



WAGNER TOSHIHIRO KIKUCHI

**DESEMPENHO DE LINHAGENS DE SOJA EM AMBIENTES
COM NEMATOIDES DAS GALHAS**

**LAVRAS – MG
2024**

WAGNER TOSHIHIRO KIKUCHI

**DESEMPENHO DE LINHAGENS DE SOJA EM AMBIENTES COM NEMATOIDES
DAS GALHAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós- Graduação do Mestrado Profissional em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi
Orientador

**LAVRAS - MG
2024**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Kikuchi, Wagner Toshihiro.

Desempenho de linhagens de soja em ambientes com
nematoides das galhas / Wagner Toshihiro Kikuchi. - 2024.
43 p. : il.

Orientador(a): Adriano Teodoro Bruzi.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de
Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Melhoramento genético. 2. soja. 3. Nematóide das galhas. I.
Bruzi, Adriano Teodoro. II. Título.

WAGNER TOSHIHIRO KIKUCHI

**DESEMPENHO DE LINHAGENS DE SOJA EM AMBIENTES COM NEMATOIDES
DAS GALHAS**

**PERFORMANCE OF SOYBEAN LINES IN ENVIRONMENTS WITH ROOT-KNOT
NEMATODE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós- Graduação do Mestrado Profissional em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 27 de marco de 2024
Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi - UFLA
Prof. Dr. Jose Maria Villela Pádua - UFLA
Dr. Gabriel Mendes Villela - GDM

Prof. Dr. Adriano Teodoro Bruzi
Orientador

**LAVRAS - MG
2024**

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Programa de Pós-graduação do Mestrado Profissional em Genética e Melhoramento de Plantas pela oportunidade.

Ao orientador e professor Dr. Adriano Teodoro Bruzi por todos os ensinamentos e conhecimentos compartilhados e por toda a ajuda neste trabalho.

Agradeço à todos os colegas, amigos e à GDM Genética do Brasil S.A pela disponibilidade, auxílio e informações necessárias para realização deste trabalho.

RESUMO

A soja é a principal cultura no agronegócio brasileiro, porém vem enfrentando problemas fitossanitários, dentre os quais destaca-se o aumento de áreas com presença de nematoides, principalmente do gênero *Meloidogyne*. A pesquisa contínua é fundamental para desenvolver novas estratégias de manejo e cultivares mais resistentes a esses patógenos tornando fundamental a presença de programas de melhoramento de soja voltados a obtenção de cultivares capazes de incrementar a produtividade em áreas com presença de nematoides causadores de galha. Neste âmbito objetivou-se avaliar em campo o comportamento de cultivares/linhagens de soja quanto a severidade para nematoides das galhas, comparando os resultados com os dados fenotípicos obtidos em casa de vegetação, com o propósito de se validar o método de fenotipagem para emprego nos programas de melhoramento visando a obtenção de cultivares resistentes. Os experimentos à campo foram conduzidos nos municípios de Manoel Viana-RS e São Francisco de Assis-RS, em áreas naturalmente infestadas de nematoides *M. incognita* e *M. javanica*. Nessas áreas foram visualmente identificadas reboleiras com maior incidência de nematoide, tendo um preparo prévio para instalação do experimento. Os testes em casa de vegetação foram conduzidos em Cambé-PR no laboratório de fitossanidade da GDM. O solo foi previamente preparado para multiplicação dos nematoides de galhas, e depois utilizado para o preparo dos vasos, nos quais foram semeadas as linhagens e cultivares utilizadas no presente estudo. Em ambos os experimentos foram utilizadas onze cultivares/linhagens experimentais. Os genótipos foram avaliados quanto à intensidade de galhas utilizando-se a escala de notas de 0 a 5, proposta pelo Serviço Nacional de Proteção de Cultivares, MAPA (2012). Com relação ao comportamento fenotípico das linhagens testadas, tanto nos experimentos em campo quanto em casa de vegetação o menor índice de galhas (IG) foi observado na SBI225105 e, por seu turno, a maior nota na linhagem SBI225110 para *M. incognita*. Considerando *M. javanica* todas as linhagens avaliadas foram classificadas como susceptíveis.

Palavras-chave: nematoide das galhas; fenotipagem; melhoramento genético para resistência.

ABSTRACT

Soybeans are the main crop in Brazilian agribusiness, but they are facing phytosanitary problems, among which the increase in areas with the presence of nematodes, mainly of the *Meloidogyne* genus, stands out. Continuous research is essential to develop new management strategies and cultivars that are more resistant to these pathogens, making it essential to have soybean improvement programs aimed at obtaining cultivars capable of increasing productivity in areas with the presence of root-knot nematodes. In this context, the objective was to evaluate in the field the behavior of soybean cultivars/lines in terms of severity for root-knot nematodes, comparing the results with phenotypic data obtained in a greenhouse, with the purpose of validating the phenotyping method for use in breeding programs aimed at obtaining resistant cultivars. The field experiments were conducted in the municipalities of Manoel Viana-RS and São Francisco de Assis-RS, in areas naturally infested with nematodes *M. incognita* and *M. javanica*. In these areas, reboleiras with a higher incidence of nematodes were visually identified, with prior preparation for the installation of the experiment. The greenhouse tests were conducted in Cambé-PR at the GDM plant health laboratory. The soil was previously prepared for the multiplication of root-knot nematodes, and then used to prepare the pots, in which the lines and cultivars used in the present study were sown. In both experiments, eleven cultivars/experimental lines were used. The genotypes were evaluated for gall intensity using the rating scale from 0 to 5, proposed by the National Cultivar Protection Service, MAPA (2012). Regarding the phenotypic behavior of the tested strains, both in field and greenhouse experiments, the lowest gall index (GI) was observed in SBI225105 and, in turn, the highest score in the SBI225110 strain for *M. incognita*. Considering *M. javanica*, all strains evaluated were classified as susceptible.

Keywords: root-knot nematode; phenotyping; genetic improvement for disease resistance.

INDICADORES DE IMPACTO

O trabalho avaliou o comportamento de cultivares/linhagens de soja em áreas infectadas com nematoides das galhas, comparando os resultados fenotípicos obtidos em condições à campo e os resultados obtidos em casa de vegetação, com o propósito de se validar um método eficiente e confiável de fenotipagem para emprego nos programas de melhoramento visando a obtenção de cultivares resistentes/tolerantes aos nematoides. A validação de uma melhor avaliação para identificação de materiais resistentes/tolerantes a nematoides das galhas possibilitará a obtenção de linhagens favoráveis que permitirão a manutenção e até incremento de produtividade em áreas infestadas com nematoides, que cresce cada vez mais nas regiões agrícolas, possibilitando assim um maior rendimento por área cultivada e menor dependência de controles químicos.

IMPACT INDICATORS

This work evaluated the behavior of soybean cultivars/lines in areas infected with root-knot nematodes, comparing the phenotypic results obtained under field conditions and the results obtained in a greenhouse, with the purpose of validating an efficient and reliable phenotyping method for use in breeding programs aimed at obtaining cultivars resistant/tolerant to nematodes. The validation of a better evaluation for the identification of materials resistant/tolerant to root-knot nematodes will make it possible to obtain favorable cultivars that will allow the maintenance and even increase of productivity in areas infested with nematodes, which are increasingly growing in agricultural regions, thus enabling a higher yield per cultivated area and less dependence on chemical controls.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Localização dos experimentos à campo no estado do Rio Grande do Sul. | 21 |
| Figura 2 - Vasos de 5 litros para multiplicação de nematoides (A) e Inoculação de nematoides (B)..... | 23 |
| Figura 3 - Condução dos testes em casa de vegetação | 23 |
| Figura 4 - Escala visual a campo (A) e escala de porcentagem de galha | 24 |
| Quadro 1 - Análise experimento de <i>M. Incognita</i> | 25 |
| Quadro 2 - Análise experimento de <i>M. Javanica</i> | 25 |
| Figura 5 - Representação de uma unidade de avaliação composta por cinco covas. | 26 |
| Figura 6 - Croqui do campo..... | 27 |
| Figura 7 - Distribuição espacial das covas. | 27 |
| Figura 8 - Detalhamento da metodologia mista para seleção de materiais tolerantes a nematoides das galhas..... | 37 |
| Gráfico 1 - Médias de notas obtidas por meio da escala do MAPA para as linhagens testadas em condições de campo com <i>M. Incognita</i> e <i>M. Javanica</i> | 31 |
| Gráfico 2 - Médias de notas obtidas por meio da escala do MAPA para as linhagens testadas em casa de vegetação com <i>M. Incognita</i> e <i>M. Javanica</i> | 32 |
| Gráfico 3 - Correlação classificatória de Spearman (ρ) e o índice de coincidência (IC) para as linhagens testadas em condições de campo e casa de vegetação..... | 34 |
| Quadro 1 - Análise experimento de <i>M. Incognita</i> | 25 |
| Quadro 2 - Análise experimento de <i>M. Javanica</i> | 25 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Classificação qualitativa de cultivares frente ao parasitismo de nematoides de galha, proposto por Moura e Régis (1987). | 18 |
| Tabela 2 - Classificação de plantas quanto ao parasitismo de nematoides de galhas, proposto por Taylor e Sasser (1978). | 18 |
| Tabela 3 - Classificação de genótipos proposto por Canto-Saénz (1985), baseado no índice de galhas (IG) e fator de reprodução (FR) | 19 |
| Tabela 4 - Classificação de cultivares quanto à intensidade de galhas presente no sistema radicular. | 19 |
| Tabela 5 - Características das cultivares/linhagens utilizados..... | 22 |
| Tabela 6 - Classificação de cultivares quanto à intensidade de galhas presente no sistema radicular | 24 |
| Tabela 7 - Parâmetros para análise de nematoides | 26 |
| Tabela 8 - Quadrados médios (QM) para o modelo de unidade experimental (5 covas) que inclui os efeitos de unidade experimental (U), linhagem (L), progênie (P), interação unidade experimental linhagem (UL) e resíduo (R), para o efeito de genótipos, avaliados em casa de vegetação e campo considerando as notas de severidade..... | 29 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 13 |
| 2.1 | Histórico e importância econômica da soja no Brasil | 13 |
| 2.2 | Nematoides de galha na soja | 15 |
| 2.3 | Resistência genética no controle de nematoides na cultura da soja | 16 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 21 |
| 3.1 | Locais de condução dos experimentos | 21 |
| 3.2 | Tratamentos genéticos utilizados | 21 |
| 3.3 | Condução dos experimentos | 22 |
| 3.3.1 | Casa de vegetação | 22 |
| 3.3.2 | Experimentos em campo | 25 |
| 3.4 | Análise estatística | 28 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 29 |
| 5 | CONCLUSOES..... | 35 |
| 6 | PRODUTO TÉCNICO ATRELADO..... | 36 |
| | REFERÊNCIAS | 38 |
| | ANEXO A - Resíduo casa de vegetação (A). Resíduo campo (B)..... | 43 |

1 INTRODUÇÃO

A soja é a principal cultura no agronegócio brasileiro, sendo responsável por promulgar o crescimento da balança comercial nacional. Porém, sua produção em larga escala e a manutenção do crescimento da produtividade vem enfrentando problemas fitossanitários, dentre os quais, pode-se destacar o recrudescimento de áreas com presença de nematoides em níveis cada vez mais elevados.

Os nematoides são responsáveis por causar danos significativos às plantas de soja, afetando diretamente a produtividade e a qualidade dos grãos. O aumento das áreas com presença de nematoides, pode ser atribuído a diversos fatores, os quais destacam-se práticas agrícolas inadequadas, como monocultivo e manejo inadequado do solo, bem como o aumento das temperaturas e mudanças climáticas que podem favorecer a proliferação desses patógenos (Silva, 1988).

