



UNIVERSIDADE
ESTADUAL de LONDRINA

PAULA FERNANDA DE AZEVEDO RIBEIRO

**MANEJO QUÍMICO E BIOLÓGICO DE *Meloidogyne javanica*
SOB DENSIDADES CRESCENTES DE INFESTAÇÃO NA
CULTURA DA SOJA**

Londrina, Paraná
2025

PAULA FERNANDA DE AZEVEDO RIBEIRO

**MANEJO QUÍMICO E BIOLÓGICO DE *Meloidogyne javanica*
SOB DENSIDADES CRESCENTES DE INFESTAÇÃO NA
CULTURA DA SOJA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Andressa Cristina Zamboni Machado

Londrina, Paraná
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

R484 Ribeiro, Paula Fernanda de Azevedo.
 Manejo químico e biológico de *Meloidogyne javanica* sob densidades crescentes de infestação na cultura da soja. / Paula Fernanda de Azevedo Ribeiro. - Londrina, 2025.
 85 f. : il.

 Orientador: Marcelo Giovanetti Canteri.
 Coorientador: Andressa Cristina Zamboni Machado.
 Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2025.
 Inclui bibliografia.

 1. Manejo - Tese. 2. Nematóide das galhas - Tese. 3. Danos - Tese. 4. Soja - Tese. I. Giovanetti Canteri, Marcelo . II. Zamboni Machado, Andressa Cristina. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

PAULA FERNANDA DE AZEVEDO RIBEIRO

**MANEJO QUÍMICO E BIOLÓGICO DE *Meloidogyne javanica*
SOB DENSIDADES CRESCENTES DE INFESTAÇÃO NA
CULTURA DA SOJA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Leandro Simões de Azeredo Gonçalves
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof^a. Dr^a. Aline Vanessa Sauer Zawadzki
Universidade Estadual do Norte do Paraná
UENP/CLM

Dr^a. Angelita Garbossi da Silva
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná
IDR-Paraná

Dr. Santino Aleandro da Silva
AGRONEMA

Londrina, 28 de novembro de 2025.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sustentar minha caminhada, capacitar-me, guiar meus passos, cuidar de todos os detalhes e colocar pessoas maravilhosas ao longo dessa trajetória, tornando tudo possível.

À minha família, expresso minha gratidão pelo apoio constante, incentivo, suporte emocional, além do carinho e cuidado com minha filha durante meus momentos de ausência. Ao meu esposo Caio, agradeço pela compreensão, motivação e apoio incondicional. À minha filha Alícia, agradeço pela pureza do seu amor e pela alegria que me inspiraram diariamente a superar desafios e concluir esta etapa.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina (UEL) pela oportunidade de realizar o doutorado e a todos os professores que contribuíram para minha formação. Em especial, ao meu orientador, Dr. Marcelo Giovanetti Canteri, pela confiança e pelos ensinamentos, e às amigas Fernanda Neves Paduan e Rafaela Bueno Loreto, pela amizade e companheirismo.

Minha profunda gratidão à minha coorientadora, Dra. Andressa Cristina Zamboni Machado, e ao Dr. Santino Aleandro da Silva, pelo acolhimento, amizade, suporte, comprometimento e compartilhamento dos seus conhecimentos. Estendo o agradecimento à equipe do laboratório e da estação experimental AGRONEMA, pelo empenho na condução dos experimentos e auxílio nas análises.

Meus sinceros agradecimentos aos estagiários, colaboradores e profissionais da Estação Dashen, especialmente ao Dr. Robinson Osipe, Dr. Jethro B. Osipe e Dr. Petrus B. Osipe, pelo auxílio, incentivo e confiança.

Ao Prof. Dr. Leopoldo Sussumu Matsumoto, do Laboratório de Microbiologia do Solo da Universidade Estadual do Paraná *campus* Luiz Meneghel (UENP/CLM), agradeço pela parceria e disponibilidade em oferecer informações, materiais e equipamentos fundamentais às análises experimentais.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta tese. Este trabalho representa não apenas meu esforço, mas também a colaboração e o apoio de uma rede de pessoas dedicadas à pesquisa e à construção do conhecimento.

"Não fui eu que lhe ordenei? Seja forte e corajosa! Não se apavore, nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde quer que andares".

Josué 1:9

RIBEIRO, Paula Fernanda de Azevedo. **Manejo químico e biológico de *Meloidogyne javanica* sob densidades crescentes de infestação na cultura da soja**. 2025. 85f. Tese – Doutorado em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2025.

RESUMO

Meloidogyne javanica é uma das principais espécies de nematoides encontradas em lavouras de soja no Brasil. Embora estudos indiquem reduções expressivas na produtividade, variando conforme a densidade populacional do patógeno, a cultivar, as condições edafoclimáticas e o manejo adotado, ainda são escassos os trabalhos que avaliam modelos experimentais diferenciados. Este estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento de plantas de soja sob diferentes densidades de inóculo de *M. javanica*, além do uso de tratamentos nematicidas (Ilevo e Votivo Prime), visando compreender os impactos do parasitismo nas plantas. Foram conduzidos dois experimentos a campo, em delineamento em blocos ao acaso, com 18 tratamentos e quatro repetições, em esquema fatorial 3 x 6. O primeiro fator foi composto pelo nematicida biológico Votivo Prime (*Bacillus firmus* cepa I-1582), pelo nematicida químico Ilevo (fluopyram), ambos na dose comercial de 100 mL 100 kg⁻¹ de sementes, e pela testemunha sem aplicação. O segundo fator consistiu das densidades de infestação: 0; 100; 300; 900; 2700 e 8100 ovos e/ou juvenis por planta. A inoculação do nematoide foi realizada em casa de vegetação, em vasos, aplicando-se a suspensão diretamente no colo das plântulas aos sete dias após a semeadura da cultivar M6410 IPRO. Sete dias após a inoculação, as plantas foram transplantadas para o campo, com espaçamento de 0,5 m entre linhas e densidade de 10 plantas por metro linear, sendo cada linha correspondente a uma densidade. Foram avaliadas as variáveis de vigor (NDVI), massa fresca (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca das raízes (MFR), população final do nematoide (PF), número de nematoides por grama de raiz (NNGR), fator de reprodução adaptado (FRa) e produtividade. Os resultados mostraram que o aumento da densidade inicial de *M. javanica* reduziu os valores de NDVI, MFPA e MSPA, além de diminuir a produtividade, refletindo diretamente os danos ao sistema radicular. Fluopyram apresentou maior eficiência na redução da população do patógeno nas avaliações iniciais, especialmente em altas densidades populacionais. Entretanto, avaliações realizadas na maturação fisiológica não evidenciaram diferenças significativas entre os tratamentos. Conclui-se que altas densidades de *M. javanica* comprometem severamente o desenvolvimento vegetativo e o rendimento da soja. Avaliações conduzidas em estádios reprodutivos iniciais são mais eficazes para detectar o efeito dos nematicidas. Além disso, o uso do NDVI demonstra grande potencial como ferramenta auxiliar na estimativa de perdas causadas por *M. javanica* em lavouras de soja.

