ingram (2011), envolve múltiplas dimensões, como a disponibilidade e a utilização dos alimentos, abrangendo a produção, importação, formação de estoques e o acesso físico e econômico aos produtos alimentícios. Nesse contexto, as perdas agrícolas provocadas por doenças afetam diretamente a disponibilidade alimentar e repercutem nos demais aspectos da segurança alimentar, impactando as estruturas comerciais, políticas e sociais envolvidas no acesso e uso dos alimentos (Zadoks *et al.* 2013). Diversos patógenos podem comprometer o rendimento das culturas de cereais, com destaque para os fitonematoides, os quais em determinadas situações figuram como agentes causadores de significativas perdas econômicas em culturas de interesse agrícola (Dean *et al.* 2012).

No cenário brasileiro, particularmente no Rio Grande do Sul, já foram identificados 14 diferentes gêneros de fitonematoides associados ao cultivo do trigo (Luz, 1982). Entre os fitonematoides, espécies de *Meloidogyne* são reconhecidas por sua capacidade de parasitar gramíneas da família Poaceae em distintas regiões agroecológicas, sendo amplamente relatadas em sistemas de produção de cereais (Wesemael; Viaene; Moens, 2011). Em regiões de clima tropical e subtropical, perdas substanciais são frequentemente atribuídas às espécies *M. incognita*, *M. javanica* e *M. arenaria* (Swarup; Sosa-Moss, 1990).

No Rio Grande do Sul, Kirsch *et al.* (2016) identificou três espécies de *Meloidogyne* associadas ao cultivo da soja, sendo *M. javanica* e *M. arenaria* as mais recorrentes. Resultados semelhantes foram observados por Márquez *et al.* (2021), que, ao realizar um levantamento em áreas produtoras de soja, também apontou essas duas espécies como as mais prevalentes. Ambas são consideradas de elevada importância econômica, dado seu impacto expressivo na produtividade agrícola em escala global (Eisenback *et al.* 1991).

Diante da magnitude dos danos provocados por essas espécies, torna-se imperativa a adoção de estratégias de manejo eficazes, voltadas à redução de suas populações em áreas infestadas. Entre as práticas amplamente empregadas no manejo de fitonematoides, destacam-se o uso de nematicidas e métodos culturais (Van Der Putten *et al.* 2006). Contudo, tais estratégias enfrentam limitações relacionadas à disponibilidade e ao registro de produtos, bem como a aspectos econômicos e ambientais. Nesse cenário, a resistência genética surge como ferramenta essencial, por sua alta eficácia, viabilidade prática e menor custo relativo em comparação a outros métodos de controle (Starr *et al.* 2002).

No campo da nematologia, a resistência da planta hospedeira é definida como a capacidade de inibir a infecção e a reprodução do parasita, estando, portanto, mais relacionada à multiplicação do fitonematoide do que à severidade dos sintomas provocados (Trudgill, 1991; Starr *et al.* 2002). A tolerância, por outro lado, refere-se à habilidade da planta de suportar a infecção, mantendo a produtividade mesmo diante da presença do patógeno (Barker, 1993).

Considerando a ampla capacidade de adaptação dessas espécies de *Meloidogyne* a diferentes condições edafoclimáticas, bem como seu elevado potencial de disseminação (Ferraz; Brown, 2016), é plausível inferir que culturas de inverno, como o trigo e a cevada, possam exercer influência direta sobre a abundância populacionais de fitonematoides relevantes para a sojicultura, como demonstrado por Carraro-Lemes *et al.* (2022), que observaram a multiplicação de *M. javanica* em cultivares de trigo. Cereais de inverno são comumente utilizados como opção de rotação e/ou sucessão em sistemas de cultivo, com destaque para o trigo (Moresco, 2016), o que torna essencial a avaliação da sua suscetibilidade a espécies de fitonematoides. Nesse contexto, investigar a resposta de cultivares de trigo a *Meloidogyne* configura-se como uma estratégia promissora, especialmente para viabilizar a inclusão dessas gramíneas em sistemas de sucessão de culturas em áreas

com histórico de infestação. Ressalta-se que espécies *Meloidogyne* têm causado prejuízos significativos à produção de soja, com registros de perdas superiores a 80% em áreas altamente infestadas (Asmus; Ferraz, 2001; Gorny *et al.* 2021).

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar o comportamento de diferentes cultivares de trigo à infestação por *M. arenaria* e *M. javanica*, sob condições de casa de vegetação, por meio da determinação do fator de reprodução.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Local, período experimental e cultivares de trigo testadas

Foram conduzidos dois experimentos, sob condições de casa de vegetação, no Campus Capão do Leão da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Capão do Leão, a saber: (i) reação de cultivares de trigo a *M. javanica*, conduzido entre os dias 05 de junho a 12 de setembro de 2024 e (ii) reação de cultivares de trigo a *M. arenaria*, conduzido 04 de junho ao dia 11 de setembro de 2024. As cultivares testadas, indicadas para o estado do Rio Grande do Sul, foram: 'TBIO Sossego', 'TBIO Calibre', 'TBIO Duque', 'TBIO Ponteiro', 'Lenox' e 'TBIO Motrix'. Para confirmar a viabilidade dos inóculos e as condições ambientais, foram incluídos como testemunha plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) 'Santa Clara'.

3.2.2 Semeadura, inóculo, inoculação e condução experimental

As cultivares de trigo e tomate foram semeadas em vasos de 1L, preenchidos com mistura de medida de substrato comercial e solo previamente autoclavado na proporção de 1:3. Após a emergência, os vasos contendo mais de uma planta foram desbastados, deixando-se apenas uma planta por vaso.

Os espécimes utilizados para a inoculação foram obtidos a partir de isolados pertencentes ao Laboratório de Nematologia da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), previamente identificados por meio de métodos bioquímicos (fenótipos de esterase), conforme metodologia descrita por Carneiro; Almeida (2001) e multiplicados rotineiramente. O isolado de *M. javanica* (Est J3) foi obtido a partir de população de Tupanciretã (Rio Grande do Sul) em campo de soja e os isolados de *M. arenaria* (Est A2) foram obtidos de populações provenientes de tabaco no município

de Cristal (Rio Grande do Sul). Para ambos os experimentos, os espécimes foram extraídos utilizando o método de Boneti; Ferraz (1981) e, posteriormente, a suspensão obtida foi calibrada com o auxílio de uma câmara de Peters, sob microscópio óptico.

Dez dias após a emergência, as plantas foram inoculadas com a população inicial (P_i) depositada em dois orifícios de aproximadamente 3 cm de profundidade, efetuados com auxílio de um bastão de aproximadamente 10 mm de diâmetro, próximos ao sistema radicular de cada planta. As quantidades aplicadas foram: 1.200 espécimes (ovos + juvenis de segundo estágio – J2) por planta no experimento com *M. javanica* e 800 espécimes por planta no experimento com *M. arenaria*. Diariamente a temperatura foi registrada, apresentando amplitude térmica de 27,3°C (-2,9°C ~ 24,4°C) e média de 10,5°C.

3.2.3 Avaliação e variáveis obtidas

As avaliações dos experimentos foram realizadas 100 dias após inoculação (DAI) para os experimentos. As plantas foram retiradas, as raízes foram separadas, cuidadosamente lavadas, secas com papel toalha e, então, pesadas. Posteriormente, os espécimes foram extraídos usando o método de Boneti; Ferraz (1981). As estimativas populacionais foram obtidas através de contagem, sob um microscópio de luz com o auxílio de câmara de Peters, obtendo-se, desse modo, a densidade populacional final (população final - P_f). Após a quantificação, foi calculado o fator de reprodução ($FR = P_f/P_i$), conforme proposto por Oostenbrink (1966), além do número de nematoides por grama de raiz (nema g^{-1}) para cada unidade experimental. As cultivares foram classificadas com base nos valores de FR, sendo consideradas resistentes ($FR < 1$) ou suscetíveis ($FR \geq 1$).