No Brasil, os nematoides do gênero *Meloidogyne* estão entre os mais frequentemente associados a danos na cultura, com ampla distribuição geográfica, sendo responsáveis por prejuízos crescentes. Destacam-se o *M. javanica* de ocorrência generalizada, enquanto o *M. incognita* predomina em áreas cultivadas anteriormente com café ou algodão (Almeida *et al.*, 2005; Dias *et al.*, 2010). Os danos causados por esses organismos patogênicos na cultura da soja, somente no Brasil, são estimados em R\$ 16,1 bilhões (Longhi, 2022).

Visando a minimização deste problema, é fundamental adotar medidas de manejo integrado de nematoides, que incluem o uso de cultivares resistentes, rotação de culturas, manejo adequado do solo e uso de produtos químicos, quando necessário. Além disso, a pesquisa continuada é fundamental para desenvolver novas estratégias de manejo e cultivares mais resistentes a esses patógenos. O manejo de nematoides inclui prática de controle químico, físico e cultural. No entanto, todos eles apresentam algumas desvantagens, como no caso do controle químico que tem alto custo e são altamente tóxicos (Dias-Ariera; Chiamolera, 2011).

O controle físico utiliza energia solar (solarização) e estrutura plástica, buscando o aquecimento em torno de 45 °C, o qual resulta na inativação do inóculo, todavia essa prática só é viável em pequenas áreas, uma vez que essa área ficará improdutiva por cerca de um mês (Bedendo; Massola Júnior; Amorim, 2018).

Por sua vez, o manejo cultural pela rotação de culturas, é uma técnica muito utilizada, que apresenta eficiência no controle dos nematoides pela intercalação de culturas suscetíveis e não suscetíveis, objetivando a redução do patógeno por meio da redução de sua fonte alimentar.

Porém para a soja essa prática torna-se complexa devido a sua suscetibilidade a várias espécies de nematoides (Cardoso *et al.*, 2019; Inomoto *et al.*, 2013).

Assim sendo, dentre as ferramentas mais viáveis e com grande potencial de sucesso e viabilidade para o controle de nematoides é o desenvolvimento de cultivares tolerantes/resistentes (Dong; Zhang, 2006). Logo, figura-se como fundamental a presença de programas voltados a obtenção de cultivares de soja capazes de incrementar a produtividade em áreas com presença de nematoides causadores de galha.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar em campo o comportamento de cultivares/linhagens de soja quanto a severidade para nematoides das galhas, comparando os resultados com os dados fenotípicos obtidos em casa de vegetação, com o propósito de se validar o método de fenotipagem para emprego nos programas de melhoramento visando a obtenção de cultivares resistentes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico e importância econômica da soja no Brasil

A soja atualmente cultivada [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma espécie autógama, cleistogâmica e bissexual, membro da família Fabaceae, composto por dois subgêneros, *Glycine* (plantas perenes) e *Soja* (plantas anuais), que inclui a espécie *G. max* e sua ancestral selvagem *G. soja*. Originalmente, a soja era uma planta rasteira que crescia ao redor de rios e lagos, foi explorada e domesticada por cientistas chineses por meio do cruzamento entre espécies selvagens a partir da *Glycine ussuriensis* oriunda da Ásia Oriental e que apresenta sementes pequenas (Martin, 2006)

Ainda que fosse conhecida e consumida há milhares de anos, pelas civilizações orientais, na Europa, sua introdução se deu apenas no final do século XV, nos jardins botânicos da França, Inglaterra e Alemanha. O interesse pelo grão pelas indústrias mundiais só ocorreu na segunda década do século XX, devido ao teor de óleo e proteína da cultura. No entanto, a introdução comercial do grão nesses países foi falha, devido, provavelmente, as condições climáticas desfavoráveis.

No Brasil a soja foi experimentalmente introduzida em 1882, no Estado da Bahia, no entanto não houve boa adaptação da cultura devido a latitude e condições edafoclimáticas diferentes do seu local de origem. Já no estado de São Paulo, sua adaptação foi um pouco mais significativa em relação ao estado da Bahia, porém ainda sem muito sucesso. Foi no Estado do Rio Grande do Sul, na década de 1940, mais precisamente no município de Santa Rosa – RS, que o cultivo comercial dessa leguminosa passou a ter maior expressão econômica, devido às condições climáticas favoráveis ao seu desenvolvimento, as quais eram semelhantes ao local de origem da cultura (Gazzoni, 2018).

Foi a partir da década de 1970 que a soja ganha dimensão e instituições públicas (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, institutos estaduais de pesquisa e universidades) e privadas, iniciam o desafio de produzir cultivares adaptadas as condições brasileiras, em substituição as cultivares importadas. Isso porque, a soja é classificada como uma planta de dias curtos, ou seja, necessita de maior quantidade de horas de escuro para o seu florescimento. Assim foi somente após os cientistas introduzirem o atributo de período juvenil longo que a soja conseguiu se expandir com segurança para as outras regiões (Silva *et al.*, 2017). Durante o período juvenil, a planta de soja não floresce, mesmo que as condições de fotoperíodo estejam presentes. Só assim é possível que a planta cresça e se desenvolva, forme biomassa em volume adequado e expresse altos rendimentos. Essa descoberta representou uma quebra de

paradigma em escala global, pois nunca havia sido possível cultivar soja com sucesso, em regiões tropicais (Gazzoni, 2018).

Com intenso trabalho dos melhoristas a cultura da soja se expandiu para todo o território nacional havendo sistemático incremento de produtividade, até mesmo para locais próximos a linha do Equador, onde o fotoperíodo é mais curto no verão quando comparado a maiores latitudes, antecipando o florescimento e reduzindo a produtividade.

Para além do desenvolvimento de cultivares adaptadas as condições brasileiras, diversos outros fatores contribuíram para a disseminação da soja no país, como a valorização da cultura no mercado na década de 1970; a maior utilização de produtos de origem vegetal em detrimento à gordura de origem animal; maior acesso ao uso de máquinas agrícolas e insumos; baixo valor da terra para ampliação da fronteira agrícola; boa estruturação de redes de pesquisa dos setores públicos e privados; cultivo alternativo ao trigo no Rio Grande do Sul e topografia plana do Cerrado; desenvolvimento de cultivares insensíveis ao fotoperíodo, possibilitando o cultivo em áreas de baixa latitude; regime pluviométrico favorável, coincidindo com o período de entressafra da produção dos Estados Unidos e a implantação de políticas governamentais. Além disso, podemos destacar que a pesquisa fitotécnica no melhoramento da cultura foi fundamental para a sua expansão em território nacional, com o desenvolvimento de cultivares mais produtivos, adaptados e resistentes a diversos fitopatógenos (Bezerra *et al.*, 2015; Embrapa, 2005; Sedyama, 2009; Silva *et al.*, 2017).

A partir de então, a cultura ganhou notoriedade e despertou o interesse de produtores e demais setores envolvidos na cadeia produtiva da cultura, alavancando a expansão da área plantada e, conseqüentemente, elevando o volume produzido. Atualmente, a soja é amplamente utilizada para a preparação de rações animais, produção de óleo e outros subprodutos, além disso, o seu consumo in natura tem se ampliado atualmente (Lemes *et al.*, 2019). O padrão agroexportador centrado na produção de commodities agrícolas, os avanços nas técnicas de gestão, manejo e o desenvolvimento de cultivares adaptadas consolidou a soja como a oleaginosa mais cultivada mundialmente, inclusive entre países da América do Sul como Argentina, Bolívia, Uruguai, Paraguai e Brasil (Oliveira; Hecht, 2016).

Neste cenário a produção de soja é um dos setores da economia agrícola mais importantes para o Brasil, sendo uma cultura de grande importância econômica, geradora de divisas cambiais e a principal lavoura na formação do valor da produção, além de ser considerada uma das principais commodities brasileiras. Na safra 2022/2023, a produção brasileira de soja foi de 154 milhões de toneladas, em uma área colhida de 44 milhões de

hectares e produtividade média de 3507 kg.ha⁻¹ (CONAB, 2024), com previsão de aumento para a safra 2023/2024.

Todos esses resultados são frutos das intensas pesquisas no melhoramento genético com o desenvolvimento de novas cultivares, com adaptações à diferentes áreas, com atributos agronômicos satisfatórios, bem como alto rendimento produtivo. No entanto, o cultivo por longos períodos em grandes áreas, no qual são realizadas semeaduras de soja sobre soja, tem elevado o agravamento de problemas fitossanitários em relação a pragas, doenças e plantas daninhas, promovendo significativas mudanças nos sistemas produtivos, com consequente aumento nos custos de produção e redução da sustentabilidade de todo o sistema.

Nesse aspecto podemos destacar os nematoides como um dos principais organismos patogênicos da cultura da soja e, somente no Brasil, as perdas causadas por eles estão estimadas em R\$ 16,1 bilhões (Longhi, 2022). Pode-se destacar, entre as diferentes espécies de nematoides, os nematoides de cisto (*Heterodera glycine*), os formadores de galhas (*Meloidogyne javanica*, *M. Incognita*, *M. arenaria*) e o das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*), como os mais agressivos.

2.2 Nematoides de galha na soja

Os nematoides do gênero *Meloidogyne* compreende as principais espécies de nematoides parasitas de plantas, denominados de fitonematoides. São organismos invertebrados da fauna do solo, pertencentes ao filo *Nematoda*, que possuem diferentes hábitos alimentares e funções ecológicas

Dentro do sistema produtivo da soja, muitas espécies de nematoides causam elevados danos por perdas na produtividade, limitando a expressão do potencial produtivo, fato este que está ligado à ampla distribuição geográfica da espécie, extensa gama de hospedeiros e envolvimento em complexos de doenças com bactérias e fungos, levando a uma crescente preocupação entre os pesquisadores e produtores (Machado *et al.*, 2006; Moens *et al.*, 2009).

Estudos identificaram mais de cem espécies de nematoides, envolvendo cerca de 50 gêneros, associadas a cultivos de soja em todo mundo. Dentre elas, encontram-se: *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne javanica*, *Heterodera glycines*, *Rotylenchulus reniformis*, *Pratylenchus brachyurus*, *Scutellonema brachyurus*, *Helicotylenchus spp.* e *Tubixaba spp.* (Dias *et al.*, 2010).

Com relação à fisiologia deste gênero de nematoides, o ciclo de vida dura de três a quatro semanas, aumentando a quantidade de gerações de acordo com o aumento da temperatura média do ambiente. Na fase juvenil de segundo estágio (J2), o nematoide penetra

na raiz da planta, estabelecendo-se junto ao cilindro vascular das radículas e, após este pareamento, por meio de seu estilete, o J2 injeta no interior das células uma substância que incita a formação e multiplicação de células radiculares que os nematoides utilizam como fonte de alimentação. Desta forma, as células do hospedeiro sofrem mudanças fisiológicas e morfológicas, incluindo hiperplasia e hipertrofia, que culminam na formação da galha.

Para chegar a fase adulta o nematoide passa por mais três ecdises, na qual as fêmeas apresentam o corpo globoso. Ao final do ciclo, cada fêmea produz, em média, 500 ovos, que são depositados de maneira agregada, em massas gelatinosas, que os protegem de diferentes patógenos e da desidratação (Agrios, 1988).

Os sintomas causados pelo aumento nas populações de *Meloidogyne sp.* podem ser divididos em sintomas diretos, que são o engrossamento das raízes das plantas de soja (galha), o que caracteriza o nome comum de nematoides de galha e necrose dos tecidos radiculares, e sintomas indiretos, causados pelo comprometimento da sua capacidade de absorver água e nutrientes. Plantas severamente atacadas exibem sintomas como subdesenvolvimento, amarelecimento, murcha e manchas cloróticas nas folhas, conhecidas como folha-carijó (Asmus, 2001), abortamento da floração e vagens que, diretamente, resulta na redução da produção (Dias *et al.*, 2010).

No Brasil o gênero *Meloidogyne* pode causar perdas de 10% à cultura da soja (Asmus, 2001). Um dos fatores que agravam a dificuldade de identificação, controle e metodologias de avaliação de métodos de melhoramento de plantas resistentes e a sua característica de distribuição espacial, formando “reboleiras”.