Palavras-chave: manejo integrado; nematoide-das-galhas; *Glycine max*; nível de dano.

RIBEIRO, Paula Fernanda de Azevedo. **Chemical and biological management of *Meloidogyne javanica* under increasing infestation densities in soybean crops.** 2025. 85p. Tese – Doutorado em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2025.

ABSTRACT

Meloidogyne javanica is one of the main nematode species occurring in soybean fields in Brazil. Although studies report substantial yield losses, varying according to pathogen population density, cultivar, edaphoclimatic conditions, and management practices, there is still a lack of research evaluating differentiated experimental models. This study aimed to assess distinct experimental approaches under varying inoculum densities of *M. javanica*, as well as the effects of nematicide treatments (Ilevo and Votivo Prime), in order to understand the impacts of parasitism on soybean plants. Two field experiments were conducted in a randomized block design, with 18 treatments and four replications, arranged in a 3 x 6 factorial scheme. The first factor consisted of the biological nematicide Votivo Prime (*Bacillus firmus* strain I-1582), the chemical nematicide Ilevo (fluopyram), both applied at the commercial rate of 100 mL 100 kg⁻¹ of seed, and a non-treated control. The second factor comprised six infestation densities: 0; 100; 300; 900; 2700 and 8100 eggs and/or juveniles per plant. Nematode inoculation was carried out in greenhouse-grown plants by pipetting the suspension directly onto the base of the seedlings seven days after sowing the soybean cultivar M6410 IPRO. Seven days after inoculation, plants were transplanted into the field at a spacing of 0.5 m between rows and a density of 10 plants per meter, with each row corresponding to one inoculum density. The following variables were evaluated: NDVI, fresh and dry shoot biomass, fresh root mass, final nematode population, number of nematodes per gram of root, adapted reproduction factor, and grain yield. Results showed that increasing the initial densities of *M. javanica* reduced NDVI, fresh and dry shoot biomass, as well as grain yield, reflecting the direct damage to the root system. Fluopyram demonstrated greater efficiency in reducing nematode populations at early evaluations, particularly under high infestation densities. However, evaluations performed at physiological maturity did not reveal significant differences among treatments. In conclusion, high population densities of *M. javanica* severely impair soybean vegetative development and yield. Early reproductive growth stages are more effective for detecting nematicide treatment effects. Moreover, NDVI proved to be a promising tool for estimating yield losses caused by *M. javanica* in soybean fields.

Key-words: integrated management; root-knot nematode; *Glycine max*; damage level.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Ciclo de vida do nematoide das galhas. (a) Corte longitudinal de um ápice radicular mostrando juvenis de segundo estágio (J2). (b) Sintomas típicos de galhas em raízes de tomateiro. (c) Corte longitudinal de uma raiz infestada mostrando uma fêmea adulta e cinco células gigantes (*) que constituem o sítio de alimentação do nematoide (cenócito).22
- Figura 2.** Demonstração do transplântio para o campo aos 14 DAS (dias após a semeadura).35
- Figura 3.** Demonstração da disposição das plantas de soja nas linhas de cultivo após a realização do transplântio para o campo aos 14 DAS (dias após a semeadura).36
- Figura 4.** Comportamento da variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em função das densidades crescentes de infestação de *Meloidogyne javanica* para os experimentos 1 e 2, separadamente (A), ou pela análise conjunta dos experimentos 1 e 2, ajustado por Modelo de Regressão não-linear reparametrizada (cúbico incompleto) (B).....41
- Figura 5.** Intervalo de confiança para os parâmetros β_0 , β_1 e ξ do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para verificação da sobreposição dos parâmetros do modelo, considerando os experimentos 1 e 2.41
- Figura 6.** Desenvolvimento vegetativo das plantas de soja inoculadas com *Meloidogyne javanica* (0, 100, 300, 900, 2700 e 8100 ovos e/ou juvenis por planta) aos 40 dias após o transplântio. Experimento 2.44
- Figura 7.** Visual das raízes de soja inoculadas com *Meloidogyne javanica* (0, 100, 300, 900, 2700 e 8100 ovos e/ou juvenis por planta), evidenciando a formação de galhas nos diferentes tratamentos. Segunda avaliação do Experimento 1.45
- Figura 8.** Visual das raízes de soja inoculadas com *Meloidogyne javanica* (0, 100, 300, 900, 2700 e 8100 ovos e/ou juvenis por planta), evidenciando a formação de galhas nos diferentes tratamentos. Segunda avaliação do Experimento 2.46
- Figura 9.** Comportamento da variável Fator de reprodução adaptado (FRa) de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja transformada por log (y), sob

densidades crescentes de inóculo inicial (densidade^{0,3}). Primeira (A) e segunda (B) avaliações do experimento 1, realizadas aos 63 e 119 DAI (dias após a inoculação), considerando ajuste pelos modelos GLMM e GLM, respectivamente.49

Figura 10. Comportamento da variável Fator de reprodução adaptado (FRa) de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja transformada por log (y), sob densidades crescentes de inóculo inicial (densidade^{0,3} na segunda avaliação). Primeira (A) e segunda (B) avaliações do experimento 2, realizadas aos 62 e 103 DAI (dias após a inoculação), considerando ajuste pelos modelos GLM e GLMM, respectivamente.....51

Figura 11. Comportamento da variável produtividade (sacas por hectare) da cultura da soja sob densidades crescentes de inóculo inicial (densidade^{0,3}) de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas. Análise conjunta dos experimentos 1 e 2, utilizando o modelo GLMM.54

Figura 12. Comportamento da variável Massa fresca da parte aérea (MFPA) das plantas de soja em função das densidades crescentes (densidade^{0,3}) de inóculo inicial de *Meloidogyne javanica*. Primeiro experimento (A) avaliado aos 63 DAI (dias após a inoculação) e segundo experimento (B) avaliado aos 62 DAI, com e sem nematicidas, utilizando o modelo GLMM.....75

Figura 13. Comportamento da variável Massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas de soja em função das densidades crescentes (densidade^{0,3}) de inóculo inicial de *Meloidogyne javanica*. Primeiro experimento (A) avaliado aos 63 DAI (dias após a inoculação) e segundo experimento (B) avaliado aos 62 DAI, com e sem nematicidas, utilizando o modelo GLMM.....75

Figura 14. Comportamento da variável Massa fresca de raiz (MFR) das plantas de soja em função das densidades crescentes de inóculo inicial (densidade^{0,3}) de *Meloidogyne javanica*. Primeira (A) e segunda (B) avaliações do experimento 1, realizadas aos 63 e 119 DAI (dias após a inoculação), com e sem nematicidas, utilizando os modelos GLM e GLMM, respectivamente.77

Figura 15. Comportamento da variável Massa fresca de raiz (MFR) das plantas de soja em função das densidades crescentes (densidade^{0,3}) de inóculo inicial de *Meloidogyne javanica*. Primeira (A) e segunda (B) avaliações do experimento 2, realizadas aos 62 e 103 DAI (dias após a inoculação), com

e sem nematicidas, utilizando os modelos GLMM e LM, respectivamente.