3.2.4 Delineamento experimental e análise estatística

Os experimentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado e com 4 repetições. Cada unidade experimental foi representada por um vaso contendo uma planta. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R 4.3.1 (R Core Team, 2023), por meio da interface Rstudio (Equipe Posit, 2025). Os dados das variáveis resposta (FR e nemag⁻¹) foram transformados em $Ln(x + 1)$ (Noe, 1985) e submetidos à análise de variância (ANOVA). Na presença de diferença

significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a um nível de significância de 5%.

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Teste de reação de cultivares de trigo com *Meloidogyne javanica*

Todas as cultivares de trigo apresentaram valores de FR inferiores a 1 (0,06 – 0,22). Conforme os resultados apresentados na Tabela 14, ‘TBIO Duque’, ‘TBIO Motriz’ e ‘TBIO Sossego’ não diferiram estatisticamente entre si quanto aos valores de FR assim como não houve diferença significativa entre ‘Lenox’, ‘TBIO Ponteiro’ e ‘TBIO Calibre’ ($p > 0,05$). No entanto, ‘Lenox’ apresentou diferença significativa em relação a ‘TBIO Duque’, ‘TBIO Motriz’ e ‘TBIO Sossego’. A testemunha apresentou valor de FR igual a 15,24, evidenciando a viabilidade do inóculo e a adequação das condições ambientais. Em relação a nematode g^{-1} , ‘TBIO Calibre’, ‘TBIO Duque’, ‘TBIO Motriz’ e ‘TBIO Sossego’ não diferiram significativamente entre si, bem como ‘TBIO Ponteiro’. A cultivar TBIO Calibre apresentou o maior valor para nematode g^{-1} e o menor apresentado por ‘Lenox’ (6,7 – 37,6) (Tabela 14). Dessa forma, todas as cultivares foram classificadas como resistentes a *M. javanica*.

Tabela 16 - Reação de cultivares trigo a *Meloidogyne javanica*.

Tratamento		FR ¹	Nema g^{-1}	Reação ²
Tomate ‘Santa Clara’*	Média	15,24 a	804,7 a	S
	se	1,29	40,44	
‘Lenox’	Média	0,22 b	6,7 c	R
	se	0,01	0,83	
‘TBIO Ponteiro’	Média	0,11 b	17,2 bc	R
	se	0,01	2,73	
‘TBIO Calibre’	Média	0,10 b	37,6 b	R
	se	0,02	8,80	
‘TBIO Duque’	Média	0,09 b	29,8 b	R
	se	0,02	7,95	
‘TBIO Motriz’	Média	0,08 b	17,7 bc	R
	se	0,03	6,03	
‘TBIO Sossego’	Média	0,06 b	12,1 bc	R
	se	0,01	2,72	

¹médias com mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). *Para o tratamento controle foi utilizada a cultivar de tomate ‘Santa Clara’ como padrão de suscetibilidade. ² Classificação da reação de cultivares: S, suscetível ($FR \geq 1$); R, resistente ($FR < 1$); se = erro padrão

A investigação sobre a suscetibilidade de cultivares de trigo a *M. javanica* tem revelado respostas distintas. A suscetibilidade de 19 genótipos de trigo foi demonstrada em estudo conduzido por Sharma (1982), incluindo relato de desenvolvimento reduzido de plantas infectadas por *M. javanica* em condições de estufa. Outro estudo apresentado por De Brida *et al.* (2017), todos os genótipos de trigo testados apresentaram FR inferiores a 1, atestando resistência. Os dois trabalhos citados, além de testarem diferentes cultivares, também apresentaram diferentes metodologias, haja vista que enquanto De Brida *et al.* (2017) utilizou 5.000 espécimes como Pi, mas Sharma (1982) utilizou 30.000 indivíduos. Adicionalmente, fatores ambientais podem exercer influência significativa sobre os resultados obtidos em diferentes estudos, contribuindo para a divergência de respostas observadas. Conforme destacado por Cohen (2020), alterações climáticas, como o aumento da temperatura, podem intensificar a suscetibilidade das plantas a doenças, ressaltando ainda, a importância de se considerar a interação entre múltiplos estresses, tanto bióticos quanto abióticos, nas análises experimentais.

Em estudo mais recente, Carraro-Lemes *et al.* (2022), testou 24 diferentes genótipos de trigo ($Pi = 1.000$ espécimes) e, com exceção de 'BRS 264' e 'TBIO Sossego', todas apresentaram suscetibilidade a *M. javanica*. No presente estudo, os resultados indicam que nenhuma das cultivares avaliadas favoreceu o aumento populacional de *M. javanica*. O resultado da cultivar TBIO Sossego, em particular, está em consonância ao observado por Carraro-Lemes *et al.* (2022), a despeito das diferenças na época e região de condução.

3.3.2 Teste de reação de cultivares de trigo com *Meloidogyne arenaria*

Todas as cultivares apresentaram valores de FR superiores a 1 (1,02 – 1,71). As cultivares não apresentaram diferença significativa entre si ($p > 0,05$). Assim como no primeiro experimento, o controle apresentou um valor de FR igual a 21,5, evidenciando a viabilidade do inóculo utilizado e as condições ambientais adequadas para o desenvolvimento dos fitonematoides. Dessa forma, todas as cultivares apresentaram suscetibilidade a *M. arenaria*, conforme observado na Tabela 15.

Para variável nema g⁻¹, as cultivares 'TBIO Calibre' e 'TBIO Duque' juntamente com o tratamento controle, não diferiram significativamente entre si; da mesma forma,

‘TBIO Calibre’ e ‘TBIO Duque’, ‘TBIO Motriz’, ‘TBIO Sossego’ e ‘TBIO Ponteiro’ também não apresentaram diferença significativa. A cultivar TBIO Duque apresentou o maior valor para nema g⁻¹ e o menor valor foi apresentado pela cultivar Lenox (39,6 ± 7,40).

Tabela 17 - Reação de cultivares trigo a *Meloidogyne arenaria*.

Tratamento		FR ¹	Nema g ⁻¹	Reação
Tomate	Média	21,5 a	824,1 a	S
	Se	5,4	167,26	
‘Lenox’	Média	1,71 b	39,6 c	S
	Se	0,23	7,40	
‘TBIO Calibre’	Média	1,16 b	331,3 ab	S
	Se	0,07	79,65	
‘TBIO Ponteiro’	Média	1,15 b	203,2 b	S
	Se	0,11	102,46	
‘TBIO Sossego’	Média	1,14 b	175,4 b	S
	Se	0,08	7,87	
‘TBIO Motriz’	Média	1,07 b	237,6 b	S
	Se	0,06	37,63	
‘TBIO Duque’	Média	1,02 b	333,5 ab	S
	Se	0,09	61,66	

¹ médias com mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p>0,05). *Para o tratamento controle foi utilizada a cultivar de tomate ‘Santa Clara’ como padrão de suscetibilidade. ² Classificação da reação de cultivares: S, suscetível (FR≥1); R, resistente (FR<1); se = erro padrão

Apesar da já reconhecida ocorrência de *M. arenaria* em cultivos de soja no Rio Grande do Sul, os estudos que investigam a resposta de cultivares de trigo à infecção por esse fitonematoide são escassos e, em sua maioria, antigos. A literatura existente, embora limitada, fornece evidências quanto ao potencial do trigo como hospedeiro. Em estudo realizado por Johnson; Dowler; Handoo (2000), observou o comportamento da cultura do trigo em sucessão com amendoim e algodão na presença de *M. arenaria*, sendo assim, foi possível observar que o trigo pode servir de hospedeiro alternativo, mantendo níveis elevados ou moderados da população do fitonematoide. Além desse, outro trabalho realizado por Johnson *et al.* (1989), onde avaliou-se a suscetibilidade de sete cultivares de trigo, constatou-se elevada taxa de reprodução do nematoide em cinco delas, evidenciando elevado grau de compatibilidade parasitária. Corroborando esses achados, Ibrahim *et al.* (1993) conduziu um experimento com duas raças distintas de *M. arenaria* em três cultivares

de trigo, todas classificadas como suscetíveis com base em valores de FR superiores a 1.