Métodos de controle químicos estão cada vez mais difundidos no processo produtivo da soja, porém apresentam efeitos temporários, além disto, os nematicidas têm custo elevado e são altamente tóxicos (Dias-Ariera; Chiamolera, 2011), dessa forma o uso de cultivares resistentes se torna a maior ferramenta do produtor, possibilitando manter o potencial produtivo mesmo na presença de nematoides das galhas.

2.3 Resistência genética no controle de nematoides na cultura da soja

Diversas cultivares que apresentam resistência ao nematoide das galhas que foram desenvolvidas no país, descendem da cultivar americana Bragg. Sua fonte de resistência foi adquirida por meio da cultivar Jackson, em um cruzamento com a D49-2491 (Ha *et al.*, 2004).

Inicialmente a cultivar Bragg foi muito utilizada pelos produtores, no entanto a ocorrência de epidemias como a mancha olho-de-rã, causada pelo fungo *Cercospora sojina*, limitou o seu cultivo, culminando com o surgimento do cancro da haste, causado por *Diaporthe aspalathi* (sin. *D. phaseolorum* var. *meridionalis*), o qual dizimou lavouras de cultivares suscetíveis, inviabilizou a semeadura da cultivar (Silva, 2001).

Todavia, uma vez que essa cultivar possuía genes de resistência ao nematoide das galhas, seu uso foi continuado em programas de melhoramento genético gerando descendentes, como as cultivares BR-6 (Nova Bragg), BR-13 e ‘MG/BR-46’ (Conquista) (Silva, 2001), apresentando, essa última, com bons níveis de resistência a *M. Javanica*, *M. arenaria* e *M. Incognita*, sendo durante muitos anos uma das cultivares de soja mais semeadas no Brasil Central (Silva, 2001).

Posteriormente, nova fonte de resistência foi encontrada em germoplasma dos Estados Unidos, como a PI 96354, a qual foi identificada com maior nível de resistência a *M. Incognita*, reduzindo a formação de galhas e a reprodução dos nematoides. Segundo pesquisas realizadas com essa cultivar, foi possível observar sua resistência quase completa a *M. incógnita*, pela menor taxa de desenvolvimento do nematoide, bem como menor produção de ovos por massa de ovos, além da migração diferencial do J2, responsável pelo baixo número de nematoides nas raízes (Herman; Hussey; Boerma, 1991; Moura *et al.*, 1993; Tamulonis *et al.*, 1997).

A utilização de genótipos resistentes para o controle de nematoides tem sido o método mais utilizado na cultura da soja, pelo baixo impacto ambiental, além de poder ser aplicado em grandes áreas. Plantas resistentes podem suprimir a reprodução de nematoides, diminuir o tempo de rotação de culturas e uso de agrotóxicos além de não necessitar de equipamentos específicos e possuir custo similar aos materiais suscetíveis (Camargo, 2011; Boerma, Hussey, 1992). Dessa forma o estudo de metodologias que permitam a identificação de materiais resistentes, torna-se de grande importância para a utilização em programas de melhoramento genético.

Idealmente, um protocolo de seleção de materiais resistentes deve ser rápido, confiável e reproduzível para diferentes genótipos. Assim, protocolos realizados em casa de vegetação apresentam maiores vantagens em relação ao campo, pela possibilidade de padronização das variáveis nível, distribuição e pureza do inóculo, além da possibilidade de realização durante todo o ano (Boerma; Hussey, 1992).

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos para avaliação de nematoide das galhas em casa de vegetação com o objetivo de verificar e confirmar as relações de tolerância, resistência e suscetibilidade de algumas cultivares de soja disponíveis no mercado. Essas metodologias

fazem uso de principalmente de dois parâmetros, a reprodução do nematoide e o dano por ele causado.

Logo, tem-se que o fator de reprodução (FR) é baseado na reprodução do nematoide, com base na sua contagem (ovos, juvenis e/ou adultos conforme o gênero envolvido), após extração da raiz e/ou rizosfera (Silva, 2001). Posteriormente, por meio da divisão entre os valores da população final (contada), e inicial (inoculada), temos o FR. Assim, valores de $FR \geq 1$ classificam genótipos como susceptíveis, $FR < 1$ classificam como resistentes e $FR = 0$, são imunes (Oostenbrink, 1966).

A partir do FR outros autores propuseram a avaliação da resistência por meio da redução do fator de reprodução (RFR), dado pelo cálculo do percentual de redução do fator de reprodução conforme a fórmula: $RFR = [(FR \text{ do padrão suscetível} - FR \text{ do tratamento}) / FR \text{ do padrão suscetível}] \cdot 100$. Segundo os resultados obtidos as plantas são classificadas conforme a escala descrita na tabela 1 (Moura; Régis, 1987).

Tabela 1 - Classificação qualitativa de cultivares frente ao parasitismo de nematoides de galha, proposto por Moura e Régis (1987).

| % de Redução do FR | Classificação |
|--------------------|--|
| 0 – 25 | Altamente Suscetível (AS) |
| 26 – 50 | Suscetível (S) |
| 51 – 75 | Pouco resistente (PR) |
| 76 – 95 | Moderadamente Resistente (MR) |
| 96 – 99 | Resistente (R) |
| 100 | Altamente Resistente (AR) ou Imune (I) |

Fonte: Adaptado de Moura e Régis (1987)

Outros métodos também estabelecidos classificam a reação dos genótipos pela contagem do número de galhas ou massa de ovos, atribuindo-se notas conforme os valores da contagem (Tabela 2) (Taylor; Sasser, 1978).

Tabela 2 - Classificação de plantas quanto ao parasitismo de nematoides de galhas, proposto por Taylor e Sasser (1978).

| Índice de galhas (IG) | Nº de galhas e/ou massas de ovos |
|-----------------------|----------------------------------|
| 0 | 0 |
| 1 | 1 – 2 |
| 2 | 3 – 10 |
| 3 | 11 - 30 |
| 4 | 31 - 100 |

| | |
|---|-------|
| 5 | > 100 |
|---|-------|

Fonte: Adaptado de Taylor e Sasser (1978)

Por seu turno, o FR também pode ser associado ao Índice de Galhas (IG), resultando em outro tipo de caracterização da resistência conforme a descrição apresentada na tabela 3 (Canto-Sáenz, 1985).

Tabela 3 - Classificação de genótipos proposto por Canto-Saézn (1985), baseado no índice de galhas (IG) e fator de reprodução (FR)

| Reação | IG e FR |
|------------------|---------------------------|
| Hipersuscetíveis | $IG > 2$ e $FR \leq 1$ |
| Suscetíveis | $IG > 2$ e $FR > 1$ |
| Tolerantes | $IG \leq 2$ e $FR > 1$ |
| Resistentes | $IG \leq 2$ e $FR \leq 1$ |
| Imunes | $IG = 0$ e $FR =$ |

Fonte: Adaptado de Canto-Saézn (1985)

Mais recentemente o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2012) propôs uma avaliação visual, considerando escala de notas que variam de zero a cinco, conforme a intensidade das galhas no sistema radicular das plantas (Tabela 4).

Tabela 4 - Classificação de cultivares quanto à intensidade de galhas presente no sistema radicular.

| Índice | Classificação |
|--------|---|
| 0 | Imune |
| 1 | uma ou duas galhas e sistema radicular normal |
| 2 | poucas galhas pequenas e sistema radicular bem desenvolvido |
| 3 | galhas pequenas e sistema radicular pouco prejudicado |
| 4 | muitas galhas e sistema radicular prejudicado |
| 5 | sistema radicular totalmente tomado por galhas |

Fonte: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (2012).

Além disso, nesse método deve-se utilizar cultivares padrão de resistência (R) conhecida, como os genótipos PI 595099, CD 201, CD 202 e MG/BR 46 Conquista, e de suscetibilidade (S), BRS Celeste, Santa Rosa, BRS/MT Pintado, BRS 133 e Embrapa 2, para efeito de comparação no momento de atribuição das notas (MAPA, 2010).

Kirsch *et al.*, (2019) propuseram a avaliação de genótipos quanto a resistência ou suscetibilidade a *Meloidogynes* na soja, dos genótipos BMX Potência RR, BMX Turbo RR,

TEC 6029 IPRO, Fundacep 58 RR, FPS Urano RR e BMX Ponta IPRO, por meio de avaliações quanto ao FR e (IG), segundo metodologia descrita por Taylor e Sasser (1978). Os autores concluíram que o genótipo BMX Turbo RR é resistente, enquanto os demais mostraram-se suscetíveis a meloidoginose.

Outro trabalho avaliando a resistência de 87 genótipos de feijoeiro ao nematoide das galhas, utilizando o número de galhas e massa de ovos, mostrou que a maioria dos genótipos apresentou uma resposta suscetível ao nematoide das galhas e o número de genótipos moderadamente suscetíveis, suscetíveis e altamente suscetíveis foi de 13, 31 e 12, respectivamente (Bozbuga *et al.*, 2015).

Utilizando-se os valores relativos do fator de reprodução foi possível classificar, dentre 81 genótipos de feijoeiro, 15 resistentes a *M. Incognita* e oito a *M. Javanica*. A população com maior índice de reprodução foi considerada referência de suscetibilidade. Logo em seguida, o índice de reprodução da referência foi comparado com o das demais populações, calculando-se o percentual de redução de cada uma. Com base nesses valores, os níveis de resistência de cada cultivar foram definidos de acordo com o critério de reprodução estabelecido por Moura & Régis (1987) (Dias *et al.*, 2023).

Diversos outros trabalhos utilizando as variáveis FR e IG em casa de vegetação têm sido explorados para avaliação da resistência de genótipos em casa vegetação (Afia; El-nuby, 2020; Balardin *et al.*, 2022; Mazzetti *et al.*, 2019; Ramzan *et al.*, 2021; Teixeira; Barbosa; Rocha, 2017).

Em área naturalmente infestada com *M incógnita*, Carneiro *et al.* (2019), avaliaram a reação de 26 genótipos de soja na região do Médio Paranapanema em São Paulo, por meio, dentre outras variáveis, da incidência de galhas no sistema radicular das plantas e concluíram que os danos causados pelo nematoide promoveu uma redução de 52% no rendimento de grãos.