.....78

Figura 16. Comportamento da variável População final (PF) de *Meloidogyne javanica* em função das densidades crescentes (densidade^{0,3}) de inóculo inicial na soja. Primeira (A) e segunda (B) avaliações do experimento 1, realizadas aos 63 e 119 DAI (dias após a inoculação), com e sem nematicidas, utilizando os modelos GLM e GLMM, respectivamente.80

Figura 17. Comportamento da variável População final (PF) de *Meloidogyne javanica* em função das densidades crescentes (densidade^{0,3}) de inóculo inicial na soja, com ou sem nematicidas. Primeira (A) e segunda (B) avaliações do experimento 2, realizadas aos 62 e 103 DAI (dias após a inoculação), respectivamente, utilizando o modelo GLM.....82

Figura 18. Comportamento da variável Número de nematoides por grama de raiz (NNGR) de soja, em função das densidades crescentes de inóculo inicial de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas. Primeira (A) e segunda (B) avaliações do experimento 1, realizadas aos 63 e 119 DAI (dias após a inoculação), respectivamente, utilizando o modelo GLM.83

Figura 19. Comportamento da variável Número de nematoides por grama de raiz (NNGR) em função das densidades crescentes (densidade^{0,3}) de inóculo inicial de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas. Primeira (A) e segunda (B) avaliações do experimento 2, realizadas aos 62 e 103 DAI (dias após a inoculação), utilizando os modelos GLMM e GLM, respectivamente.85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tratamentos utilizados para o manejo de <i>Meloidogyne javanica</i> na cultura da soja sob densidades crescentes de infestação.	33
Tabela 2. Médias referentes à variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) das plantas de soja sob densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas.	40
Tabela 3. Fator de reprodução adaptado (FRa) de <i>Meloidogyne javanica</i> na cultura da soja, com ou sem nematicidas, no experimento 1.	48
Tabela 4. Análise de Deviance do modelo GLMM* para fator de reprodução adaptado (FRa) de <i>Meloidogyne javanica</i> na cultura da soja, com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 1.	49
Tabela 5. Análise de Deviance do modelo GLM* para fator de reprodução adaptado (FRa) de <i>Meloidogyne javanica</i> na cultura da soja, com ou sem nematicidas, correspondente à segunda avaliação do experimento 1.	49
Tabela 6. Fator de reprodução adaptado (FRa) de <i>Meloidogyne javanica</i> na cultura da soja, com ou sem nematicidas, no experimento 2.	50
Tabela 7. Análise de Deviance do modelo GLM* para fator de reprodução adaptado (FRa) de <i>Meloidogyne javanica</i> na cultura da soja, com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 2.	50
Tabela 8. Análise de Deviance do modelo GLMM* para fator de reprodução adaptado (FRa) de <i>Meloidogyne javanica</i> na cultura da soja, com ou sem nematicidas, correspondente à segunda avaliação do experimento 2.	51
Tabela 9. Produtividade da soja (sacas por hectare) sob densidades crescentes de infestação de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas, nos experimentos 1 e 2.	53
Tabela 10. Análise de Deviance do modelo GLMM* para a variável produtividade (sacas por hectare) sob densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas.	54
Tabela 11. Médias da massa fresca e seca da parte aérea (MFPA e MSPA) de plantas de soja, sob densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas, no experimento 1.	73
Tabela 12. Análise de Deviance do modelo GLMM* para massa fresca de parte aérea (MFPA) da soja, sob densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne</i>	

<i>javanica</i> , com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 1.....	73
Tabela 13. Análise de Deviance do modelo GLMM* para massa seca de parte aérea (MSPA) da soja, sob densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 1.....	74
Tabela 14. Médias da massa fresca e seca da parte aérea (MFPA e MSPA) das plantas de soja sob densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas, no experimento 2.	74
Tabela 15. Análise de Deviance do modelo GLMM* para massa fresca de parte aérea (MFPA) da soja, sob densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 2.....	74
Tabela 16. Análise de Deviance do modelo GLMM* para massa seca de parte aérea (MSPA) da soja, sob densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 2.....	75
Tabela 17. Médias da massa fresca de raiz (MFR) das plantas de soja sob densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas, no experimento 1.....	76
Tabela 18. Análise de Deviance do modelo GLM* para massa fresca de raiz (MFR) da soja, sob densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 1.....	76
Tabela 19. Análise de Deviance do modelo GLMM* para massa fresca de raiz (MFR) da soja, sob densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas, correspondente à segunda avaliação do experimento 1.....	76
Tabela 20. Médias da massa fresca de raiz (MFR) das plantas de soja sob densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas, no experimento 2.....	77
Tabela 21. Análise de Deviance do modelo GLMM* para massa fresca de raiz (MFR) da soja, sob densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do	

experimento 2.....	78
Tabela 22. Análise de Variância do modelo LM* para massa fresca de raiz (MFR) da soja, sob densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas, correspondente à segunda avaliação do experimento 2.	78
Tabela 23. População final (número de ovos e/ou juvenis) de <i>Meloidogyne javanica</i> em plantas de soja sob densidades crescentes de inóculo, com e sem nematicidas, no experimento 1.....	79
Tabela 24. Análise de Deviance do modelo GLM* para população final (PF) de <i>Meloidogyne javanica</i> na cultura da soja, sob densidades crescentes de inóculo, com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 1.....	79
Tabela 25. Análise de Deviance do modelo GLMM* para população final (PF) de <i>Meloidogyne javanica</i> na cultura da soja, sob densidades crescentes de inóculo, com ou sem nematicidas, correspondente à segunda avaliação do experimento 1.....	80
Tabela 26. População final (número de ovos e/ou juvenis) de <i>Meloidogyne javanica</i> na soja, com densidades crescentes de inóculo, com ou sem nematicidas, no experimento no experimento 2.	81
Tabela 27. Análise de Deviance do modelo GLM* para população final (PF) de <i>Meloidogyne javanica</i> na cultura da soja, sob densidades crescentes de inóculo, com e sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 2.....	81
Tabela 28. Análise de Deviance do modelo GLM* para população final (PF) de <i>Meloidogyne javanica</i> na cultura da soja, sob densidades crescentes de inóculo, com ou sem nematicidas, correspondente à segunda avaliação do experimento 2.....	81
Tabela 29. Número de nematoides por grama de raiz (NNGR) de soja, inoculada com densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas, no experimento 1.....	82
Tabela 30. Análise de Deviance do modelo GLM* para número de nematoides por grama de raiz (NNGR) da soja, inoculada com densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas, correspondente à segunda avaliação do experimento 1.	83

Tabela 31. Análise de Deviance do modelo GLM* para número de nematoides por grama de raiz (NNGR) da soja, inoculada com densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas, correspondente à segunda avaliação do experimento 1.	83
Tabela 32. Número de nematoides por grama de raiz (NNGR) de soja, inoculada com densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas, no experimento 2.	84
Tabela 33. Análise de Deviance do modelo GLM* para número de nematoides por grama de raiz (NNGR) da soja, inoculada com densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 2.	84
Tabela 34. Análise de Deviance do modelo GLMM* para número de nematoides por grama de raiz (NNGR) da soja, inoculada com densidades crescentes de inóculo de <i>Meloidogyne javanica</i> , com ou sem nematicidas, correspondente à segunda avaliação do experimento 2.	84