3.4 Conclusões

Os resultados obtidos evidenciam comportamentos distintos das cultivares de trigo frente às espécies de *Meloidogyne* avaliadas. Para *M. javanica*, observou-se um nível reduzido de reprodução do fitonematoide nas cultivares testadas, o que indica seu potencial para uso em sistemas de sucessão de culturas, especialmente em áreas com histórico de infestação por essa espécie. Por outro lado, no caso de *M. arenaria*, os resultados sugerem que as cultivares avaliadas podem atuar como hospedeiras alternativas, contribuindo para a manutenção do inóculo do fitonematoide no solo. Dessa forma, sua utilização em sistemas de sucessão de culturas não é recomendada em áreas infestadas por *M. arenaria*.

4. Conclusões Finais

O estudo revelou uma diversidade significativa de fitonematoides associados aos cereais de inverno (trigo, aveia, avevém e cevada) no Rio Grande do Sul. O gênero *Helicotylenchus* esteve presente em todas as amostras analisadas, enquanto *Pratylenchus* apresentou a maior variabilidade de espécies. Também foram identificadas espécies de *Meloidogyne* (*M. incognita* e *M. javanica*), além da ocorrência em elevada abundância de *Rotylenchulus*. Outros taxôns encontrados: *Mesocriconema*, *Pararotylenchus*, *Paratrichodorus*, *Psilenchus*, *Heterodera*, *Hoplolaimus* e *Xiphinema*. A abundância dos gêneros variou de acordo com as condições bioclimáticas locais, evidenciando a influência do ambiente na sua distribuição.

Nos testes de reação das cultivares de trigo, observou-se resistência frente a *M. javanica*, indicando potencial para uso em sucessão de culturas. Por outro lado, a suscetibilidade a *M. arenaria* sugere que essas cultivares podem contribuir para a manutenção do fitonematoide no solo. Assim, os resultados reforçam a importância da seleção criteriosa de cultivares resistentes como estratégia para o manejo de fitonematoides, a fim de evitar o acúmulo de inóculo inicial que possa comprometer a cultura subsequente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASMUS, G. L.; FERRAZ, L. C. C. B. Relações entre a densidade populacional de *Meloidogyne javanica* e a área foliar, a fotossíntese e os danos causados a variedades de soja. **Nematologia Brasileira**, v. 25, n. 1, p. 1-13, 2001. Disponível em: https://nematologia.com.br/files/revnb/25_1.pdf. Acesso em 26 mai 2025

ALTSCHUL, S. *et al.* Basic Local Alignment Search Tool. **Journal of Molecular Biology**, 215, p. 403–410, 1990. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(05\)80360-2](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(05)80360-2). Acesso em: 08 jun 2025

AMARASENA, P. G. D. S.; MOHOTTI, K. M.; DE COSTA, D. M. Effects of changing rainfall and soil temperature on population density of *Pratylenchus loosi* in tea lands at different elevations. **Tropical Agricultural Research**, v. 27, n. 3, 2016. DOI: 10.4038/tar.v27i3.8205 Disponível em: <https://tar.sljol.info/articles/10.4038/tar.v27i3.8205>

BARKER, K. R. Resistance/tolerance and related concepts/terminology in plant nematology. **Plant disease**, v.77, p.111-113, 1993. DOI: 10.5555/20023071286. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20023071286> Acesso em: 26 mai 2025.

BELLÉ, C. *et al.* Fitonematoides associados à cultura da cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul, Brasil. **Nematropica**, v. 44, n. 2, p. 207-217, 2014. Disponível em: <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/84286>. Acesso em: 206 mai 2025

BEL ENGINEERING. **BELView: software para aquisição e análise de imagens em microscopia**. Versão 6.2.3.0. [S.l.]: BEL Engineering, 2025. Disponível em: <https://belview.software.informer.com/>. Acesso em: 23 maio 2025.

BOCKUS, W. W. *et al.* **Compendium of wheat diseases and pests**. 2010. Kansas. American Phytopathological Society (APS Press), *E-book*. ISBN: 978-0-89054-385-6. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20113114273>. Acesso em 24 mai 2025.

BONETI, J. I. S.; FERRAZ, S. J. F. B. Modificação do método de Hussey & Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* de raízes de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 6, n. 3, p. 553, 1981.

BONFIM JUNIOR, M. F. *et al.* First report of *Pratylenchus crenatus* in Brazil. **New Disease Reports**, v. 34, p. 7-7, 2016. DOI: 10.5197/j.2044-0588.2016.034.007. Disponível em: <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.5197/j.2044-0588.2016.034.007>

BRZESKI, M. *Paratylenchus macrodorus* n. sp.(Nematoda, Paratylenchidae), a new plant parasitic nematode from Poland. In: Bulletin de Academie Polonaise des Sciences. Classe II. **Serie des Sciences Biologiques**, p. 277–280. 1963. DOI: [doi/full/10.5555/19640802388](https://doi.org/10.5555/19640802388). Disponível em:

<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19640802388> Acesso em 29 mai 2025.

CAFÉ FILHO, A. C.; HUANG, C. S. Description of *Pratylenchus pseudofallax* n. sp. with a key to species of the genus *Pratylenchus* Filipjev, 1936 (Nematoda: Pratylenchidae). **Revue de Nématologie**, v. 12, n. 1, p. 7-15, 1989. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Adalberto-Cafe-Filho/publication/233763459_Description_of_Pratylenchus_pseudofallax_nsp_with_a_key_to_species_of_the_genus_Pratylenchus/links/09e41513cf8364adfb000000/Description-of-Pratylenchus-pseudofallax-nsp-with-a-key-to-species-of-the-genus-Pratylenchus.pdf

CARRARO-LEMES, C. F. *et al.* Host reaction of wheat genotypes to *Meloidogyne javanica* and *M. incognita*. **Tropical Plant Pathology**, v. 47, n. 6, p. 770-775, 2022. DOI: 10.1007/s40858-022-00529-6. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40858-022-00529-6#citeas>. Acesso em: 26 mai 2025.

CASTILLO, P.; VOVLAS, N. ***Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): diagnosis, biology, pathogenicity and management**. Brill, 2007.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A cultura do trigo**. Brasília: CONAB, 2017. Disponível em: https://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/17_04_25_11_40_00_a_cultura_do_trigo_versao_digital_final.pdf. Acesso em: 29 abr. 2024

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da safra de grãos**. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 29 abr. 2024.

CARNEIRO, R.M.D.G, ALMEIDA, M.R.A. Técnica de eletroforese usada no estudo de enzimas dos nematoides das galhas para identificação de espécies. **Nematologia Brasileira** 25(1):223-228, 2001.

CASTRO, C. José Mauro; DE LIMA, Rosangela. D.; CARNEIRO, Regina G. Variabilidade isoenzimática de populações de *Meloidogyne* spp. provenientes de regiões brasileiras produtoras de soja. **Nematologia Brasileira**, v. 27, n. 1, p. 1-12, 2003.

CONSOLI, E.; DYER, A. First report of the root lesion nematode *Pratylenchus thornei* parasitizing winter wheat (*Triticum aestivum*) in Montana. **Plant Disease**, v. 108, n. 3, p. 821, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-23-2534-PDN>. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-11-23-2534-PDN>. Acesso em: 21 maio 2025.

COHEN, S. P.; LEACH, J. E. High temperature-induced plant disease susceptibility: more than the sum of its parts. **Current opinion in plant biology**, v. 56, p. 235-241, 2020. DOI: 10.1016/j.pbi.2020.02.008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2020.02.008>. Acesso em: 26 mai 2025.

COLLINS, S.; WILKINSON, C. ***Pratylenchus penetrans*: A horticulturally significant root lesion nematode**. Department of Primary Industries and Regional Development, Western Australia, Perth. Bulletin, 2015. Disponível em: <https://www.agric.wa.gov.au/carrots/pratylenchus-penetrans-horticulturally-significant-root-lesion-nematode?nopaging=1>. Acesso em 17 de maio de 2025.