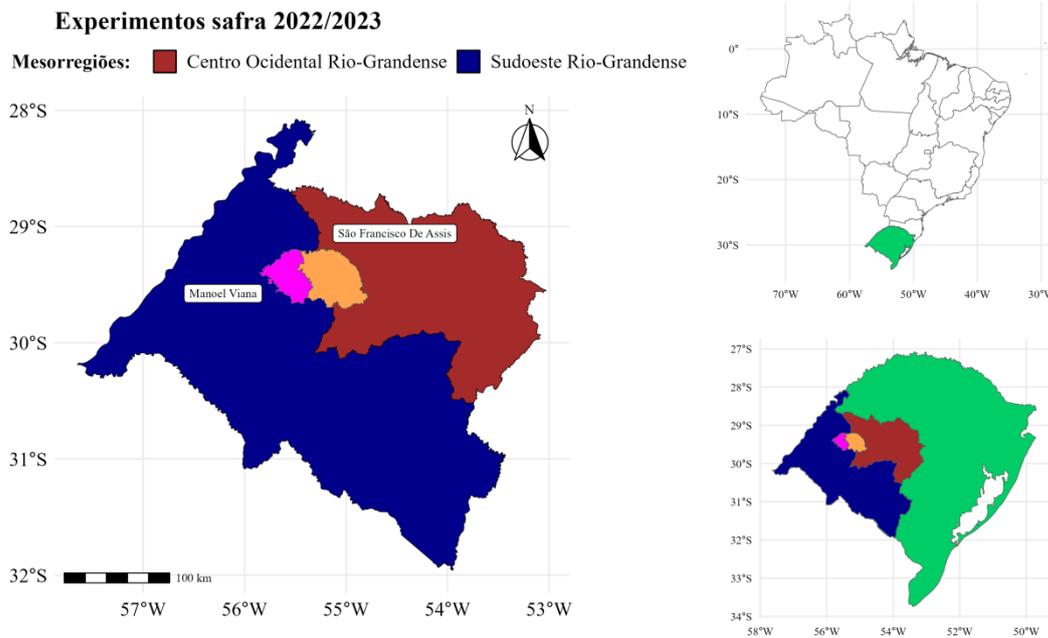
Estudos associando resultados obtidos em casa de vegetação e campo são escassos. Bruinsma e Antonioli (2015) realizaram essa comparação a partir de 12 genótipos avaliados nas duas condições. Apesar de concluírem que os mesmos genótipos foram considerados resistentes nas duas condições, é importante ressaltar que, não foi feita análise estatística comparando as duas condições e que a metodologia avaliada em cada ambiente de avaliação não foi a mesma, o que poderia resultar em vies. Em condições de campo o sistema radicular de cada planta foi avaliado quanto à intensidade de galhas, conforme metodologia do MAPA, enquanto, em casa de vegetação, as raízes foram avaliadas quanto ao IG de Taylor e Sasser (1978) e o FR conforme Oostenbrink (1966).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Locais de condução dos experimentos

Os experimentos à campo foram conduzidos em conjunto com a empresa GDM - Genética do Brasil S.A, em produtores parceiros, nos municípios de Manoel Viana-RS, Faz. Cerro do Tigre ($29^{\circ}41'15.1''\text{S}$ $55^{\circ}23'55.7''\text{W}$) e em São Francisco de Assis-RS, Faz. Jaguar ($29^{\circ}37'03.9''\text{S}$ $55^{\circ}19'11.3''\text{W}$), em áreas naturalmente infestadas de nematoides *M. Incognita* e *M. Javanica* respectivamente (Figura 1).

Figura 1 - Localização dos experimentos à campo no estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Do autor (2024).

Os testes em casa de vegetação foram conduzidos na estrutura do Laboratório de Fitossanidade localizado na Unidade da GDM Genética do Brasil S.A ($23^{\circ}14'4.46''\text{S}$ $51^{\circ}15'12.29''\text{O}$), em Cambé-PR.

3.2 Tratamentos genéticos utilizados

Para a realização dos testes à campo e casa de vegetação, foram utilizadas sete linhagens oriundas do programa de melhoramento da GDM Genética do Brasil S.A (SBI 225110, SBQ225152, SBI225105, SBI225164, SBK225261, SBQ225275, SBQ225279), descritas na Tabela 5. As cultivares BMX Desafio, BMX Lança, HO Juruena e BRS 316RR foram utilizadas

como padrões em ambos os experimentos, sendo as duas primeiras os padrões susceptíveis e as demais de resistência.

Tabela 5 - Características das cultivares/linhagens utilizados

| Cultivar/linhagem | Hábito crescimento | Flor | Pubescência | G.M |
|-------------------|--------------------|--------|--------------|-----|
| BMX DESAFIO | Indeterminado | Branca | Cinza | 7.4 |
| BMX LANÇA | Indeterminado | Branca | Cinza | 5.8 |
| BMX JURUENA | Determinado | Branca | Cinza | 8.7 |
| BMX BÔNUS* | Indeterminado | Roxa | Cinza | 7.9 |
| CD208* | Indeterminado | Branca | Cinza | 6.9 |
| BRS 316RR | Determinado | Branca | Marrom clara | 6.5 |
| SBI225110 | Indeterminado | Roxa | Cinza | 7.0 |
| SBQ225152 | Indeterminado | Roxa | Cinza | 7.4 |
| SBI225105 | Indeterminado | Branca | Marrom | 8.0 |
| SBI225164 | Indeterminado | Branca | Cinza | 8.2 |
| SBK225261 | Indeterminado | Branca | Cinza | 8.2 |
| SBQ225275 | Indeterminado | Roxa | Cinza | 8.4 |
| SBQ225279 | Indeterminado | Roxa | Cinza | 8.4 |

* Cultivares presentes no teste em casa de vegetação a título de informação

Fonte: Do autor (2024)

3.3 Condução dos experimentos

3.3.1 Casa de vegetação

Os testes em casa de vegetação foram conduzidos na estrutura da Unidade da GDM localizada em Cambé-PR, em trabalhos desenvolvidos pela equipe de fitossanidade da empresa. O solo utilizado foi previamente preparado para multiplicação dos nematoides de galhas. Para tanto foi semeado uma cultivar susceptível, BMX Desafio, em vasos de cinco litros. Após a emergência foram inoculados ovos de nematoides das galhas, por meio de orifícios feitos na superfície, próximo ao colo da planta e, com o auxílio de uma pipeta, foi realizada uma deposição de 2000 ovos e/ou juvenis de *M. incógnita* ou *M. Javanica*, em cada planta, conforme ilustrado na figura 2A e B, sendo conduzido sob condições favoráveis dentro da casa de vegetação por 45 dias.

Figura 2 - Vasos de 5 litros para multiplicação de nematoides (A) e Inoculação de nematoides (B)



Fonte: Laboratório de Fitossanidade GDM (2022).

Posteriormente à multiplicação, as plantas foram retiradas e o solo revolvido e homogeneizado (Figura 3). O solo obtido foi utilizado para o preparo dos vasos, também com volume de cinco litros, nos quais foram semeadas as linhagens e cultivares utilizadas no presente estudo.

Figura 3 - Condução dos testes em casa de vegetação



Fonte: Laboratório de Fitossanidade GDM (2022).

Os vasos foram conduzidos dentro de casa de vegetação e após o período de 70 dias o solo foi retirado e o sistema radicular de cada planta avaliado quanto à intensidade de galhas presentes, utilizando-se a escala de notas de 0 a 5, sugerida pelo Serviço Nacional de Proteção de Cultivares, MAPA (2012), conforme a tabela 6.

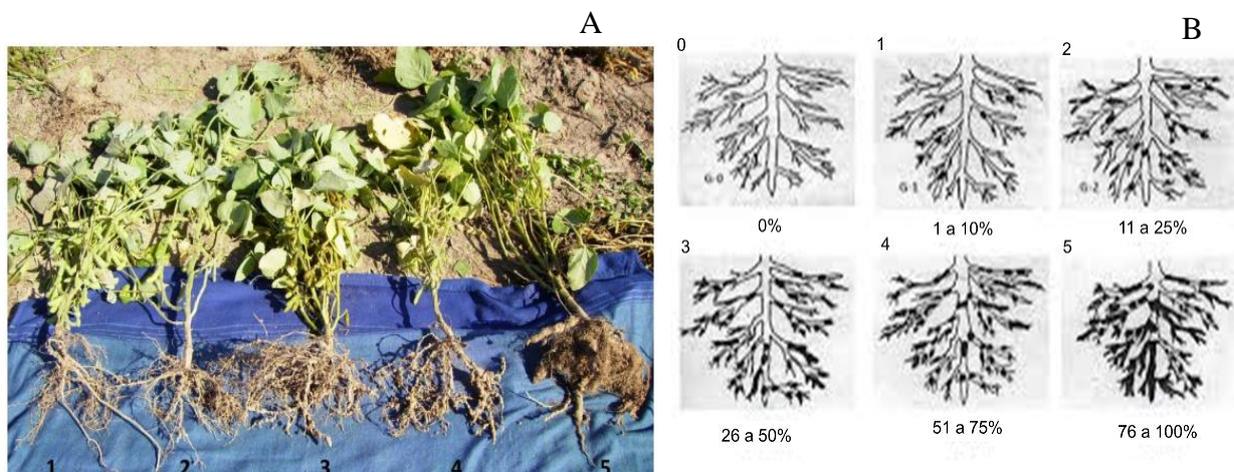
Tabela 6 - Classificação de cultivares quanto à intensidade de galhas presente no sistema radicular

| Índice | Classificação |
|--------|---|
| 0 | Imune |
| 1 | uma ou duas galhas e sistema radicular normal |
| 2 | poucas galhas pequenas e sistema radicular bem desenvolvido |
| 3 | galhas pequenas e sistema radicular pouco prejudicado |
| 4 | muitas galhas e sistema radicular prejudicado |
| 5 | sistema radicular totalmente tomado por galhas |

Fonte: Serviço Nacional de Proteção de Cultivares, MAPA (2012)

Dessa forma, foram considerados resistentes (R) os genótipos que receberam nota até 2,0, moderadamente resistentes (MR) os genótipos com notas de 2,1 até 3,0, e suscetíveis (S) os que receberam nota superior a 3,0 conforme a figura 4. O delineamento utilizado na condução do experimento foi de blocos inteiramente casualizados, com três repetições e 11 tratamentos (sete linhagens e quatro testemunhas).

Figura 4 - Escala visual a campo (A) e escala de porcentagem de galha



Fonte: MAPA (2012)

3.3.2 Experimentos em campo

Os experimentos à campo foram distribuídos em duas propriedades. No município de Manoel Viana-RS, Faz. Cerro do Tigre e outra no município de São Francisco de Assis-RS na Faz. Jaguar, ambas de produtores parceiros da GDM às quais se dispunha de informação prévia da ocorrência de populações naturalmente elevadas de nematoides das galhas.

Dentro dos talhões comerciais destas propriedades, cultivadas normalmente com a cultura da soja, na safra 22-23, foram visualmente identificadas reboleiras com maior incidência de nematoide, da qual foi realizada a retirada da parte aérea da soja instalada (roçada) e as raízes foram utilizadas como fonte de inóculo para a instalação do experimento.

Com o intuito de garantir a fidelidade dos resultados foi retirada uma amostra e encaminhada ao laboratório de nematologia da GDM, confirmando a espécie, a presença de outros nematoides e a alta populações de nematoides das galhas (Quadros 1, 2 e Tabela 7).

Quadro 1 - Análise experimento de *M. Incognita*.

| METODOLOGIA: Flutuação e Centrifugação (JENKINS, 1964) | | | | | | | | | | |
|--|--|------|--------------------------------|------|---------------------------------|------|----------------------------|------|--------------|-------------|
| Nº da Amostra: 1113_2223 | PRINCIPAIS ESPÉCIES DA CULTURA DA SOJA | | | | | | | | | |
| | <i>Meloidogyne spp.</i> | | <i>Pratylenchus brachyurus</i> | | <i>Rotylenchulus reniformis</i> | | <i>Heterodera glycines</i> | | Cistos (***) | |
| Identificação da Amostra: | S* | R** | S* | R** | S* | R** | S* | R** | Viáveis | Não Viáveis |
| MANOEL VIANA-RS LUIZ CARLOS NEMITZ / FAZ. CERRO DO TIGRE ENSAIO NEMATOIDE | 1280 | 6720 | Zero | Zero | Zero | Zero | Zero | Zero | Zero | Zero |
| | OUTRAS ESPÉCIES ENCONTRADAS | | | | | | | | | |
| | <i>Aphelenchus</i> | | <i>Helicotylenchus spp.</i> | | <i>Tylenchorhynchus spp.</i> | | Nematoides de vida livre | | | |
| | S* | R** | S* | R** | S* | R** | S* | R** | | |
| | Zero | 2880 | 640 | Zero | 160 | Zero | 480 | 2080 | | |

Fonte: Do autor (2024)

Quadro 2 - Análise experimento de *M. Javanica*.