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

AIC	Critério de Informação de Akaike
ANOVA	Análise de variância
ATP	Adenosina trifosfato
CONAB	Companhia nacional de abastecimento
DAI	Dias após a inoculação
DAS	Dias após a semeadura
DBC	Delineamento em blocos casualizados
FR	Fator de reprodução
FRa	Fator de reprodução adaptado
GLM	Modelo Linear Generalizado
GLMM	Modelo Linear Generalizado Misto
ha	Hectare
IG	Índice de galhas
IMO	Índice de massa de ovos
IRGA	Analisador de gás infravermelho
J1	Juvenil de primeiro estágio
J2	Juvenil de segundo estágio
J3	Juvenil de terceiro estágio
J4	Juvenil de quarto estágio
LDE	Limiar de dano econômico
LM	Modelo linear
MAPA	Ministério da agricultura e pecuária
MFPA	Massa fresca de parte aérea
MFR	Massa fresca de raiz
MSPA	Massa seca de parte aérea
NDVI	Índice de vegetação por diferença normalizada
NIR	Luz infravermelha próxima
NNGR	Número de nematoides por grama de raiz
PF	População final
PI	População inicial
R2	Fase de florescimento pleno
R3	Fase de início da formação de vagens
R7	Fase de maturação
RED	Luz vermelha
REML	<i>Restricted Maximum Likelihood</i>
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Importância econômica da cultura da soja	18
2.2	Desafios fitossanitários na cultura da soja	19
2.3	Nematoide das galhas	20
2.3.1	Características gerais	20
2.3.2	Ciclo de vida	21
2.3.3	Sintomatologia	22
2.3.4	Danos	23
2.4	Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)	24
2.5	Função de Dano	25
2.6	Manejo integrado de nematoides na cultura da soja	27
2.6.1	Controle genético	28
2.6.2	Controle cultural	28
2.6.3	Controle químico	30
2.6.4	Controle biológico	31
3	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1	Delineamento Experimental	33
3.2	Semeadura	34
3.3	Obtenção do Inóculo e inoculação	34
3.4	Transplântio para o campo	35
3.5	Tratos culturais	36
3.6	Avaliações	37
3.6.1	Primeira avaliação	37
3.6.2	Segunda avaliação	37
3.6.3	Avaliação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI	38
3.7	Análise estatística	38
3.7.1	Análise estatística do NDVI	38
3.7.2	Análise estatística das variáveis nematológicas, desenvolvimento vegetativo e produtividade	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	40
4.2	Variáveis vegetativas e nematológicas	44
4.3	Fator de reprodução adaptado (FRa)	47
4.4	Produtividade	53
5	CONCLUSÕES	59
6	REFERÊNCIAS	60
7	ANEXO I – Condições meteorológicas	69
8	ANEXO II – Material complementar	73
8.1	Massa fresca e seca da parte aérea	73
8.2	Massa fresca de raiz	76

8.3	População final de <i>Meloidogyne javanica</i>	79
8.4	Número de nematoides por grama de raiz.....	82

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a principal cultura agrícola do Brasil, sendo cultivada em todas as regiões do país, destacando-se os estados do Mato Grosso, Paraná e Mato Grosso do Sul. O país é o principal produtor da oleaginosa, utilizada para diversas finalidades, seja na alimentação humana ou animal, bem como em indústrias de biocombustíveis e farmacêutica.

Apesar de acréscimos na produção e área cultivada a cada safra, a produtividade pode ser comprometida por condições edafoclimáticas adversas, além do ataque de pragas, infestação por plantas daninhas e ocorrência de patógenos, como vírus, fungos, bactérias e nematoides fitoparasitas.

O nematoide das galhas (*Meloidogyne javanica*) é uma das espécies que mais prejudica o desenvolvimento da soja e, conseqüentemente, ocasiona redução no rendimento da cultura. *M. javanica* causa hipertrofia e hiperplasia nas células parasitadas, o que comumente leva à formação de galhas no sistema radicular e interfere na absorção e transporte de água e nutrientes, resultando em reboleiras de plantas com porte reduzido e cloróticas.

A redução da população de fitonematoides na área é baseada na integração de métodos de controle, entre eles o manejo cultural (uso de sementes saudáveis, controle de plantas daninhas e plantas tiguerras, rotação com culturas não hospedeiras ou antagonistas, uso de plantas de cobertura, entre outras práticas), genético (cultivares resistentes ou com baixo fator de reprodução), químico e biológico.

A escolha dos métodos deve envolver a correta identificação das espécies ocorrentes, sendo importante adotar práticas com eficiência a curto, médio e longo prazo, além de considerar o nível populacional do nematoide na área, bem como a relação custo/benefício do manejo empregado. Assim, o trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do uso de controle químico e biológico do nematoide-das-galhas (*M. javanica*) na cultura da soja, em função de densidades crescentes de infestação do solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA CULTURA DA SOJA

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma planta herbácea, da família Fabaceae, originária de plantas rasteiras que se desenvolviam na costa leste da Ásia, na China. Foi disseminada pelos ingleses e imigrantes orientais e introduzida nas Américas em 1765. O início do cultivo no Brasil ocorreu em meados de 1880 no estado da Bahia (GAVAL et al., 2016; ROCHA et al., 2018).

O complexo soja é constituído por grãos, farelo e óleo. Quando comparada a outras culturas alimentares, possui o maior teor proteico nos grãos, cerca de 40,0 a 42,0%. Já em relação ao teor de óleo de leguminosas utilizadas na alimentação, perde posição apenas da cultura do amendoim (ALVES et al., 2003).

Os grãos de soja podem ser utilizados na alimentação humana, além de ser matéria prima para a produção de farelo e óleo. O farelo é um ingrediente importante para a nutrição animal. Além do uso em rações, também é encontrado em produtos não alimentícios como, por exemplo, cola para madeira. O óleo tem grande importância na produção de produtos para cozinha (óleo, margarina), medicamentos e biodiesel (PAGANO; MIRANSARI, 2016; QIU; CHANG, 2010).

Por ser uma leguminosa, é capaz de realizar a fixação biológica do nitrogênio atmosférico e, assim, ser menos dependente de fertilizantes sintéticos. Tendo em vista sua vasta utilização, seu envolvimento nos principais programas de melhoramento de cultivos em todo o mundo é significativo (DOMINGO; BORDONABA, 2011).

É considerada uma das principais *commodities* produzidas no mundo, tendo sua produção dominada por poucos países, entre eles Brasil, Estados Unidos, Argentina e China, que juntos são responsáveis por cerca de 85,0% da produção, em relação ao total de 427,68 milhões de toneladas produzidas na safra de 2024/25 (USDA, 2025).