COOLEN, W. A.; D'HERDE, C. J. **A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue**. 1972. English, Book, Ghent, (77 pp.), Belgium: State Agricultural Research Center.

COPELAND, R. G. R *et al.* An Update on Root Lesion Nematode Species Infecting Cereal Crops in the Southwest of Western Australia. **Crops**, v. 5, n. 2, p. 19, 2025. DOI: 10.3390/crops5020019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-7655/5/2/19>. Acesso em: 26 mai 2026.

DE BRIDA, A. L. *et al.* Oat, wheat, and sorghum genotype reactions to *Meloidogyne incognita* and *Meloidogyne javanica*. **Journal of Nematology**, v. 49, n. 4, p. 386, 2017. PMCID: PMC5770285. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29353926/>. Acesso em 26 mai 2025

DEAN, R. *et al.* The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. **Molecular plant pathology**, v. 13, n. 4, p. 414-430, 2012. DOI: 10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x. Disponível em: <https://bsppjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x> Acesso em: 21 maio 2025.

DEVI, H. M.; MAHAPATRA, S.; DAS, S. Assessment of yield loss of wheat caused by spot blotch using regression model. **Indian Phytopathology**, v. 71, p. 291-294, 2018. DOI: 10.1007/s42360-018-0036-9. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42360-018-0036-9>. Acesso em: 21 mai 2025.

DE MORI, C.; MINELLA, E. **Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da cevada**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 20 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 139). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/91355/1/2012-documentosonline-139.pdf>. Acesso em: 23 maio 2025.

DE MOURA, R. M. O gênero *Meloidogyne* e a meloidoginose parte III-Resenha histórica. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 13, p. 93-144, 2016. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/apca/article/view/1899>. Acesso em: 26 mai 2025

DE RAMOS, E. K. K. *et al.* Plant parasitic nematode communities associated to apple orchards in the Southern Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 47, n. 5, p. 626-634, 2022. DOI: 10.1007/s40858-022-00517-w. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40858-022-00517-w>. Acesso em: 26 mai 2016.

DIAS, W. P. *et al.* **Nematóides em soja: identificação e controle**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 7 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 76). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/854178/1/CT76eletronica.pdf>. Acesso em: 27 maio 2025

DOEHLEMAN G., *et al.* Plant Pathogenic Fungi. In: Joseph Heitman, *et al.* The Fungal Kingdom. **Microbiol Spectrum** 2017 p. 701-726. ISBN: 9781555819576. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1128/9781555819583.ch34/>. Acesso em: 22 maio 2025

DORMANN, C. F., *et al.* Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. **Ecography**. 2013, 36, p. 27–46. DOI: 10.1111 /j.1600-0587.2012.07348.x. Disponível em: <https://doi.org/10.1111 /j.1600-0587.2012.07348.x>.

DOS SANTOS, M. C. V.; ALMEIDA, M. T. M.; COSTA, S. R. First report of *Meloidogyne naasi* parasitizing turfgrass in Portugal. **Journal of Nematology**, v. 52, p. e2020-88, 2020. DOI: 10.21307/jofnem-2020-088 Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8015316/>. Acesso em: 22 maio 2025

EISENBACK, J. D.; TRIANTAPHYLLOU, H. H. **Rootknot nematode: *Meloidogyne* spp. and races**. In: NICKLE, W. R. Manual of agricultural nematology. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 191–274. ISBN: 9780367402976. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781000104509_A40929619/preview-9781000104509_A40929619.pdf

EQUIPE POSIT. **RStudio: Ambiente de Desenvolvimento Integrado para R**. Posit Software, PBC, Boston, MA, 2025.

FANNING, J. P. *et al.* *Pratylenchus thornei*: the relationship between presowing nematode density and yield loss in wheat and barley. **Phytopathology**, v. 110, n. 3, p. 674-683, 2020. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/full/10.1094/PHYTO-08-19-0320-R>. Acessado em 22 maio 2025

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Wheat rust disease global program**. Roma: FAO, 2008.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT statistical database**. 2011. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: 29 abr. 2024.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT statistical database**. 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: 29 abr. 2024.

FERRAZ, L. C. C. B. **As meloidoginoses da soja: passado, presente e futuro**. In: Silva, J. F. V., Relações parasito-hospedeiro nas meloidoginoses da soja (p. 15-38). Londrina: Embrapa Soja / SBN. 2001. *E-book*. ISBN: 85-7033-002-2 Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/463005>. Acesso em 26 mai 2025.

FERRAZ, L. C. C.B. O nematoide *Pratylenchus brachyurus* e a soja sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v. 15, n. 95, p. 23-27, 2006. ISSN: 1677-8081. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001553311>. Acesso em 26 mai 2025.

FERRAZ, L.C.C.B.; BROWN, D.J.F. Nematologia de Plantas: fundamentos e importância. **Sociedade Brasileira de Nematologia**. Manaus: Norma, 2016. ISBN: 978-85-99031-26-1. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/303825570_Nematologia_de_Plantas_fundamentos_e_importancia. Acesso em 25 mai 2025.

FERRAZ, L. C. C. B. *et al.* On the occurrence of *Scutellonema bizanae* and a new record of *Neodolichodorus rostrulatus* in Brazil. **Nematologia Brasileira**, v. 31, n. 1, p. 37-41, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Claudio-Oliveira/publication/237511264_On_the_occurrence_of_Scutellonema_bizanae_and_a_new_record_of_Neodolichodorus_rostrulatus_in_Brazil/links/0c960528e00f62121a000000/On-the-occurrence-of-Scutellonema-bizanae-and-a-new-record-of-Neodolichodorus-rostrulatus-in-Brazil.pdf. Acesso em: 25 mai 2025.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International journal of climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302-4315, 2017. DOI 10.1002/joc.5086. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.5086>. Acesso em: 26 mai 2025.

FORTUNER, R. Morphometrical variability in *Helicotylenchus* Steiner, 1945. 6: Value of the characters used for specific identification. **Revue de Nématologie**, v. 7, n. 3, p. 245-264, 1984. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/39872596.pdf>

GAO, L. *et al.* Discovery of *Pratylenchus zaeae* Causing Root Rot of Winter Wheat in Anhui Province of China. **Plant Disease**, n. ja, 2025. DOI: 10.1094/PDIS-02-25-0327-PDN. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PDIS-02-25-0327-PDN>. Acesso em: 26 mai 2025.

GORNY, A. M. *et al.* Soybean root-knot nematode: a diagnostic guide. **Plant Health Progress**, v. 22, n. 2, p. 164-175, 2021. DOI: 10.1094/PHP-01-21-0005-DG. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PHP-01-21-0005-DG>. Acesso em: 26 mai 2025.

GRAINS RESEARCH AND DEVELOPMENT CORPORATION. **GRDC: Grow Notes Wheat North Nematodes**. Disponível em: https://grdc.com.au/__data/assets/pdf_file/0030/370677/GrowNote-Wheat-North-08-Nematodes.pdf. Acesso em: 28 abr. 2024.

GRAINS RESEARCH AND DEVELOPMENT CORPORATION – **GRDC. Grow Notes Wheat North Diseases**. Disponível em: https://grdc.com.au/__data/assets/pdf_file/0031/370678/GrowNote-Wheat-North-09-Diseases.pdf. Acesso em: 29 abr. 2024.

GONZAGA, V. **Caracterização morfológica, morfométrica e multiplicação in vitro das seis espécies mais comuns de *Pratylenchus* Filipjev, 1936 que ocorrem no Brasil**, 2006. Tese. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 79. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/b48fe1ee-d851-48e7-a163-f7cf703f9d59>. Acesso em 05 jun 2025

HAMZA, A. M. *et al.* Diversity of plant-parasitic nematode communities associated with olive nurseries in Morocco: Origin and environmental impacts. **Applied Soil Ecology**, v. 124, p. 7-16, 2018. DOI: 10.1016/j.apsoil.2017.10.019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.019>. Acesso em: 26 mai 2025.