| METODOLOGIA: Flutuação e Centrifugação (JENKINS, 1964) | | | | | | | | | | |
|--|--|-------|--------------------------------|-----|---------------------------------|------|----------------------------|------|--------------|-------------|
| Nº da Amostra: 1107_2223 | PRINCIPAIS ESPÉCIES DA CULTURA DA SOJA | | | | | | | | | |
| | <i>Meloidogyne spp.</i> | | <i>Pratylenchus brachyurus</i> | | <i>Rotylenchulus reniformis</i> | | <i>Heterodera glycines</i> | | Cistos (***) | |
| Identificação da Amostra: | S* | R** | S* | R** | S* | R** | S* | R** | Viáveis | Não Viáveis |
| SÃO FRANCISCO DE ASSIS-RS IVAN AGOSTINI/ FAZ. JAGUAR AGROP. MICRO 101 | 1280 | 12160 | Zero | 960 | Zero | Zero | Zero | Zero | Zero | Zero |
| | OUTRAS ESPÉCIES ENCONTRADAS | | | | | | | | | |
| | <i>Aphelenchus spp.</i> | | <i>Mesocriconema spp.</i> | | Nematoides de vida livre | | | | | |
| | S* | R** | S* | R** | S* | R** | | | | |
| | Zero | 480 | Zero | 320 | 640 | 5280 | | | | |

Fonte: Do autor (2024)

Tabela 7 - Parâmetros para análise de nematoides

| <i>Meloidogyne spp.</i> | | | <i>Pratylenchus brachyurus*</i> | | | <i>Rotylenchulus reniformis</i> | | <i>Heterodera glycines</i> | | |
|-------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| NÍVEL | RAIZ (Nematóides/10g de raiz) | SOLO (Nematóides/200cm³) | NÍVEL | RAIZ (Nematóides/10g de raiz) | SOLO (Nematóides/200cm³) | NÍVEL | SOLO (Nematóides/200cm³) | NÍVEL | SOLO (Nematóides/200cm³) | Cisto (Nematóides/200cm³) |
| BAIXO | 0 a 30 | 0 a 300 | BAIXO | 0 a 400 | 0 a 100 | BAIXO | < 200 | BAIXO | 0 a 150 | 0 a 5 |
| MÉDIO | 30 a 60 | 300 a 600 | MÉDIO | 400 a 800 | 100 a 200 | MÉDIO | 400 a 800 | MÉDIO | 200 a 400 | 5 a 10 |
| ALTO | >60 | >600 | ALTO | >800 | >200 | ALTO | > 800 | ALTO | >400 | >10 |

Fonte: Adaptado de Stephen Koenning (Universidade da Carolina do Norte USA - 2007)
 Adaptado de Asmus; Andrade (1999); Garcia *et al.* (1999); Inomoto *et al.* (2010).

O experimento foi implementado logo após a roçada, utilizando 11 cultivares/linhagens experimentais. O plantio na Faz. Cerro do Tigre foi realizado em 23/11/2022 e na Faz. Jaguar em 05/01/2023. Os genótipos foram dispostos intercalando genótipos resistentes e susceptíveis de acordo com o esquema de covas.

A cultivar BMX Desafio e BMX Lança foram utilizadas como testemunha para suscetibilidade enquanto o material HO Juruena e BRS 316 RR foram utilizados como padrão de resistência, totalizando 38 parcelas/covas em 4 repetições. Foi adotada uma adaptação do modelo apresentado por Mendes, Ramalho e Abreu, (2011), em que cinco covas foram utilizadas para a avaliação de progênie, representando uma unidade experimental, conforme ilustração da Figura 5 e 6.

Figura 5 - Representação de uma unidade de avaliação composta por cinco covas

| | | | | | | |
|----|---------|-------|-------------------|---------|------------|-----|
| R1 | Desafio | Lança | Progênie <i>i</i> | Juruena | BRS 316 RR | ... |
| R2 | Desafio | Lança | Progênie <i>j</i> | Juruena | BRS 316 RR | |
| Rn | ... | | | | | |

Em laranja se destaca os genótipos controle e em verde, no centro, a progênie em avaliação. Rn representam as repetições do experimento.

Fonte: Do autor (2024).

Figura 6 – Croqui do campo.

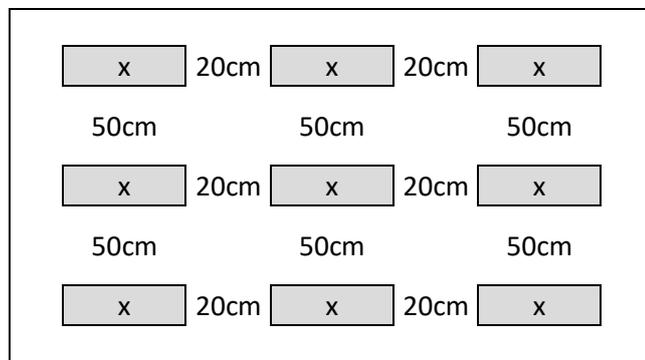
| TRAT | CULTIVAR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 1 | DESAFIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | LANÇA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | SBI225105 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | JURUENA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | BRS 316 RR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | DESAFIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | LANÇA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | SBI225110 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | JURUENA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | BRS 316 RR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | DESAFIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | LANÇA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | SBQ225152 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | JURUENA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | BRS 316 RR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | DESAFIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | LANÇA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | SBI225164 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | JURUENA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | BRS 316 RR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | DESAFIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | LANÇA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | SBK225261 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | JURUENA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | BRS 316 RR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | DESAFIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | LANÇA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | SBQ225275 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | JURUENA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | BRS 316 RR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | DESAFIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | LANÇA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 33 | SBQ225279 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 34 | JURUENA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 35 | BRS 316 RR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 36 | Fortaleza | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 37 | DESAFIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 38 | LANÇA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|------------|----|----|----|----|----|----|----|------------|------------|----|----|----|----|----|----|----|------------|----|
| 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 60IX6 4 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| | 20 | 60IX6 4 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 |
| 2 | 38 | 37 | 36 | 35 | 34 | 33 | 32 | 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 60IX6 4 | 20 |
| | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 60IX6 4 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 60IX6 4 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| | 20 | 60IX6 4 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 |
| 4 | 38 | 37 | 36 | 35 | 34 | 33 | 32 | 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 60IX6 4 | 20 |
| | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 60IX6 4 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |

Fonte: Do autor (2024).

A semeadura do experimento foi realizada em covas com cerca de 20 cm de largura e 50 cm de espaçamento entre elas (Figura 7), com aproximadamente 15 sementes/cova, todas dentro da reboleira identificada.

Figura 7 - Distribuição espacial das covas.



Fonte: Do autor (2024).

As avaliações foram realizadas quando as plantas estavam no estágio R5-R6, no dia 27/02/2023 na Faz. Cerro do Tigre e no dia 14/03/2023 na Faz. Jaguar. As plantas foram

retiradas cuidadosamente do solo com auxílio de pá de corte. Posteriormente, foi feita a comparação das linhagens com as testemunhas utilizadas para avaliação (Tabela 6).

3.4 Análise estatística

Os resultados dos dados fenotípicos foram submetidos a análise de variância individual, tanto para os experimentos de casa de vegetação bem como de campo e as médias das notas de Índice de Galhas (IG) foram transformadas usando a função logarítmica, uma vez que não atenderam a normalidade das médias com base no teste Shapiro-Wilk (Shapiro; Wilk, 1965). As médias foram então agrupadas pelo teste de Scott-Knott (1974) ao nível de 0,05 de significância.

Para verificar a eficiência na seleção dos melhores indivíduos entre e dentro de populações, uma intensidade de seleção (IS) de 50% foi aplicada aos 11 tratamentos (progênies e linhagens) comuns a avaliação em casa de vegetação e em campo, o que resultou na seleção de 6 tratamentos.

A correlação classificatória de Spearman (ρ) foi calculada para avaliar a alteração de ranqueamento entre os tratamentos. O índice de coincidência (IC), proposto por Hamblin e Zimmermann (1986), também foi aplicado.

O ambiente R (R Core Team, 2020) versão 4.1.3 foi utilizado para o tratamento dos dados e para o ajuste dos modelos utilizados. As ferramentas disponíveis no pacote Tydiverse (Wickham *et al.*, 2019) foram utilizadas para a manipulação dos dados e para a elaboração dos gráficos apresentados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos experimentos a campo denotam diferença significativa ($P < 0,01$) para as unidades experimentais (QMU) para *M. incognita*, porém não sendo significativo para *M. javanica*, evidenciando assim maior uniformidade da pressão dentro da reboleira desta última em relação a anterior (Tabela 8).

Tabela 8 - Quadrados médios (QM) para o modelo de unidade experimental (5 covas) que inclui os efeitos de unidade experimental (U), linhagem (L), progênie (P), interação unidade experimental linhagem (UL) e resíduo (R), para o efeito de genótipos, avaliados em casa de vegetação e campo considerando as notas de severidade.

| FV | Campo | | FV | Casa de Vegetação | |
|-------|---------------------|--------------------|-------|---------------------|--------------------|
| | QM | | | QM | |
| | <i>M. Incognita</i> | <i>M. Javanica</i> | | <i>M. Incognita</i> | <i>M. Javanica</i> |
| QMU | 0,46** | 0,11 | QMG | 1,26** | 0,05** |
| QML | 4,34** | 1,28** | QMR | 0,04 | 0,01 |
| QMP | 0,69** | 0,12 | Média | 2,95 | 4,36 |
| QMUL | 0,16 | 0,07 | CVg | 72,54 | 7,77 |
| QMR | 0,13 | 0,11 | CVe | 21,52 | 6,81 |
| Média | 2,66 | 3,6 | CVr | 3,37 | 1,14 |
| CVgL | 45,49 | 16,72 | rgg | 0,99 | 0,89 |
| CVgP | 43,97 | 3,67 | | | |
| CVe | 43,15 | 28,31 | | | |
| CVrL | 1,05 | 0,59 | | | |
| CVrP | 1,02 | 0,13 | | | |
| rgg L | 0,98 | 0,95 | | | |
| rgg P | 0,9 | 0,26 | | | |

CVg: Coeficiente de variação genotípico; CVe: Coeficiente de variação experimental; CVr: Razão entre CVg e CVe, rgg: Acurácia.

*** Significativo com base no teste *F* ao nível de 0,05 e 0,01, respectivamente.

Fonte: Do autor (2024).

Assim, a diferença significativa encontrada nas unidades experimentais para *M. incognita*, mas não para *M. javanica*, sugere que a distribuição dos nematoides dentro da reboleira pode ter sido mais uniforme para *M. javanica*. Isso pode indicar uma maior capacidade de dispersão ou adaptação de *M. javanica* em comparação com *M. incognita*, o que pode ter implicações no manejo e controle dessas espécies, uma vez que *M. javanica* é considerada mais agressiva e amplamente distribuída devido às condições favoráveis à sua multiplicação em monocultivos de culturas econômicas suscetíveis (Bruinsma; Antonioli, 2015).

Para a fonte de variação linhagens observou-se diferença significativa para ambas raças contudo, com diferentes níveis de resistência/suscetibilidade entre as linhagens testadas (Tabela

8). A diferença significativa observada entre as linhagens para ambas as raças de nematoides indica que algumas linhagens são mais eficazes em resistir ou tolerar a infestação por nematoides do que outras. Isso ressalta a importância da seleção de linhagens com características de resistência para o manejo integrado de nematoides na cultura da soja.