O Brasil é considerado uma potência na produção desta oleaginosa, fato que se intensifica a cada safra. É o maior produtor mundial de soja, com produção de 171,48 milhões de toneladas na safra 2024/25 e estimativa de 177,6 milhões de toneladas para a safra 2025/26, superando a produção dos Estados Unidos desde a

safra 2019/20 (CONAB, 2025). A cultura tem contribuído decisivamente para a sustentabilidade econômica da agricultura brasileira, sendo o principal grão produzido no país, correspondendo a 50,0% da safra brasileira de grãos, estimada em 354,83 milhões de toneladas para o ciclo 2025/26 (CONAB, 2025).

O grão apresenta grande relevância para o agronegócio nacional. Cultivado desde o extremo Sul até as regiões Norte e Nordeste brasileiros, com possibilidade de expansão da área plantada para as novas fronteiras agrícolas do país (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014). Os principais estados produtores são Mato Grosso, Paraná, Goiás e Rio Grande do Sul. Na safra 2024/25, a área semeada com a oleaginosa foi de aproximadamente 47,35 milhões de hectares, aumento de 2,7% em relação à safra anterior, e a produtividade média foi de 3.622 Kg ha⁻¹, 10,36% superior ao ciclo 2023/24 (CONAB, 2025).

2.2 DESAFIOS FITOSSANITÁRIOS NA CULTURA DA SOJA

A produção de soja brasileira tem aumentado a cada safra devido aos avanços tecnológicos, ao melhoramento genético, ao manejo da cultura e à eficiência dos produtores, motivada pela alta dos preços internacionais, forte demanda exportadora e aumento da demanda interna (JUHÁSZ et al., 2013).

Assegurar a máxima produtividade requer um planejamento de técnicas de manejo e monitoramento da lavoura. Apesar de grande destaque na produção de grãos, a cultura enfrenta diversos problemas que podem comprometer a produtividade, assim como a qualidade final do produto (GONTIJO; JULIATTI; SANTOS, 2024). Além de fatores abióticos como condições meteorológicas adversas, disponibilidade de água e nutrientes, pH do solo, luminosidade, entre outros, o desenvolvimento da cultura sofre influência de fatores bióticos como inúmeros insetos-praga, plantas daninhas e fitopatógenos como fungos, bactérias, vírus e nematoides, causando perdas consideráveis (JUHÁSZ et al., 2013).

Em se tratando de fitonematoides, os principais que parasitam a cultura são os nematoides das galhas (*Meloidogyne javanica* e *M. incognita*), o nematoide de cisto (*Heterodera glycines*), o das lesões radiculares (*Pratylenchus brachyurus*) e o reniforme (*Rotylenchulus reniformis*) (SILVA et al., 2020).

Espécies como *Helicotylenchus dihystera* e *Scutellonema brachyurus*,

os nematoides espiralados, são emergentes na cultura, porém com ampla distribuição nas lavouras e aumento de densidades populacionais a cada ano (FAVORETO et al., 2019; MACHADO; FAVORETO; SILVA, 2023). Outra espécie que cresce em importância é *Aphelenchoides besseyi*, único de parte aérea, capaz de se alimentar de inflorescências, flores e folhas, originando a doença conhecida como “Soja Louca II”, ou síndrome da haste verde e retenção foliar (FAVORETO et al., 2019).

Apesar da falta de dados precisos referentes aos prejuízos ocasionados por nematoides às culturas agrícolas, são estimadas perdas anuais mundiais superiores a 80 bilhões de dólares (FERRAZ; BROWN, 2016). Já em relação à agricultura brasileira, a Sociedade Brasileira de Nematologia, em parceria com empresas, informa que as perdas podem alcançar R\$ 65 bilhões, considerando-se diversos cultivos e, somente na cultura da soja, o prejuízo é de R\$ 27,7 bilhões (ARAUJO; MACHADO; DIAS-ARIEIRA, 2023).

Os prejuízos econômicos ocasionados pelos nematoides são tantos que o nematoide das galhas está entre as pragas de maior risco fitossanitário no Brasil, conforme divulgado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária – MAPA (BRASIL, 2022), o que reforça ainda mais a necessidade de manejo desses fitopatógenos.

2.3 NEMATOIDE DAS GALHAS

2.3.1 Características gerais

Espécies do gênero *Meloidogyne* são popularmente conhecidas como nematoides das galhas e, economicamente, são considerados os nematoides parasitas de plantas mais importantes no mundo, capazes de parasitar mais de 2000 espécies de plantas, o que representa uma grande ameaça à agricultura (GONTIJO; JULIATTI; SANTOS, 2024; MOENS; PERRY; STARR, 2009).

Atualmente, o gênero conta com mais de 100 espécies descritas, porém *M. javanica* e *M. incognita* são as mais comuns em lavouras de soja brasileiras (FERRAZ; BROWN, 2016). *Meloidogyne javanica* é considerada a mais agressiva, com ampla distribuição geográfica devido às condições favoráveis para sua multiplicação em hospedeiros suscetíveis; já *M. incognita* é mais encontrada em áreas com histórico de cultivo de algodão e café (DIAS et al., 2010).

Em levantamento realizado recentemente no Brasil, *Meloidogyne* spp. estão presentes em cerca de 65% das amostras coletadas na região sul do país, enquanto no cerrado brasileiro essa frequência é de pouco mais de 25% das amostras (ARAUJO; MACHADO; DIAS-ARIEIRA, 2023).

O nematoide das galhas faz parte do grupo dos nematoides endoparasitas sedentários, com interação planta-patógeno altamente especializada. Após o estabelecimento inicial do parasitismo na planta, há a formação de células nutritoras ou “gigantes”, induzidas por enzimas e proteínas liberadas pelo nematoide. Estas alterações nas células do hospedeiro levam ao estabelecimento do sítio de alimentação, denominado cenócito, que proverá o sustento ao juvenil. Com o início das relações parasitárias, o juvenil perde a mobilidade tornando-se sedentário e, após algumas ecdises, dará origem a fêmeas obesas com formato periforme (ESCOBAR et al., 2015).

2.3.2 Ciclo de vida

O ciclo de vida do nematoide dura cerca de três a quatro semanas, em condições favoráveis de desenvolvimento, como temperaturas elevadas (entre 23 e 30°C), solo arenoso e umidade próxima à capacidade de campo. A reprodução de *M. javanica* ocorre por partenogênese mitótica obrigatória. Assim, raramente são observados machos na população e cada fêmea produz, em média, 500 ovos (FAVORETO et al., 2019; FERRAZ; BROWN, 2016).