HANDOO, Z. A.; GOLDEN, A. M. A key and diagnostic compendium to the species of the genus *Pratylenchus* Filipjev, 1936 (lesion nematodes). **Journal of Nematology**, v. 21, n. 2, p. 202, 1989. PMID: 19287599. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2618922/>. Acesso em: 26 mai 2025.

HANDOO, Z. A; **Plant-parasitic nematodes**. Beltsville: United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service, 1998. Disponível em: <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md-barc/beltsville-agricultural-research-center/mycology-and-nematology-genetic-diversity-and-biology-laboratory/docs/docs-nl/plant-parasitic-nematodes/#ppn4>. Acesso em: 15 jul. 2025.

HANDOO, Z. A.; CARTA, L. K.; SKANTAR, A. M. Morphological and molecular characterisation of *Pratylenchus arlingtoni* n. sp., *P. convallariae* and *P. fallax* (Nematoda: Pratylenchidae). **Nematology**, v. 3, n. 6, p. 607-618, 2001. DOI: 10.1163/156854101753389220. Disponível em: www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/2279/j2001-Handoo-Molecular.pdf. Disponível em: 26 mai 2025.

HIJMANS R. J., *et al* . **geodata**: Download Geographic Data. R package version 0.6-3, 2025.

IBRAHIM, A. *et al.* Damage potential and reproduction of *Heterodera avenae* on wheat and barley under Saudi field conditions. **Nematology**, v. 1, n. 6, p. 625-630, 1999. PMCID: PMC2620404. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19270933/> Acesso em: 25 mai 2025

IBRAHIM, I. K. A.; LEWIS, S. A.; HARSHMAN, D. C. Host suitability of graminaceous crop cultivars for isolates of *Meloidogyne arenaria* and *M. incognita*. **Journal of Nematology**, v. 25, n. 4S, p. 858, 1993. PMCID: PMC2619459. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2619459/>. Acesso em 25 mai 2025.

INGRAM, J. A food systems approach to researching food security and its interactions with global environmental change. **Food security**, v. 3, p. 417-431, 2011. DOI: 10.1007/s12571-011-0149-9. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12571-011-0149-9>. Acesso em: 22 maio 2025.

INSIGHTFUL SCIENCE. **SnapGene v8.1.0**. 2022. Disponível em: <https://www.snapgene.com>. Acesso em: 08 jun 2025.

JATALA, P. **Reniform and false root-knot nematodes, *Rotylenchulus* and *Nacobbus* spp.** In: Nickle, W.R. (Ed.) Manual of agricultural nematology. New York., p.509-528, 1991. *E-book*. ISBN: 9781003066576. Disponível em: https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781000104509_A40929619/preview-9781000104509_A40929619.pdf. Acesso em 26 mai 2025

JESUS, A. M. D. *et al.* Morphological and morphometric characterization of *Pratylenchus* species in sugarcane cropping areas of Pernambuco State. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 3, p. 599-607, 2020. DOI: 10.1590/1983-21252020v33n303rc. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n303rc>. Acesso em 26 mai 2025

JONES, J. T. *et al.* Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 14, n. 9, p. 946–961, 2013. DOI: 10.1111/mpp.12057. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/mpp.12057>. Acesso em: 22 maio 2025.

JONES, J. R.; LAWRENCE, K. S.; LAWRENCE, G. W. Evaluation of winter cover crops in cotton cropping for management of *Rotylenchulus reniformis*. **Nematropica**, p. 53-66, 2006. Disponível em: <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/69729>. Acesso em: 25 mai 2025

JOHNSON, A. W.; MOTSINGER, R. E. Suitability of small grains as hosts of *Meloidogyne* species. **Journal of Nematology**, v. 21, n. 4S, p. 650, 1989. PMCID: PMC2618974. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2618974/>. Acesso em 26 mai 2025.

JOHNSON, A. W. *et al.* Crop yields and nematode population densities in triticale-cotton and triticale-soybean rotations. **Journal of Nematology**, v. 30, n. 3, p. 353, 1998. PMCID: PMC2620304. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2620304/>. Acesso em: 24 mai 2025.

JOHNSON, A. W.; DOWLER, C. C.; HANDOO, Z. A. Population dynamics of *Meloidogyne incognita*, *M. arenaria*, and other nematodes and crop yields in rotations of cotton, peanut, and wheat under minimum tillage. **Journal of Nematology**, v. 32, n. 1, p. 52, 2000. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2620434/>. Acesso em: 26 mai 2025.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, v. 48, n. 9, p. 692, 1964.

KHANAL, C. K.; YADAV, S. K.; OWUSU, E. O. *et al.* Quantifying the effect of climate change on the biology of plant-parasitic nematodes. **Climate**, v. 11, n. 1, p. 2, 2023. DOI:10.69860/nobel.9786053359449.12. Disponível em: Acessado em: 28 mai 2025.

KARSSSEN, G.; BOLK, R. J.. An additional character useful for the identification of *Pratylenchus crenatus* Loof, 1960 (Nematoda: Pratylenchidae). **Nematology**, v. 2, n.

6, p. 695-697, 2000. DOI 10.1163/156854100509556. Disponível em: <https://doi.org/10.1163/156854100509556>. Acesso em: 26 mai 2025.

KARURI H. W., *et al.* A survey of root knot nematodes and resistance to *Meloidogyne incognita* in sweet potato varieties from Kenyan fields. **Crop Protection** v. 92, p. 114-121, 2017. DOI: 10.1016/j.cropro.2016.10.020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219416303052>. Acesso em: 22 maio 2025.

KOLOMBIA, Y. A. *et al.* Morphological and molecular characterisation of *Scutellonema* species from yam (*Dioscorea* spp.) and a key to the species of the genus. **Nematology**, v. 19, n. 7, p. 751-787, 2017. DOI: 10.1163/15685411-00003084. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32704234/>. Acesso em: 26 mai 2025.

KIM, D.; CHUN, J. Y. Identification of root-lesion nematode (Pratylenchidae: *Pratylenchus*) intercepted on imported plants. **Korean journal of applied entomology**, v. 53, n. 1, p. 51-57, 2014. DOI: 10.5656/KSAE.2013.10.1.083. Disponível em: <https://doi.org/10.5656/KSAE.2013.10.1.083>.

KIRSCH, V. G. *et al.* Characterization of *Meloidogyne* and *Helicotylenchus* species associated with soybean in Rio Grande do Sul State. **Nematropica**, 2016, Vol. 46, No. 2, 197-208. 2016. DOI: 10.5555/20173296283. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20173296283>. Acesso em: 26 mai 2025.

LEACH M, AGUDELO P, GERARD P. Effect of Temperature on the Embryogenesis of Geographic Populations of *Rotylenchulus reniformis*. **Journal Nematology**. 2009. PMID: 22661774. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22661774/>

LEHMAN, P. S.; INSERRA, R. N. Morphometric variation of *Rotylenchulus parvus* and *Rotylenchulus reniformis* populations in the southern United States. **Proceedings - Soil and Crop Science Society of Florida**. 1990. DOI: 10.5555/19922319995. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19922319995>. Acesso em: 26 mai 2025.

LEONARD, K. J.; BUSHNELL, W. R. **Fusarium head blight of wheat and barley**. 2003. American Phytopathological Society (APS Press). Illustrated edition. p.503 ISBN 9780890543023.

LI, Y. *et al.* First report of the root-lesion nematode (*Pratylenchus neglectus*) on wheat in Anhui province, China. **Plant Disease**, v. 102, n. 12, p. 2663, 2018. DOI: 10.1094/PDIS-05-18-0764-PDN. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/full/10.1094/PDIS-05-18-0764-PDN>. Acesso em: 22 maio 2025.

LIU, J.; WANG, X.. Plant diseases and pests detection based on deep learning: a review. **Plant Methods**, v. 17, art. 22, 2021. DOI: 10.1186/s13007-021-00722-9.

Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s13007-021-00722-9> Acesso em: 21 maio 2025.