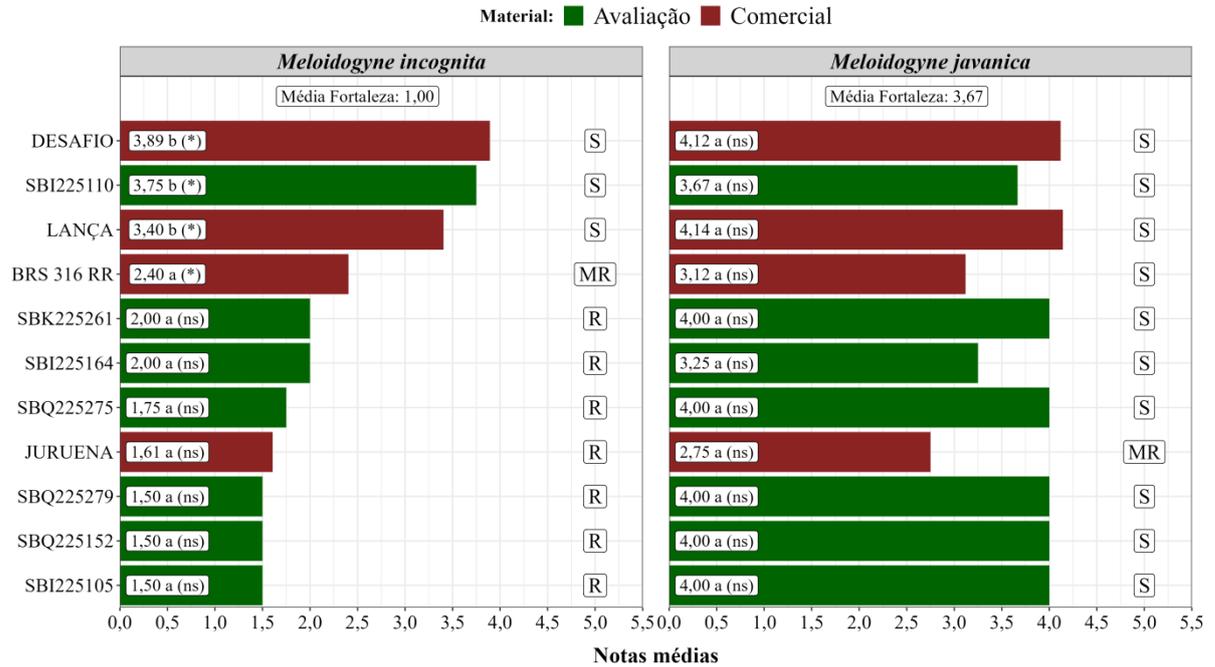
Não se verificou diferença significativa para *M. javanica* entre as linhagens estudadas, pois todas figuram-se como susceptíveis em nível de campo. A falta de diferença significativa entre as progênies para *M. javanica* sugere que todas foram igualmente suscetíveis a essa raça de nematoide. Por outro lado, a diferença significativa observada para *M. incognita* indica que algumas progênies podem apresentar níveis variados de resistência a essa raça. Fato este também observado por Silva (2001), em que o autor concluiu que existe maior disponibilidade de cultivares com diferentes graus de resistência a *M. incognita* do que para *M. javanica*.

Nos experimentos em casa de vegetação, houve diferença significativa para os genótipos em ambas as raças (Tabela 8). Os resultados sugerem que o ambiente controlado da casa de vegetação pode ter influenciado a resposta das plantas à infestação por nematoides, destacando a importância de validar esses resultados em condições de campo. Isso porque, além dos fatores genéticos, do reconhecimento pelo nematoide do hospedeiro, tem-se também às condições ambientais em que se encontra a cultura (Li; Chen, 2005).

Em resumo, os resultados indicam a existência de variabilidade na resposta de diferentes linhagens e progênies de soja à infestação por nematoides, o que destaca a importância da seleção de genótipos com resistência para o manejo sustentável desse patógeno na cultura, uma vez que o desenvolvimento de cultivares resistentes está entre as alternativas mais eficazes e econômicas para solucionar esses problemas, além de reduzir o impacto ambiental pela redução na utilização de insumos (Ferreira, 2007).

Os resultados obtidos a campo, analisados pelo teste de Scott-Knott (1974) ao nível de 0,05 de probabilidade, permitiram a separação em dois grupos distintos para *M. Incognita* (Gráfico 1). Neste caso, apenas a linhagem SBI225110 apresentou notas significativamente mais altas em comparação com as testemunhas suscetíveis Desafio e Lança, enquanto as demais linhagens comportaram-se de forma semelhante às testemunhas resistentes BRS 316 RR e Juruena. Já para *M. javanica*, todos os tratamentos apresentaram resultados semelhantes, não havendo evidências de resistência ao nematoide.

Gráfico 1 – Médias fenotípicas obtidas por meio da escala de notas para as linhagens testadas em condições de campo com *M. Incognita* e *M. Javanica*.



Médias seguidas pela mesma letra para cada raça de nematoide estão agrupadas entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2024).

Esse padrão de resposta indica que a linhagem SBI225105 possui potencial de resistência a *M. incognita*, o que é uma informação relevante para a seleção de genótipos visando a resistência a esse nematoide. Por outro lado, a falta de diferença significativa entre os tratamentos para *M. javanica*, sugere que nenhum dos genótipos testados denota resistência a essa raça do nematoide, indicando a necessidade de buscar outras estratégias de manejo para lidar com essa raça ou até mesmo buscar novas fontes de variabilidade na cultura. Isso porque é sabido que há disponibilidade de fontes de resistência a nematoides no germoplasma das espécies de plantas cultivadas, mas poucas fontes foram satisfatoriamente estudadas (Silva, 2001).

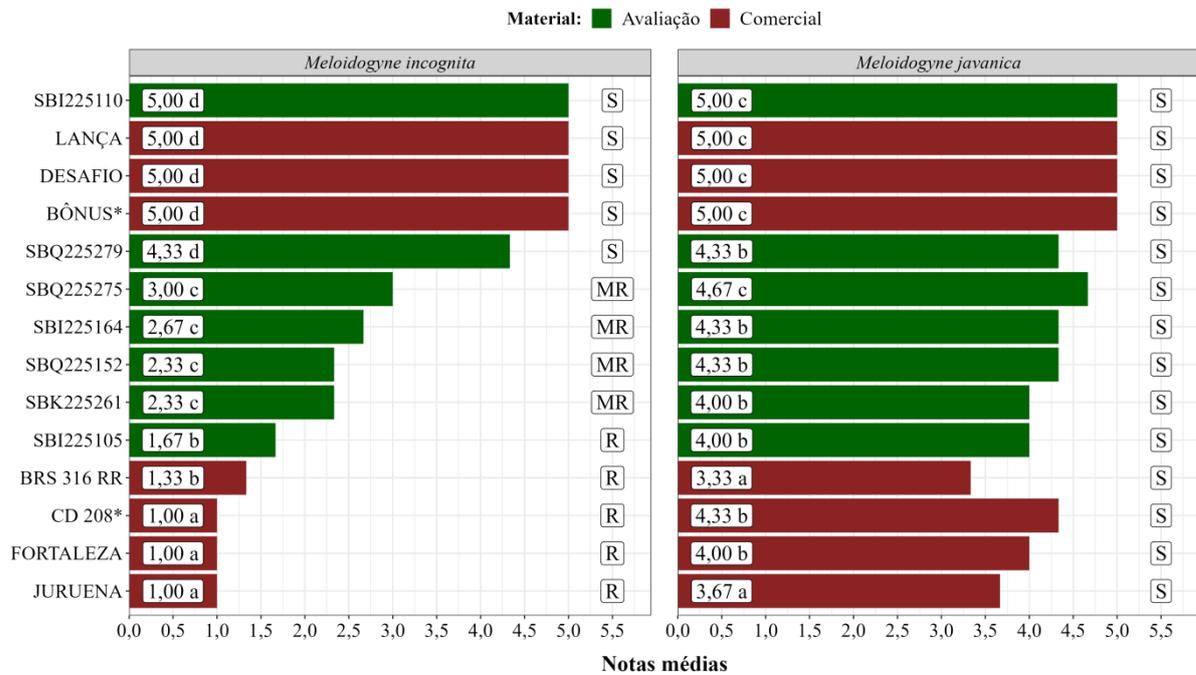
Considerando as notas de avaliações a campo com a escala fornecida pelo MAPA (2012), a linhagem SBI225110 seria classificada como susceptível (S), juntamente com as testemunhas Desafio e Lança. Por seu turno, a testemunha BRS 316 RR seria classificada como moderadamente resistente (MR) e as demais linhagens como resistentes (R) (Gráfico 1). Para *M. javanica*, a testemunha Juruena seria classificada como moderadamente resistente (MR) e as demais linhagens como susceptíveis (S) (Gráfico 1).

Essa classificação ressalta a importância de considerar diferentes critérios e metodologias de avaliação para determinar a resistência ou suscetibilidade de genótipos a

nematóides, uma vez que diferentes escalas e critérios podem levar a interpretações distintas e muitas vezes com informações contraditórias (Mendes; Rodriguez, 2000).

As médias fenotípicas obtidas em casa de vegetação para *M. incognita* foram agrupadas em quatro grupos distintos. As linhagens SBI225110 e SBQ225279 apresentaram resultados semelhantes às testemunhas suscetíveis. As linhagens SBQ225275, SBI225164, SBI225152 e SBK225261 pertencem a um segundo grupo, com resultados intermediários entre as testemunhas suscetíveis e resistentes. Por seu vez, a linhagem SBI225105 teve um comportamento semelhante à BRS 316 RR, compreendendo o terceiro grupo. Apenas a testemunha Juruena permaneceu no quarto grupo (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Médias fenotípicas obtidas por meio da escala de notas para as linhagens testadas em casa de vegetação com *M. Incognita* e *M. Javanica* .



Médias seguidas pela mesma letra para cada tipo de nematoide não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

* Cultivares presentes no teste em casa de vegetação a título de informação.

Fonte: Do autor (2024).

Essa classificação indica que algumas linhagens apresentaram níveis intermediários de resistência a *M. incognita*, enquanto outras foram mais suscetíveis. A linhagem SBI225105 se destacou por ter um comportamento semelhante à testemunha resistente BRS 316 RR, sugerindo um potencial de resistência a esse nematoide. Já a testemunha Juruena foi a única a manter-se em um grupo separado, indicando um padrão distinto de resposta em relação às outras linhagens.

Os resultados obtidos em casa de vegetação para *M. javanica* evidenciam um padrão semelhante ao observado no experimento a campo, com todas as linhagens e tratamentos apresentando notas de maior magnitude em comparação com *M. incognita*. As médias fenotípicas foram agrupados em três grupos distintos (Gráfico 2).

No primeiro grupo, foram classificadas as linhagens SBI225110, SBQ225275 e as testemunhas Desafio e Lança, que obtiveram as maiores notas. No segundo grupo, encontram-se as linhagens SBQ225279, SBI225164, SBQ225152, SBK225261 e SBI225105. As testemunhas BRS 316 RR e Juruena foram classificadas no terceiro grupo, obtendo as menores notas (Gráfico 2).

Considerando a escala do MAPA (2012), a classificação das linhagens para *M. Incognita* e *M. Javanica* seria a seguinte: Susceptíveis (S): SBI225110, Desafio, Lança; Moderadamente Resistentes (MR): SBQ225275, SBI225164, SBI225152, SBK225261. Resistentes (R): SBI225105, BRS 316 RR, Juruena. Para *javanica* Susceptíveis (S): Todas as linhagens e testemunhas.

Essa classificação ressalta a importância de considerar não apenas os resultados numéricos das avaliações, mas também critérios de classificação padronizados, como a escala do MAPA, para determinar a resistência ou suscetibilidade das linhagens de soja aos nematoides das galhas.