O ciclo (Figura 1) se inicia com a deposição do ovo e, após a embriogênese, é formado o juvenil de primeiro estágio (J1), o qual sofre a primeira ecdise ainda dentro do ovo e eclode como juvenil de segundo estágio (J2), ambos com corpo fino e alongado. O J2 é a forma infectante e possui mobilidade. Nesse estágio, o nematoide migra no solo em direção às raízes da planta hospedeira favorável para iniciar o parasitismo. Após penetrar a região apical da raiz, migra pelos espaços intercelulares no córtex, em direção ao cilindro vascular até encontrar local propício ao estabelecimento do sítio de alimentação, denominado cenócito, formado por um conjunto de seis a oito células do hospedeiro, caracteristicamente grandes, com vacúolos pequenos ou ausentes, multinucleadas. O J2 se fixa ao tecido nutritor, passando a ser sedentário e, devido à alteração no padrão das camadas cuticulares, a forma do corpo muda de filiforme para salsichoide. Em seguida, o J2 passa por mais

duas ecdises e forma os juvenis de terceiro (J3) e quarto (J4) estágio, permanecendo em estágios salsichoides. Por fim, o J4 sofre a última ecdise para formar o adulto (FERRAZ; BROWN, 2016).

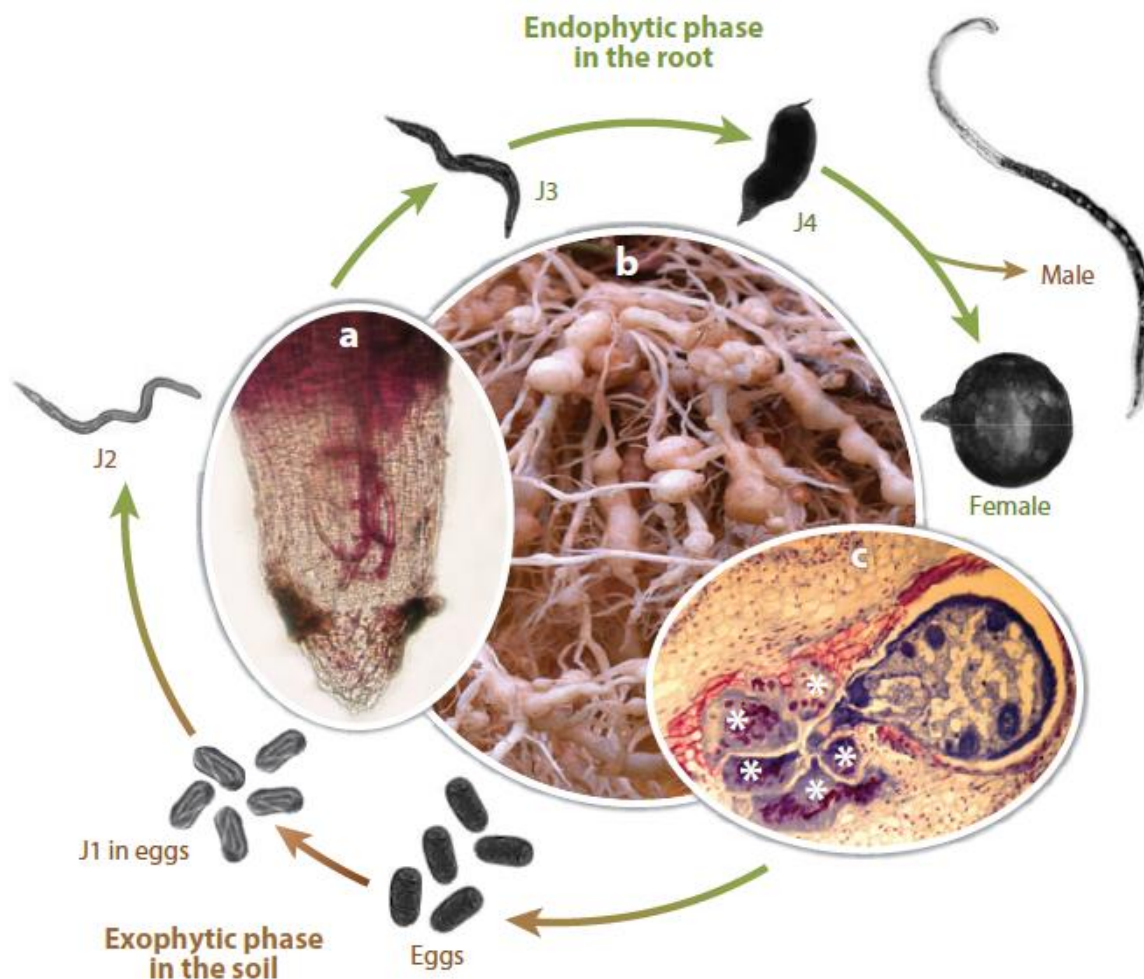


Figura 1 - Ciclo de vida do nematoide das galhas. **(a)** Corte longitudinal de um ápice radicular mostrando juvenis de segundo estágio (J2). **(b)** Sintomas típicos de galhas em raízes de tomateiro. **(c)** Corte longitudinal de uma raiz infestada mostrando uma fêmea adulta e cinco células gigantes (*) que constituem o sítio de alimentação do nematoide (cenócito).
Fonte: Castagnone-Sereno et al. (2013).

2.3.3 Sintomatologia

O sintoma típico do nematoide é a formação de galhas (Figura 1). As galhas são engrossamentos radiculares resultantes de reações de hipertrofia (aumento de tamanho) e hiperplasia (multiplicação) das células do tecido cortical adjacente ao corpo do nematoide, como resposta da planta à infecção. Inicialmente as galhas podem ser discretas, porém com o progresso da infecção, galhas individuais podem coalescer e formar galhas maiores (GORNÝ et al., 2021). No interior das galhas, estão localizadas as fêmeas do nematoide, com coloração branco-pérola e

formato de pera (DIAS et al., 2010).

Nas lavouras, os sintomas reflexos na parte aérea aparecem na forma de reboleiras de plantas subdesenvolvidas e amareladas. As folhas geralmente apresentam manchas cloróticas ou necrose, sendo denominadas “carijó”. Outros sintomas frequentemente observados são plantas murchas nas horas mais quentes do dia, declínio, queda das folhas e sintomas de deficiência nutricional. Ainda, pode haver a formação de raízes laterais curtas e abortamento de vagens e amadurecimento prematuro das plantas (ESCOBAR et al., 2015; FAVORETO et al., 2019).

2.3.4 Danos

Geralmente, são poucas as informações referentes aos danos causados por nematoides no Brasil. Uma das primeiras tentativas de estabelecer o volume de perdas relacionadas a nematoides foi realizada no Estado de São Paulo, onde foram estimadas perdas de até 10% na cultura da soja devido ao ataque de *Meloidogyne* spp. (LORDELLO, 1981). No caso de *M. incognita*, foram registradas perdas variáveis entre 20 e 30% (LEHMAN et al., 1976). Asmus (2001) estimou que a presença de 10 a 250 juvenis de *M. incognita* ou de 6 a 50 juvenis de *M. javanica* por 100 cm³ de solo aumenta o índice de risco de perdas para a cultura da soja em 10 a 90% e em 30 a 100%, respectivamente.

Em lavouras de soja altamente infestadas por *M. incognita*, são relatadas perdas de mais de 55% da produtividade (ARAUJO; MACHADO; DIAS-ARIEIRA, 2023). Os autores alertam que essas perdas podem ser ainda maiores, dependendo das condições edafoclimáticas ou cultivar de soja utilizada. Em anos com boa precipitação durante a fase vegetativa da soja, não raro ocorre bom desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Esse grande volume de raízes permite o aumento intenso da população do nematoide, de forma que, havendo na sequência do ciclo da cultura a ocorrência de veranicos, podem ser verificados efeitos drásticos, inclusive com a morte de grande número de plantas (DIAS et al., 2010).