LOOF, P. A. A.; OOSTENBRINK, M. *Rotylenchulus borealis* n. sp. with a key to the species of *Rotylenchulus*. **Nematologica** Vol. 7, No. 1, 83-90; p 89. 1962. DOI: 10.5555/19630800849. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19630800849>

LORDELLO, L. G. E. Contribuição ao conhecimento dos nematóides que causam galhas em raízes de plantas em São Paulo e Estados vizinhos. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 21, p. 181-218, 1964. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aesalq/a/Zqn6NVddfYvh6FhXkkzJRSP/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 26 mai 2025.

LORDELLO, L. G. E. A nematosis of yam in Pernambuco, Brazil, caused by a new species of the genus *Scutellonema*. **Revista Brasileira de biologia** p 35-41 1959. DOI: 10.5555/19590801728. Disponível em: <https://library.wur.nl/WebQuery/titel/2090136>. Acesso em: 26 ma 2025.

LUZ, W. C. Nematódeos fitoparasitas associados com trigo no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropécua Brasileira** 17(2):2015-2017, 1982. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab1982.v17.15600. Disponível em: <https://apct.sede.embrapa.br/index.php/pab/article/view/15600>. Acesso em: 22 maio 2025

MACHADO, A. C. Z; SILVA, S. A da; FERRAZ, L. C. C. B. **Métodos em nematologia agrícola**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Nematologia, p. 184, 2019. Disponível em: <https://nematologia.com.br/files/livros/book5.pdf>. Acesso em: 25 mai 2025

MAI, W. F.; LYON, H. H. **Pictorial key to genera of plant-parasitic nematodes**. 4. ed. rev. Ithaca: Comstock Publishing, 1982.

MARAIS, M. **A monograph of the genus *Helicotylenchus* Steiner, 1945 (Nemata: Hoplolaimidae)**. Tese de Doutorado. Stellenbosch: Stellenbosch University, 2001. Disponível em: file:///D:/Downloads/marais_monograph_2001.pdf

MARATHÉE, J. P.; GOMEZ-MACPHERSON, H.. **Future world supply and demand**. In: BONJEAN, A.; ANGUS, W. J. The world wheat book: A history of wheat breeding. p. 1107-1111, 2001. ISBN: 1898298726 Disponível em: https://www.academia.edu/47462423/The_World_Wheat_Book_A_History_of_Wheat_Breeding

MARIA M. *et al.* Description of *Gracilacus paralatescens* n. sp. (Nematoda: Paratylenchinae) found from the rhizosphere of Bamboo in Zhejiang, China. **Journal of Nematology**. 2018 p 611-622. doi: 10.21307/jofnem-2018-041. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6909346/>

MÁRQUEZ, L. A. Y. *et al.* Unveiling the structure and distribution of plant-parasitic nematode communities in soybean fields in southern of the Brazil. **European**

Journal of Plant Pathology, v. 160, p. 457-468, 2021. DOI: 10.1007/s10658-021-02256-1. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10658-021-02256-1>. Acesso em: 24 mai 2025

MATHUR, B. N. *et al.* On the loss estimation and chemical control of 'Molya' disease of wheat caused by *Heterodera avenae* in India. **Indian Journal of Nematology**, v. 16, n. 2, p. 152-159, 1986. Disponível em: <https://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijn&volume=16&issue=2&article=003>. Acesso em: 25 mai 2025

MAY, D. B. *et al.* Assessment and management of root lesion nematodes in Montana wheat production. **Plant Disease**, v. 100, n. 10, p. 2069–2079, 2016. DOI: 10.1094/PDIS-02-16-0176-RE. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/full/10.1094/PDIS-02-16-0176-RE>. Acesso em: 22 maio 2025.

MCCLURE, M. A. *et al.* Root-knot nematodes in golf course greens of the western United States. **Plant disease**, v. 96, n. 5, p. 635-647, 2012. DOI: 10.1094/PDIS-09-11-0808. Disponível em: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PDIS-09-11-0808>. Acesso em: 25 mai 2025.

MCDONALD, A. H.; NICOL, J. M.I. **Nematode parasites of cereals**. In: LUC, M.; SIKORA, R. A.; BRIDGE, J. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. CAB International, 2005 p. 131-191. *E-book*. ISBN: 978-1-84593-144-5. Disponível em: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/2021-09/34395.pdf. Acesso em: 24 mai 2025

MEDCALC SOFTWARE LTD. **Digimizer: software de análise de imagens**. Versão 6.4.5. Ostend: MedCalc Software Ltd, 2025. Disponível em: <https://www.digimizer.com/>. Acesso em: 23 maio 2025.

MAPA - Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Portaria n.º 1.205, de 28 de novembro de 2024**. Critérios para a Análise de Risco de Pragas – ARP. Diário Oficial da União, n. 231, Seção 1, p. 34–38, 2 dez. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/sanidade-vegetal/analise-de-riscos-de-pragas>. Acesso em: 23 mai 2025.

MORESCO, E. R. **Uso da cultura do trigo no controle de fitonematoides**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2016. (Comunicado Técnico, 367). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1062723>. Acesso em: 26 mai 2025.

MURRAY, G. M.; BRENNAN, J. P. Estimating disease losses to the Australian barley industry. **Australasian Plant Pathology**, v. 39, n. 1, p. 85-96, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1071/AP09064>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1071/AP09064>. Acesso em: 22 maio 2025.

MWAMULA, A. O *et al.* A revision of the phylogeny of *Helicotylenchus* Steiner, 1945 (Tylenchida: Hoplolaimidae) as inferred from ribosomal and mitochondrial DNA. Pathogens, **The Plant Pathology Journal**, v. 12, n. 7, 2023. DOI:

10.3390/pathogens12070933 Disponível em:
<https://doi.org/10.3390/pathogens12070933>. Acesso em: 07 jul 2025.

NAIMI, B.; ARAÚJO, M. B. **usdm: Uncertainty Analysis for Species Distribution Models**. R package version 1.1-18, 2014. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=usdm>. Acesso em: 23 maio 2025.

NALLEY, L. *et al.* Economic and environmental impact of rice blast pathogen (*Magnaporthe oryzae*) alleviation in the United States. **PloS one**, v. 11, n. 12, p. e0167295, 2016. DOI: doi.org/10.1371/journal.pone.0167295 Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0167295>. Acessado em: 22 maio 2025

NICOL, J.; RIVOAL, R.; TAYLOR, S. Global importance of cyst (*Heterodera* spp.) and lesion nematodes (*Pratylenchus* spp.) on cereals: distribution, yield loss. In: **Proceedings of the Fourth International Congress of Nematology, 8-13 June 2002, Tenerife, Spain**. Brill, 2021. p. 233-251.

NICOL, J.M. *et al.* The International Breeding Strategy for the Incorporation of Resistance in Bread Wheat Against the Soil Borne Pathogens (Dryland Root Rot and Cyst and Lesion Cereal Nematodes) Using Conventional and Molecular Tools. In: Buck, H.T., Nisi, J.E., Salomón, N. (eds) **Wheat Production in Stressed Environments. Developments in Plant Breeding**. Springer Netherlands, 2007. p. 125-137. *E-book*. ISBN: 978-1-4020-5497-6. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-5497-1_17#citeas. Acesso em 24 mai 2025

NICOL, J.M., *et al.* Current Nematode Threats to World Agriculture. In: Jones, J., Gheysen, G., Fenoll, C. (eds) **Genomics and Molecular Genetics of Plant-Nematode Interactions**. Springer, 2011 p.21-43. ISBN: 978-94-007-0434-3

NGUYEN, H. T. *et al.* First Report of *Scutellonema brachyurus* (Steiner, 1938) Andrassy, 1958 and Occurrence of *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White, 1919) Chitwood, 1949 in Belgium. **Journal of Nematology**, v. 51, p. e2019-62, 2019. DOI: [10.21307/jofnem-2019-062](https://doi.org/10.21307/jofnem-2019-062). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34179809/>. Acesso em: 28 mai 2025.

NOE, J. P. Analysis and interpretation of data from nematological experiments. In: BARKER, K. R.; CARTER, C. C.; SASSER, J. N. (Eds.). **An advanced treatise on Meloidogyne. Volume II: methodology**. Raleigh (NC): North Carolina State University Graphics, 1985. p. 187-196.