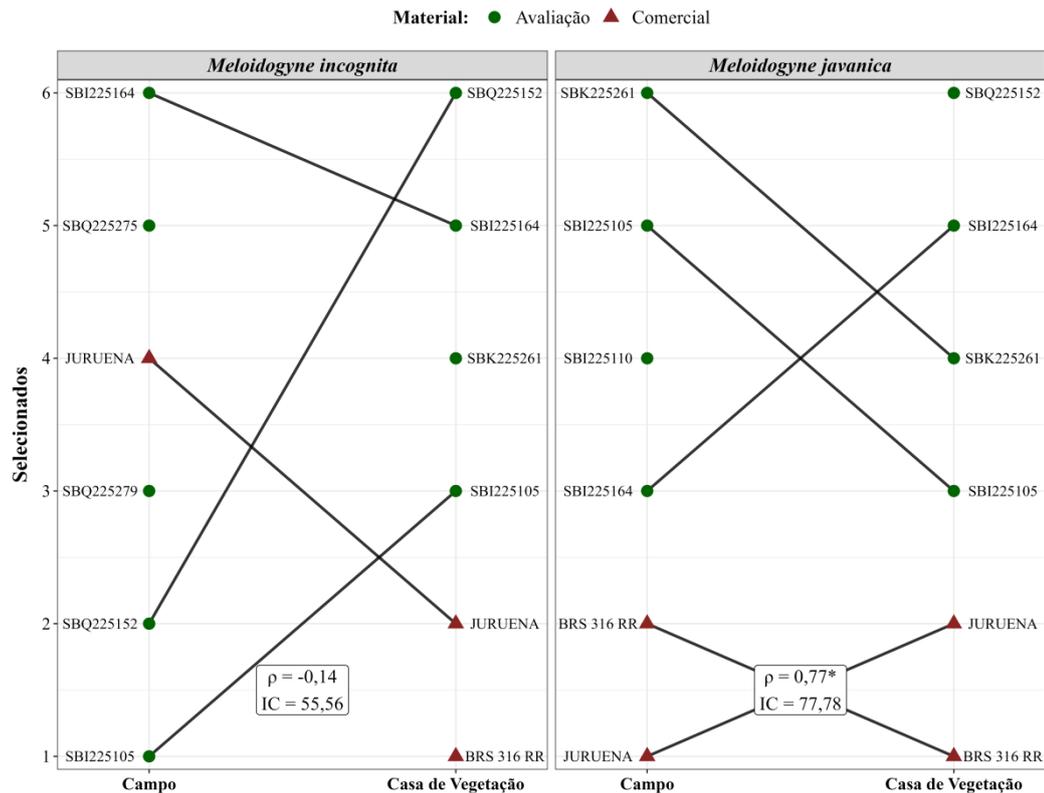
Os resultados de maior Índice de Galhas (IG) no experimento a campo para *M. javanica* em São Francisco de Assis-PR poderiam inicialmente ser atribuídos a um maior nível populacional inicial no local o qual o teste foi conduzido, o que é um fator importante a considerar na interpretação de resultados de infestação por nematoides. No entanto, o mesmo padrão foi observado no experimento em casa de vegetação, quando a quantidade inicial de ovos/juvenis foi padronizada, sugerindo uma maior agressividade dessa raça de nematoide em comparação com *M. Incognita* e/ou uma menor resistência genética dos materiais utilizados a *M. Javanica*.

Esses resultados destacam a importância de considerar não apenas a pressão inicial de infestação, mas também a capacidade intrínseca de agressividade de cada raça de nematoide e a resposta das plantas hospedeiras a essas infestações. A variação nos níveis de resistência genética das linhagens de soja a diferentes raças de nematoides também pode influenciar os resultados, destacando a necessidade de selecionar genótipos com resistência eficaz a todas as raças de nematoides presentes na região de cultivo.

A correlação classificatória de Spearman (ρ) e o índice de coincidência (IC) foram calculados e os resultados apresentados no gráfico 3. Os melhores resultados foram obtidos

para *M. javanica*, comparando o experimento a campo com o da casa de vegetação. Uma possível explicação para este fato pode ser atribuída ao maior número de genótipos selecionados em comum bem como a menor amplitude de variação no ranqueamento desses genótipos (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Correlação classificatória de Spearman (ρ) e o índice de coincidência (IC) para as linhagens testadas em condições de campo e casa de vegetação.



Fonte: Do autor (2024).

Isso sugere que, para *M. javanica*, os genótipos que se destacaram em um ambiente também apresentaram bom desempenho em outro, indicando uma certa consistência na resposta desses genótipos à infestação por *M. Javanica*, independentemente do ambiente de cultivo. Esse padrão pode ser atribuído a uma maior especificidade do patógeno *M. javanica* em relação às respostas das plantas hospedeiras, o que pode resultar em uma maior consistência nos resultados entre diferentes ambientes de cultivo.

Esses resultados ressaltam ainda a importância de considerar não apenas a resistência genética das plantas, mas também a interação planta-patógeno e as condições ambientais na avaliação da resistência de genótipos de soja a nematoides, especialmente quando se trata de diferentes raças de nematoides.

5 CONCLUSOES

A linhagem SBI225105 apresenta maior resistência entre as linhagens testadas, quando analisadas em conjunto os resultados dos experimentos a campo e em casa de vegetação. Isso sugere que essa linhagem pode ser promissora para programas de melhoramento visando a resistência a nematoides.

A utilização de notas de Índice de Galhas (IG) por meio da escala de notas do MAPA (2012) tanto em campo quanto em casa de vegetação, figura-se como uma ferramenta importante, devido à sua praticidade e velocidade na avaliação da resistência das linhagens.

A boa correlação nos dados obtidos em campo e em casa de vegetação possibilita confiança no emprego de testes em casa de vegetação para programas de melhoramento. Isso permite a realização de trabalhos em qualquer época do ano, além de oferecer a possibilidade de incremento em escala e controle de fatores bióticos e abióticos, o que é essencial para a seleção de genótipos resistentes a nematoides de forma mais eficiente.

6 PROJETO TÉCNICO ATRELADO

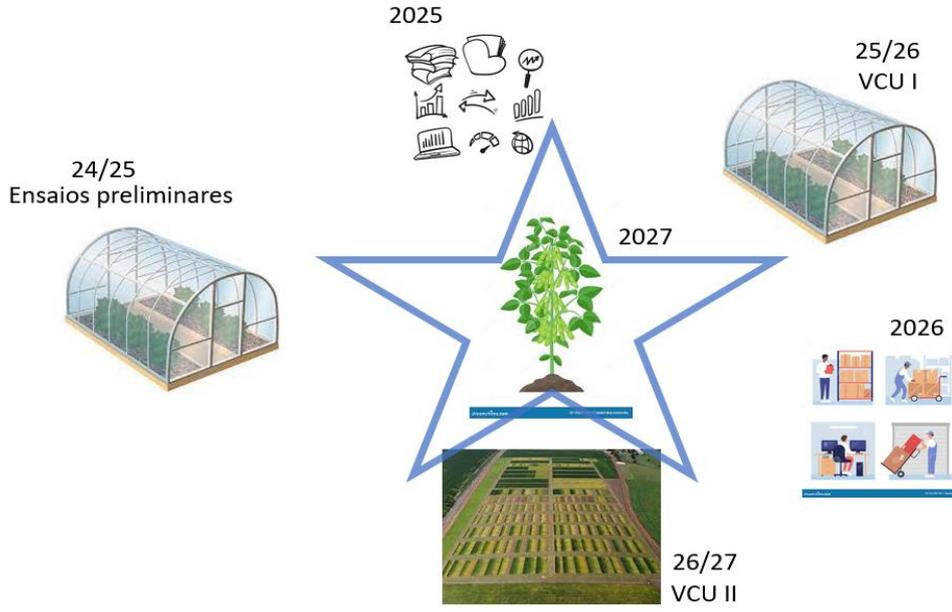
De acordo com os resultados e informações obtidas através deste trabalho, propomos um conjunto de ações com objetivo de extrair os benefícios tanto das avaliações de nematóide de galhas em casa de vegetação quanto à campo, garantindo a manutenção da velocidade do programa, confiabilidade dos resultados e a viabilidade em trabalhar com volume de escala elevada, situação atual dos programas de melhoramento mais promissores no Brasil.

Dessa forma se objetiva trabalhar com os testes em casa de vegetação e à campo em períodos distintos (Figura 8) onde as avaliações dos materiais se iniciam na casa de vetação em linhagens que estarão em fase preliminar do programa de melhoramento. Os materiais selecionados nesse ano safra, serão avançados para o próximo ano safra, onde estarão na fase de VCU I, sendo realizado novamente avaliação em casa de vegetação para tolerância à nematoides das galhas. Nestas fases a escolha da metodologia se deu por conta do volume de linhagens a serem testadas e da possibilidade de realizar este testes em uma janela temporal maior devido as condições controladas dentro da casa de vegetação.

Já quando as linhagens estiverem sido selecionadas para serem avaliadas em VCU II, serão conduzidos os testes à campo para nematoide das galhas, buscando dessa forma uma avaliação mais representativa e semelhante às condições que serão submetidas em áreas comerciais. Espera-se que nesta fase grande parte das linhagens tenham um bom comportamento no que se refere a tolerância a nemtoides das galhas, uma vez que já foram selecionados por duas safras consecutivas em casa de vegetação.

Com este modelo conseguimos grande eficiência em obtenção de linhagens tolerantes, sem impactar na velocidade do programa de melhoramento e tendo dados confiáveis, uma vez que as linhagens serão testadas por dois anos em casa de vegetação e no último ano testadas às condições de campo.

Figura 8 – Detalhamento da metodologia mista para seleção de materiais tolerantes a nematóides das galhas.



Fonte: Do autor (2024).

REFERÊNCIAS

- AFIA, A.; EL-NUBY, A. S. M. **Soybean Genotypes Response to Root-Gall Nematode**. *Pakistan Journal of Nematology*, v. 38, n. 2, p. 130–138, 2020. DOI:10.17582/journal.pjn/2020.38.2.130.138
- AGRIOS, J.N. **Reação de *Crotalaria* spp. a *Heterodera glycines* em função da idade da muda e época de avaliação**. In: , 1988, New York. (A. A. Almeida *et al.*, Org.) *Plant Pathology*. New York: Academic Press, 1988. p. 803. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/228706/1/Boletim-338.pdf>. Acesso em: 1 de fev. 2024
- ALMEIDA, A.M.R. *et al.* Doenças da soja. In: KIMATI, H. *et al.* (org.). **Manual de fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**. 2. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. p. 596–617.
- ASMUS, G. L. Danos Causados à Cultura da Soja por Nematoides do Gênero *Meloidogyne*. In: SILVA, J.F.V. (org.). **Relações Parasito-Hospedeiro nas Meloidoginoses da Soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. p. 39–61. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/463005/relacoes-parasito-hospedeiro-nas-meloidoginoses-da-soja>. Acesso em: 12 de fev. 2024
- BALARDIN, Ricardo R. *et al.* **Reproduction of *Meloidogyne javanica* in soybean genotypes**. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 94, n. 2, p. 1–9, 2022. DOI 10.1590/0001-3765202220191427
- BEDENDO, I. P.; MASSOLA JÚNIOR, N. S.; AMORIM, L. Controle cultural e físico de doenças de plantas. In: AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIM FILHO, A. (org.). **Manual de fitopatologia**. Ouro Fino: Editora Agronomica Ceres, 2018. p. 275–288.
- BOZBUGA, R *et al.* **Identification of common bean *Phaseolus vulgaris* genotypes having resistance against root knot nematode**. *Legume Research - An International Journal*, v. 38, n. 5, 2015. Disponível em: http://arccjournals.com/index.php?option=com_journals&view=article&id=6271&Itemid=64 1. Acesso em: 11 de fev. 2024.
- BRUINSMA, J. S. da S; ANTONIOLLI, Z. I. **Resistance of *Meloidogyne javanica* in soybean genotypes**. *Nematoda*, v. 2, p. e032015, 2015. DOI:10.4322/nematoda.03015
- CANTO-SÁENZ, M. The nature of resistance to *Meloidogyne incognita*. In: SASSER, J. N.; CARTER, C. C. (org.). **An advanced treatise on Meloidogyne**. 1. ed. Raleigh, NC, USA: North Carolina State University Graphics, 1985. p. 225–231.
- CARDOSO, M. R. *et al.* ***Crotalaria ochroleuca* Susceptibility to *Heterodera glycines* Races**. *Journal of Agricultural Science*, v. 11, n. 7, p. 205, 2019. Disponível em: <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/0/39379>. Acesso em: 12 de fev. 2024.
- CARNEIRO, G.E.S. *et al.* **Comportamento de genótipos de soja em área naturalmente infestada com *Meloidogyne incognita***. In: , 2019, Londrina. Reunião de Pesquisa de Soja. Londrina: Embrapa Soja, 2019. p. 413. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de->

publicacoes/-/publicacao/1111438/comportamento-de-genotipos-de-soja-em-area-naturalmente-infestada-com-meloidogyne-incognita. Acesso em: 15 de fev. 2024

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da safra de grãos**. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos/boletim-da-safra-de-graos> Acesso em: 15 jan. 2024.