2.4 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

Como salientado no item anterior, poucas informações estão disponíveis acerca dos níveis de danos causados por nematoides no Brasil. Tal informação é difícil de ser obtida para as diferentes condições edafoclimáticas brasileiras, para diferentes cultivares, diferentes manejos da lavoura adotados pelo agricultor etc. Todas essas características intrínsecas de cada lavoura, ou mesmo de cada talhão, podem impactar os níveis de danos que as diferentes espécies de nematoides podem causar nas culturas, tornando quase impossível o estabelecimento com precisão das perdas causadas pelos nematoides.

Uma das ferramentas disponíveis que poderiam auxiliar nessa determinação de danos causados pelos nematoides nas plantas seria a utilização de métodos não destrutivos, de fácil utilização e portáteis, adequando-se aos diferentes tipos e portes dos cultivos agrícolas. Várias técnicas são citadas na literatura que podem auxiliar no diagnóstico precoce e na estimativa de perdas causadas por agentes fitopatológicos, como detalhado na revisão de Sandmann, Grosch, Graefe (2018).

Para nematoides, poucas são as informações acerca dessas tecnologias para predição de perdas. Uma ferramenta utilizada na Nematologia agrícola é o analisador de gás infravermelho (IRGA), que mostrou que plantas de soja, algodão e feijão infectadas por *A. besseyi*, causador da síndrome da haste verde e retenção foliar na parte aérea das plantas, apresentavam alterações consideráveis em relação às suas taxas fotossintéticas, correspondendo aos possíveis danos ocasionados pelo nematoide, o que permitiu maior compreensão da interação entre esse nematoide e suas plantas hospedeiras (RIBEIRO, 2024).

Entretanto, o mais comum é que o uso de tais tecnologias esteja associado à observação de imagens de satélite ou geradas por drones para identificação de reboleiras causadas por nematoides nas lavouras (ARANTES et al., 2021). A aplicação de sensoriamento remoto na agricultura brasileira tem crescido com o uso de tecnologias que permitem o acesso aos índices de vegetação, como o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). O índice de vegetação gerado por NDVI pode ser analisado pela interpretação de imagens de sensores remotos e, em particular, por valores obtidos em diferentes datas, permitindo avaliar a variação de uma área verde em um determinado período, com valores variando no intervalo [-1

+1] (COHEN et al., 2003; DORIGO et al., 2007). De acordo com Duarte et al. (2019), valores mais altos (próximos a +1) de NDVI indicam a presença de vegetação saudável (forte vigor da clorofila), enquanto valores mais baixos podem apontar para a presença de patologia, estresse hídrico ou desfolha. Valores próximos de zero indicam a presença de solos expostos, enquanto valores próximos de -1 apontam para a presença de objetos, como corpos d'água.

Neste contexto, o NDVI permite que o crescimento das plantas seja medido e monitorado (TUCKER et al., 2001). Aplicações do uso de NDVI para monitorar os danos causados por nematoides são escassas. No trabalho de Duarte et al. (2019), os autores utilizaram o NDVI para monitorar as populações de *M. exigua* presentes no solo e nas raízes de plantas de seringueira e observaram correlação direta entre o número de nematoides presentes no solo e nas raízes com os valores obtidos com o NDVI. Nesse trabalho, os autores verificaram que, à medida que a população de nematoides aumentava, havia uma redução correspondente no NDVI, confirmando a correlação negativa entre número de nematoides e as leituras obtidas no NDVI, o que pode ser correlacionado aos danos causados pelas maiores densidades populacionais nas plantas de seringueira.

2.5 FUNÇÃO DE DANO

Estimativas confiáveis dos prejuízos causados pelos nematoides são importantes para o planejamento de estratégias de manejo (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1996). Conceitualmente, dano é qualquer redução na qualidade e/ou quantidade da produção; ao contrário, perda está relacionada à redução em retorno financeiro por unidade de área devido à ação de patógenos, sendo mais difícil de ser quantificada (BERGAMIN FILHO, 1995).

Várias metodologias foram desenvolvidas para estabelecimento de correlações entre danos e perdas causados por nematoides, tendo como pilares a avaliação precisa da intensidade da densidade populacional do nematoide e a escolha de um modelo eficiente que consiga correlacionar essa densidade populacional com os danos para possibilitar uma inferência a respeito das perdas ocasionadas (ASMUS, 2001).

No caso de nematoides, a relação quantitativa crucial entre

nematoides e a produtividade é função da densidade populacional do nematoide à época do plantio (OOSTENBRINK, 1971; SEINHORST, 1970, 1972, 1973). Seinhorst (1965) sugere que essa relação seja expressa por uma regressão linear entre o logaritmo da densidade populacional inicial do nematoide e o peso ou tamanho das plantas infectadas, ou por uma curva quadrática entre essas variáveis. Esse autor ficou conhecido na Nematologia como o responsável por elaborar um modelo matemático para a determinação de limites de tolerância aos nematoides como uma resposta aos danos na produção (ASMUS, 2001). A equação de Seinhorst (1965) é a seguinte:

$$Y = m + (1 - m) Z^{P - T}$$

Onde: Y = relação entre a produção na densidade populacional P e aquela obtida na ausência do nematoide; m = produção na densidade populacional na qual todo espaço disponível está ocupado pelo nematoide (= produção mínima); Z = constante menor que 1 (= a proporção de plantas não infectadas na densidade populacional P = 1); e P = densidade populacional, que geralmente é T (Y = 1, onde P é igual ou menor que T).

Apesar de bastante utilizada à época, a equação de Seinhorst (1965) vem sendo substituída por abordagens mais modernas para as estimativas dos níveis de danos causados pelos nematoides. Bergamin Filho et al. (1997) e Bianchini et al. (1998) sugerem que a produção está mais relacionada com variáveis ligadas à manutenção da área fotossintética das plantas do que com aquelas correlacionadas exclusivamente com a doença, como a área abaixo da curva de progresso da doença. Entretanto, novamente no caso dos nematoides, são poucos os trabalhos que avaliaram a interferência de seu ataque em processos fisiológicos da cultura.

Para a cultura da soja, a área foliar fotossintetizante é uma das melhores variáveis a serem utilizadas para correlacionar produção e a infecção por *M. javanica* (ASMUS, 2000). Em sua revisão realizada em 2001, Asmus sugere que, no futuro, dever-se-ia incluir uma variável relacionada com o tamanho das folhas ("sistema assimilatório") para a confecção de modelos de previsão de danos e que levasse em consideração a fisiologia da planta parasitada e finaliza dizendo que "o futuro se encarregará de trazer as respostas". O NDVI discutido no item anterior, que é usado para medir a densidade da vegetação através de imagens, pode trazer essas respostas.