NOMURA, R. B. G. *et al.* *Pratylenchus brachyurus*: status and perspectives in Brazilian agriculture. **Tropical Plant Pathology**, v. 49, n. 5, p. 573-589, 2024. DOI: [10.1007/s40858-024-00669-x](https://doi.org/10.1007/s40858-024-00669-x). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40858-024-00669-x>. Acesso em 26 mai 2025.

OOSTENBRINK, M. Major characteristics of the relation between nematodes and plants. In: **Proceedings of the 8th International Symposium of nematology**,

Antibes, France. 1966.

OERKE, E. C. Crop losses to pests. **The Journal of Agricultural Science**, v. 144, n. 1, p. 31-43, 2006. DOI:10.1017/S0021859605005708 Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/abs/crop-losses-topests/AD61661AD6D503577B3E73F2787FE7B2>. Acesso em: 22 maio 2025

Organização das Nações Unidas (ONU). World Population Prospects 2024. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/>. Acesso em: 05 jan. 2025.

ORTÍZ, R.; VARÓN DE AGUDELO, F. E.; ZUÑIGA, G. Nematodos asociados con el cultivo del plátano (*Musa* AAB o ABB) en el Valle del Cauca. **Fitopatología Colombiana**, 1979, v. 8, p. 40–52. Disponível em: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/23411>

OWEN, K. J. *et al.* Cereal and Pulse Crops with Improved Resistance to *Pratylenchus thornei* are needed to maximize wheat production and expand crop sequence options. **Agronomy**, v. 12, n. 3, p. 573, 2022. DOI: 10.3390/agronomy12030573. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/3/573> Acesso em: 05 ma 2025

ÖZDEMİR, F. G. G; YAŞAR, B; ELEKCIOĞLU, H. Distribution and population density of plant parasitic nematodes on cereal production areas of Isparta and Burdur Provinces of Turkey. **Turkish Journal of Entomology**, v. 45, n. 1, p. 53-64, 2021. DOI: 10.16970/entoted.805356. Disponível em: <https://doi.org/10.16970/entoted.805356>. Acesso em: 26 mai 2025.

PALOMARES-RIUS, J. E. *et al.* Global distribution of the reniform nematode genus *Rotylenchulus* with the synonymy of *Rotylenchulus macrosoma* with *Rotylenchulus borealis*. **Plants**, v. 10, n. 1, p. 7, 2020. DOI: 10.3390/plants10010007. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/1/7>. Acesso em: 05 jun 2025

PEBESMA, E. J. Simple Features for R: standardized support for spatial vector data. **The R Journal**, v. 10, n. 1, p. 439–446, 2018. DOI: 10.32614/RJ-2018-009. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=sf>. Acesso em: 23 maio 2025.

PENG, D. L. *et al.* Current knowledge of cereal cyst nematode (*Heterodera avenae*) on wheat in China. In: Riley, I. T.; Nicol, J. M.; Dababat A. A. **Cereal cyst nematodes: status, research and outlook** p. 29-34, 2009. E-book. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Hongmei-Li-25/publication/283523154_Current_knowledge_of_cereal_cyst_nematode_Heterodera_avenae_on_wheat_in_China/links/593175d745851553b69619ff/Current-knowledge-of-cereal-cyst-nematode-Heterodera-avenae-on-wheat-in-China.pdf. Acesso em -: 25 mai 2025.

PIRES, J. L. F *et al.* Estratégias de sucessão trigo-soja para manutenção da viabilidade das culturas no sul do Brasil. In: **Reunião da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticale, seminário técnico do trigo**, Londrina, 2013.

Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1029722>. Acesso em: 26 mai 2025.

PHILIS, I. Occurrence of *Heterodera latipons* on barley in Cyprus. **Nematologia Mediterranea**, v. 16, p. 223, 1988. ISBN: 0391-9749 Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19891125466>. Acesso em: 25 mai 2025

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024.

RAMOS, E. K. K. *et al.* **Drivers of plant parasitic nematode community structures associated with tobacco-growing areas in southern Brazil**. Journal of Phytopathology, v. 172, n. 2, p. 1-10, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jph.13309>. Acesso em: 10 abril 2025.

RIVOAL, R.; COOK, R. Nematode pests of cereals. 1993. In: EVANS, K; TRUDGILL, D. L.; WEBSTER, J. M. **Plant Parasitic Nematodes in Temperate Agriculture**. Wallingford: CAB International. p. 259–303, 1993. ISBN: 978-0-85198-808-5. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19942300052>. Acesso em 24 mai 2025.

ROBINSON, D. **broom: Convert Statistical Analysis Objects into Tidy Tibbles**. R package version 1.0.5, 2023. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=broom>. Acesso em: 23 maio 2025.

ROBINSON, A. F. *et al.* *Rotylenchulus* species: Identification, distribution, host ranges, and crop plant resistance. **Nematropica**, 1997, Vol. 27, No. 2, 127-180, 1997. DOI: 10.5555/19991700412. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19991700412>. Acesso em 26 mai 2025.

RUSINQUE, L. *et al.* Morphological, biochemical and molecular characterisation of *Meloidogyne javanica*, from North Portugal, in tomato. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 193-198, 2018. DOI: 10.19084/RCA17078 Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16640>. Acesso em: 26 mai 2025.

SCHOLZ, T. Gaps in parasitological research in the molecular era. **Trends in Parasitology**, 2024, v. 40, p. 283–291. DOI: 10.1016/j.pt.2024.02.005. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/parasitology/abstract/S1471-4922\(24\)00030-8](https://www.cell.com/trends/parasitology/abstract/S1471-4922(24)00030-8)

SIDDIQI, Mohammad Rafiq. **Tylenchida: parasites of plants and insects**. Wallingford: CABI, 2000.

SIMON, A., C. M. *et al.* Incidence, population density, and spatial heterogeneity of plant-parasitic nematodes in corn fields in Ohio. **Plant disease**, v. 102, n. 12, p. 2453-2464, 2018. DOI: 10.1094/PDIS-02-18-0311-RE. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-18-0311-RE>. Acesso em: 26 mai 2025.

SHARMA, S. B. *et al.* Role of *Scutellonema clathricaudatum* in etiology of groundnut growth variability in Niger. **Plant and Soil**, v. 143, p. 133-139, 1992. DOI: 10.1007/BF00009138. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00009138>. Acesso em: 28 mai 2025.

SHARMA, R. D. Resistencia de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) ao nematoide *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1949 [Meloidoginose; Variedade resistente; Brasil]. **Publicacao-Sociedade Brasileira de Nematologia (Brazil). no. 5.**, 1982. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/549865>. Acesso em: 26 mai 2025.

SHARMA, R. D. Patogenicidade do nematoide *Meloidogyne javanica* ao trigo (*Triticum aestivum* L.). **Sociedade Brasileira de Nematologia**. Publicação, 5 p. 109-118. Disponível em: www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/548410/1/CPAC-Patogenicidade-do-nematoide-Meloidogyne.pdf. Acesso em 26 mai 2025.

SHER, S. A. Revision of the Hoplolaiminae (Nematoda). VI. *Helicotylenchus* Steiner, 1945. **Nematologica**, 1966, Vol. 12. DOI: 10.5555/19660803123. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19660803123>. Acesso em: 26 mai 2025.

SMILEY, R. W. *et al.* Nematodes in dryland field crops in the semiarid Pacific Northwest United States. **Journal of Nematology**, v. 36, n. 1, p. 54, 2004. PMCID: PMC2620740. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2620740/> Acesso em: 23 maio 2025

SMILEY, R. W. *et al.* Crop sequences for managing cereal cyst nematode and fungal pathogens of winter wheat. **Plant Disease**, 1994. DOI: 0.1094/PD-78-1142, 0191-2917 Disponível em: https://www.apsnet.org/publications/plantdisease/backissues/Documents/1994Articles/PlantDisease78n12_1142.PDF. Acesso em 26 mai 2025

SMILEY, R.W. *et al.* *Pratylenchus thornei* associated with reduced wheat yield in Oregon. **Journal of Nematology**, v. 37, n. 1, p. 45, 2005. PMID: 19262842 Disponível em <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2620941/>. Acesso em: 26 mai 2025.