DIAS, V. P. *et al.* **Nematoides em soja: Identificação e Controle**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPSO-2010/30766/1/CT76-eletronica.pdf>. Acesso em: 11 de fev. 2024

DIAS, W. P. *et al.* **Reaction of common bean genotypes to plant parasitic nematodes**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 53, p. e74717, 2023. DOI: 10.1590/1983-40632023v5374717

DIAS-ARIERA, C.R.; CHIAMOLERA, F.M. **Cresce a incidência de nematoides em milho e soja**. Revista Campo e Negócios, v. 97, p. 18–21, 2011.

DONG, L. Q.; ZHANG, K. Q. **Microbial control of plant-parasitic nematodes: a five-party interaction**. Plant and Soil, v. 288, n. 1–2, p. 31–45, 2006. DOI: 10.1007/s11104-006-9009-3.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Tecnologias de produção de soja – Região Central do Brasil 2005**. Sistema de Produção 6. Embrapa, Londrina, 239p, 2005.

FERREIRA, N. P. **Reação de genótipos de soja do programa de melhoramento da Universidade Federal de Uberlândia ao fitonematoide *Heterodera glycines* Raça 3**. 2007. 33 f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia)-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

GAZZONI, D. L. **A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas**. Ciência e Cultura, v. 70, n. 3, p. 16–18, 2018. DOI: 10.21800/2317-66602018000300005

HA, B, K *et al.* **Pedigree Analysis of a Major QTL Conditioning Soybean Resistance to Southern Root-Knot Nematode**. Crop Science, v. 44, n. 3, p. 758–763, 2004. DOI: 10.2135/cropsci2004.7580.

HAMBLIN, J.; ZIMMERMANN, M. J. de O. **Breeding Common Bean for Yield in Mixtures**. Plant Breeding Review, v. 4, n. 1, p. 245-272, 1986. DOI:10.1002/9781118061015.ch8

HERMAN, M.; HUSSEY, R. S.; BOERMA, H. R. **Penetration and Development of *Meloidogyne incognita* on roots of resistant soybean genotypes**. Journal of Nematology, v. 23, n. 2, p. 155–161, 1991. Disponivem em: <https://journals.flvc.org/jon/article/view/66268>. Acesso em: 10 de fev. 2024

INOMOTO, M.M; ASMUS, G.L. Manejo de nematoides em sistemas consorciados. In: Embrapa Agropecuária Oeste-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: **SEMINÁRIO NACIONAL [DE] MILHO SAFRINHA, 12., 2013, Dourados. Estabilidade e**

produtividade: anais. Brasília, DF: Embrapa; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. Editado por: Germani Concenço, Gessi Ceccon. 1 CD-ROM., 2013.

KIRSCH, V.G. *et al.* **Reação de cultivares de soja a diferentes espécies de *Meloidogyne spp.*** *Nematropica*, v. 49, n. 2, p. 166–171, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338659476_Reacao_de_cultivares_de_soja_a_diferentes_especies_de_Meloidogyne_spp_Reaction_of_soybean_cultivars_to_different_species_of_Meloidogyne_spp. Acesso em: 03 de fev. 2024

LEMES, E. *et al.* **Tratamento de sementes industrial: potencial de armazenamento de sementes de soja tratadas.** *Colloquium Agrariae*, v. 15, n. 3, p. 166–171, 2019. DOI: 10.5747/ca.2019.v15.n3.a302

LI, Y.H.;CHEN, S.Y. **Effect of the right gene on population development of *H. glycines*.** *Journal of Nematology*, 37:168-177, 2005. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19262857/>. Acesso em: 05 de fev. 2024

LONGHI, V.M. **Manejo ajuda a lidar com nematoides na safra de soja 22/23.** Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/manejo-ajuda-a-lidar-com-nematoides-na-safra-de-soja-2223>. Acesso em 20 jan. 2024.

MACHADO, A. C. Z. *et al.* **Avaliação de danos causados por *Pratylenchus brachyurus* em algodoeiro.** *Fitopatologia Brasileira*, v. 31, n. 1, p. 11–16, 2006. DOI:10.1590/S0100-41582006000100002

MAPA, 2022. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Mapa. Projeções do agronegócio.** Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br>>. Acesso em: 08 dez. 2022.

MARTIN, J. H. *et al.* **Principles of field crop production.** 4 ed. United States: Pearson Education, 2006.

MAZZETTI, V. C. G. *et al.* **Reaction of soybean cultivars to *Meloidogyne javanica* and *Meloidogyne incognita*.** *Revista Ceres*, v. 66, n. 3, p. 220–225, 2019. DOI: 10.1590/0034-737X201966030008

MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. de F. B. **Eficiência do sistema de nove covas na seleção de progênies de feijoeiro tipo carioca para arquitetura ereta.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 9, p. 1029-1034, set. 2011. DOI: 10.1590/s0100-204x2011000900009.

MENDES, M. L.; RODRIGUEZ, P.B.N. P. B. N. **Reação de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] aos nematoides de galhas *Meloidogyne javanica* e *M. Incognita* R.1,2,3 e 4.** *Nematologia Brasileira* 24:211-217, 2000.

MOENS, M.; PERRY, R.; STARR, J. ***Meloidogyne* species- a diverse group of novel and important plant parasites.** Pp. 483 In: PERRY, R. N.;MOENS, M.; STARR, J. L. (eds). *Rootknot nematodes*, 1. Wallingford, UK, 2009.

MOURA, R. M. *et al.* **Postinfectional development of *Meloidogyne incognita* on susceptible and resistant soybean genotypes.** *Nematropica*, v. 23, n. 1, p. 7–13, 1993.

Disponível em: <https://journals.flvc.org/nematropica/article/view/64053>. Acesso em: 16 fev. 2024

MOURA, R.M.M.; RÉGIS, E.M.O. **Reações de cultivares de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*) em relação ao parasitismo de *Meloidogyne javanica* e *M. Incognita* (Nematoda: Heteroderidae)**. Nematologia Brasileira, v. 11, p. 215–225, 1987.

OLIVEIRA, G.; HECHT, S. **Sacred groves, sacrifice zones and soy production: globalization, intensification and neo-nature in South America**. The Journal of Peasant Studies, v. 43, n. 2, p. 251-285. 2016. DOI: 10.1080/03066150.2016.1146705

OOSTENBRINK, M. **Major characteristics of the relation between nematodes and plants**. Mededelingen Landbouwhogeschool, v. 66, n. 4, p. 1–46, 1966. Disponível em: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/516983>. Acesso em: 29 de jan. 2024

RAMZAN, M *et al.* **Survey of root knot nematodes and RMi resistance to *Meloidogyne incognita* in soybean from Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan**. European Journal of Plant Pathology, v. 160, n. 1, p. 1–13, 2021. DOI: 10.1007/s10658-019-01740-z.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020. URL <https://www.R-project.org/>.

SEDIYAMA, T. **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina: Mecenias, 2009. Disponível em: <https://www.editoramecenias.com.br/wp-content/uploads/2017/06/sumario-tecnologias-de-producao-e-usos-da-soja.pdf>. Acesso em: 28 de jan. 2024.

SHAPIRO, A. S. S.; WILK, M. B. **An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples)**. Biometrika, 52, 3/4, 591–611, 1965. DOI: 10.2307/2333709

SCOTT, A.; KNOTT, M. **Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance**. Biometrics, Washington D.C., v.30, n.3, p.507-512, 1974. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~abe/lista/pdfXz71qDkDx1.pdf>. Acesso em: 24 de jan. 2024

SILVA, G. S., J. M. SANTOS.; FERRAZ, S. 1988. **Novo método de coloração de ootecas de *Meloidogyne* sp.** Nematologia Brasileira, 12: 6-7. 1988.

SILVA, F. C. S. *et al.* **Importância econômica e evolução do melhoramento**. In: SILVA, Felipe *et al.* (org.). Melhoramento da soja. Viçosa: Editora UFV, 2017. p. 563.

SILVA, J.F.V. Resistência genética da soja a nematoides do gênero *Meloidogyne*. In: **Relações parasito-hospedeiro nas meloidoginoses da soja**. Londrina: Embrapa Soja, Sociedade de Nematologia, 2001. p. 127.

TAMULONIS, J. P. *et al.* **RFLP, mapping of resistance to southern root-knot nematode in soybean**. Crop Science, Madison, v. 37, p. 783–788, 1997. Disponível em: <https://parrotlab.uga.edu/parrotlab/Publications/Tamulonisetal1997c.pdf>. Acesso em: 15 de fev. 2024

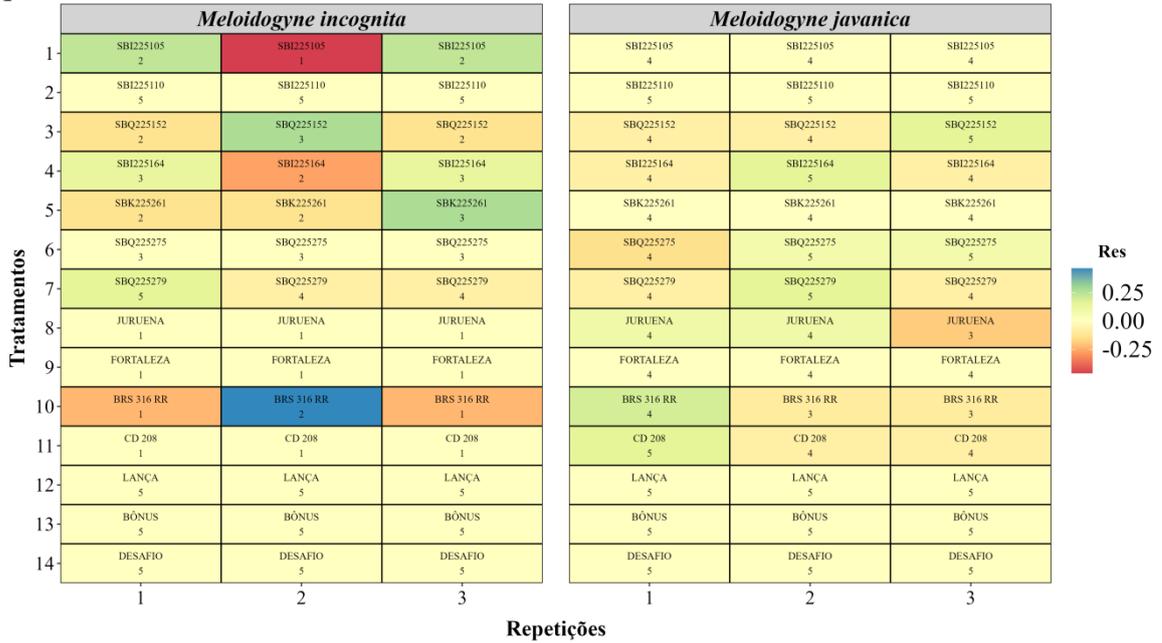
TAYLOR, A.L.; SASSER, J.N. **Biology, identification and control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* species)**. Internatioed. Raleigh: [s. n.], 1978.

TEIXEIRA, R. A.; BARBOSA, K. A. G.; ROCHA, M. R. da. **Reaction of soybean cultivars to *Meloidogyne incognita* race 3**. *Científica*, v. 45, n. 1, p. 31, 2017. DOI: 10.15361/1984-5529.2017v45n1p31-40

WICKHAM, H. *et al.* **Welcome to the Tidyverse**. *Journal Of Open Source Software*, v. 4, n. 43, p. 1686, 21, nov. 2019. DOI: 10.21105/joss.01686.

ANEXO A - Resíduo casa de vegetação (A). Resíduo campo (B).

A



B