SMILEY, R. W.; NICOL, Julie M. Nematodes which challenge global wheat production. In: Carver, Brett F. **Wheat science and trade**, p. 171-187, 2009. ISBN:9780813818832. *E-book*. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780813818832>. Acesso em 24 mai 2025.

STARR, J. L.; BRIDGE, J.; COOK, R. Resistance to plant-parasitic nematodes: history, current use and future potential. In: **Plant resistance to parasitic nematodes**. Wallingford UK: Cabi Publishing, 2002. p. 1-22. DOI: 10.1079/9780851994666.00 Disponível em:

<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/abs/10.1079/9780851994666.0001>. Acesso em: 22 maio 2025.

SOARES, P. LM; SANTOS, J. M. D; LEHMAN, P. S. Estudo morfológico comparativo de populações de *Rotylenchulus reniformis* (Nemata: Rotylenchulinae) do Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, p. 292-297, 2003. DOI: 10.1590/S0100-41582003000300011 Disponível em: <https://www.scielo.br/j/fb/a/NLDVwzXbg6qpWJP4WCZmT4L/>

SPERANDIO, C. A. **Identificação de nematóides fitoparasitos do Rio Grande do Sul-Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 1992. Disponível em: web.archive.org/web/20200509044413id_/https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11135/tde-20200111-122528/publico/SperandioCesarAntonio.pdf. Acesso em 26 mai 2025

STIRLING, G. R. *et al.* Status of winter cereals, other rotation crops and common weeds as hosts of lesion nematode (*Pratylenchus zeae*). In: **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technology**. Australian Society of Sugar Cane Technologists, 2010. p. 62-70. Disponível em: <https://era.dpi.qld.gov.au/id/eprint/11454>. Acesso em: 26 mai 2025.

SCHLICK-STEINER, B.C.; STEINER, F.M.; SEIFERT, B.; STAUFER, C.; CHRISTIAN, E.; CROZIER, R.H. Integrative taxonomy: a multisource approach to exploring biodiversity. **Annual Review of Entomology**, 2010, v. 55, p. 421–438. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-112408-085432>

SWARUP, G.i; SOSA-MOSS, C. **Nematode parasites of cereals**. In: LUC, M; SIKORA, R. A.; BRIDGE, J. (org.). Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture. Wallingford: CAB International, 1990. p. 109–136. DOI: 10.5555/19901182753. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19901182753>. Acesso em 26 mai 2025.

TAMURA, K; STECHER, G; KUMAR, S. MEGA11: molecular evolutionary genetics analysis version 11. **Molecular biology and evolution**, v. 38, n. 7, p. 3022-3027, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>. Acesso em: 08 jun 2025.

TAYLOR, D.P; NETSCHER, C. An improved technique for preparing perineal patterns of *Meloidogyne* spp. **Nematologica**, v. 20, p. 268-269, 1974. DOI: 10.5555/19740816837. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19740816837>. Acesso em: 26 mai 2025.

TENG, P. S.; KRUPA, S. V. Assessment of losses which constrain production and crop improvement in agriculture and forestry. Proceedings of the EC Stakman Commemorative Symposium. University of Minnesota, Minneapolis, Minnesota. 1981. DOI: 10.5555/198105862. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19810586268>. Acesso em 25 mai 2025.

THOMPSON, J. P. *et al.* Occurrence of root-lesion nematodes (*Pratylenchus thornei* and *P. neglectus*) and stunt nematode (*Merlinius brevidens*) in the northern grain region of Australia. **Australasian Plant Pathology**, v. 39, p. 254-264, 2010. DOI: 10.1071/AP09094 Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1071/AP09094>. Acesso em: 22 maio 2025.

THOMPSON, J. P.; ZWART, R. S.; BUTLER, D. Inheritance of resistance to root-lesion nematodes (*Pratylenchus thornei* and *P. neglectus*) in five doubled-haploid populations of wheat. **Euphytica**, v. 188, n. 2, p. 209-219, 2012. DOI: 10.1007/s10681-012-0689-x. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-012-0689-x#citeas> Acesso em: 26 mai 2025

THOMPSON, J. P. *et al.* Elevated temperature reduces survival of peak populations of root-lesion nematodes (*Pratylenchus thornei*) after wheat growth in a vertisol. **Biology and Fertility of Soils**, v. 54, p. 243-257, 2018. DOI: 10.1007/s00374-017-1256-3. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-017-1256-3>. Acesso em: 28 mai 2025.

TRUDGILL, D. L. Resistance to and tolerance of plant parasitic nematodes in plants. **Annual Review of Phytopathology**, (167–192), Resistance to and tolerance of plant parasitic nematodes in plants.1991. DOI: 10.1146/annurev.py.29.090191.001123. Disponível: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19922320503>. Acesso em: 26 mai 2025.

UMARGONO, E; SUSENO, J. E; GUNAWAN, V. K-means clustering optimization using the elbow method and early centroid determination based on mean and median formula. **Atlantis Press**, 2019. DOI:10.2991/assehr.k.201010.019. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/346349075>. Acesso em: 27 mai 2025.

VAN DER PUTTEN, W. H. *et al.* Nematode interactions in nature: models for sustainable control of nematode pests of crop plants. **Advances in Agronomy**, v. 89, p. 227-260, 2006. DOI: 10.1016/S0065-2113(05)89005-4. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211305890054>. Acesso em: 22 maio 2025.

VENABLES, W. N.; RIPLEY, B. D. **Modern Applied Statistics with S**. 4. ed. New York: Springer, 2002. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=MASS>. Acesso em: 23 maio 2025.

VANSTONE, V. A. *et al.* Relationship between root lesion nematodes (*Pratylenchus neglectus* and *P. thornei*) and performance of wheat varieties. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 38, n. 2, p. 181-188, 1998. DOI: doi.org/10.1071/EA97109. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/an/EA97109>. Acesso em: 22 maio 2025.

VANSTONE, V. A. *et al.* Managing nematode pests in the southern and western regions of the Australian cereal industry: continuing progress in a challenging environment. **Australasian Plant Pathology**, v. 37, p. 220-234, 2008. DOI:

10.1071/AP08020 Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1071/AP08020>. Acesso em: 22 maio 2025.

VENSKE E, D. S. R.S, *et al.* Bread wheat: a role model for plant domestication and breeding. **Hereditas**. 2019 May 29;156:16. DOI: 10.1186/s41065-019-0093-9. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s41065-019-0093-9>. Acesso em: 26 mai 2025

WANG, H *et al.* Morphological and molecular characterisation of *Pratylenchus parazeae* n. sp. (Nematoda: Pratylenchidae) parasitizing sugarcane in China. **European Journal of Plant Pathology**, v. 164, p. 145–161, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-022-02485-3>. Acesso em: 07 jul 2025.

WESEMAEL, W; VIAENE, N; MOENS, M. Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) in Europe. **Nematology**, v. 13, n. 1, p. 3-16, 2011. DOI:10.1163/138855410X526831 Disponível em: https://brill.com/view/journals/nemy/13/1/article-p3_2.xml. Acesso em 25 mai 2025.

WICKHAM, H. tidy: **Tidy Messy Data**. R package version 1.3.0, 2023. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=tidy>. Acesso em: 23 maio 2025.

WILLIAMS, K. *et al.* Mapping of the root lesion nematode (*Pratylenchus neglectus*) resistance gene Rlnn1 in wheat. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 104, p. 874-879, 2002. DOI: 10.1007/s00122-001-0839-3 Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00122-001-0839-3>. Acesso em 22 maio 2025

ZADOKS, Jan C. **Crop Protection in Medieval Agriculture: Studies in pre-modern organic agriculture**. Sidestone Press, 2013. ISBN 978-90-8890-187-4. *E-book*. Disponível em: <https://www.sidestone.com/books/crop-protection-in-medieval-agriculture>. Acesso em: 24 mai 2025.