2.6 MANEJO INTEGRADO DE NEMATOIDES NA CULTURA DA SOJA

Em áreas infestadas por fitonematoídeos, a total erradicação da população é praticamente impossível. Isso demandaria a completa remoção ou substituição do solo da área, medida obviamente impraticável. Assim, o controle envolve a adoção de medidas que reduzam os níveis populacionais das espécies a ponto de não causarem maiores danos à cultura. Em resumo, deve-se conviver com a presença deles na área de cultivo, de tal modo a manter suas populações dentro dos limites mínimos, ou seja, abaixo do limiar de dano econômico (LDE). O LDE se refere à densidade populacional mínima de uma espécie capaz de ocasionar danos econômicos significativos à cultura hospedeira (FERRAZ; BROWN, 2016).

O manejo de nematoídeos está baseado principalmente em quatro processos: a) morte dos nematoídeos do solo por meio de agentes térmicos ou químicos; b) interrupção do ciclo biológico do nematoídeo para limitar ou atrasar a reprodução; c) aumento da densidade populacional de outros microrganismos no solo para que ocorra a redução da população do nematoídeo devido à competição, predação ou parasitismo; d) evitar a disseminação de uma área contaminada para uma área não infestada (COLLANGE et al., 2011).

A adoção de medidas isoladas de controle muitas vezes não gera resultados satisfatórios. Em estudo realizado por Dahlin et al. (2019) foi possível concluir que a associação de um nematicida químico (fluopyram) com um biológico (*Purpureocillium lilacinum*) resultou em melhor controle de *M. incognita* em tomateiro, possibilitando aumento no rendimento da cultura. Assim, é importante a integração de diferentes métodos, podendo se utilizar controle genético, cultural, químico e biológico (COLLANGE et al., 2011; MIAMOTO et al., 2017).

Favoreto et al. (2019) complementam que o monitoramento constante e a correta diagnose das espécies predominantes na área são de extrema relevância, visto que no campo geralmente há a ocorrência de populações mistas de nematoídeos. Assim, o planejamento para a adoção do manejo integrado deve considerar práticas com eficiência a curto, médio e longo prazos.

2.6.1 Controle genético

O controle genético baseia-se na resistência varietal, sendo consideradas resistentes as plantas que previnem ou restringem a reprodução dos nematoides (FERRAZ; BROWN, 2016).

O uso de variedades de soja resistentes ou moderadamente resistentes a nematoides é uma das medidas mais utilizadas por ser de fácil adoção, relativamente barata e ambientalmente segura (LIMA et al., 2017). No entanto, muitas vezes, a baixa disponibilidade de materiais resistentes aliada à baixa produtividade e/ou restrita adaptabilidade às diversas regiões produtoras dificulta a adoção generalizada dos genótipos (GONTIJO; JULIATTI; SANTOS, 2024).

Para a cultura da soja, a maioria das cultivares disponíveis no mercado têm como foco principal os nematoides sedentários, entre eles *H. glycines* e *Meloidogyne* spp. (FAVORETO et al., 2019).

Apesar do uso de cultivares resistentes ser uma das principais medidas envolvidas no manejo integrado, Machado et al. (2022) relataram que a variabilidade genética entre as populações de uma mesma espécie de nematoide deve ser levada em consideração para o desenvolvimento de novas cultivares resistentes. Os pesquisadores verificaram que populações de *M. javanica* coletadas de solos naturalmente infestados de diferentes estados brasileiros se mostraram virulentas quando inoculadas em cultivares de soja consideradas resistentes à espécie.

Outro fator a ser considerado é a rotação de cultivares, no intuito de reduzir os riscos de adaptação pelo patógeno e evitar a quebra de resistência devido à pressão de seleção exercida pelas plantas resistentes (COLLANGE et al., 2011). Aliado a isso, a rotação com culturas não hospedeiras da espécie também é prática importante para evitar a adaptação do nematoide (FAVORETO et al., 2019).

2.6.2 Controle cultural

O controle cultural envolve inúmeras práticas, que objetivam reduzir os níveis populacionais dos fitonematoides. A rotação de culturas é considerada a principal medida de manejo cultural e consiste no cultivo alternado, na mesma época de cultivo, de plantas de diferentes espécies vegetais em uma mesma área,

geralmente utilizando plantas não hospedeiras ou antagonistas (LIMA et al., 2017).

Outras práticas também são importantes, como o manejo de plantas tigueras (voluntárias), o manejo de plantas daninhas que possam multiplicar os nematoides, adubação orgânica, uso de plantas de cobertura, entre outras (FAVORETO et al., 2019).

Com relação ao uso de culturas de cobertura, uma planta interessante para a utilização em sucessão com a soja é *Urochloa ruziziensis* (capim-braquiária), que apresenta resistência aos nematoides das galhas, ao nematoide de cisto e ao nematoide reniforme (FAVORETO et al., 2019).

Plantas do gênero *Crotalaria* também são muito indicadas para o controle de nematoides, compondo o sistema de rotação/sucessão (DIAS-ARIEIRA et al. 2023). As crotalárias constituem excelente opção para o manejo dos principais nematoides que causam prejuízos à agricultura brasileira. Porém, é imprescindível a correta diagnose da espécie de nematoide presente na lavoura para a escolha da espécie de crotalária que será cultivada para essa finalidade, pois existe muita variação na resposta dessas plantas aos diferentes nematoides.

Crotalaria virgulata, *C. breviflora*, *C. paulina*, *C. mucronata*, *C. striata*, *C. spectabilis* e *C. juncea* também são relatadas como resistentes a *M. javanica* (ANTÔNIO; NEUMAIER, 1986; SANTOS; RUANO, 1987; INOMOTO et al., 2006). Já no caso de *C. juncea*, há indícios de que propicia o aumento populacional de *M. incognita* e *P. brachyurus* e de que é menos eficiente na supressão de *M. javanica* que as outras crotalárias estudadas (INOMOTO; ASMUS, 2014).

As espécies *C. paulina*, *C. spectabilis*, *C. juncea* e *C. striata* foram relatadas por Valle et al. (1996) como resistentes à raça 3 de *H. glycines*. Para o nematoide reniforme, *R. reniformis*, as espécies *C. breviflora*, *C. virgulata*, *C. juncea*, *C. lanceolata*, *C. mucronata*, *C. paulina*, *C. retusa*, *C. spectabilis* e *C. striata* foram relatadas como resistentes no trabalho de Silva et al. (1989a). *C. mucronata*, *C. paulina*, *C. striata*, *C. lanceolata*, *C. retusa*, *C. pallida*, *C. virgulata*, *C. spectabilis*, *C. breviflora* e *C. juncea* são relatadas como resistentes a *P. brachyurus* (ENDO, 1959; SILVA et al., 1989b; INOMOTO et al., 2006; MACHADO et al., 2007; RIBEIRO et al., 2007). Entretanto, no trabalho de Machado et al. (2007), *C. ochroleuca* e *C. mucronata* permitiram a multiplicação de *P. brachyurus*, bem como também há relatos de multiplicação desse nematoide em *C. juncea* (MACHADO et al., 2007; RIBEIRO et al., 2007).

2.6.3 Controle químico

Os nematicidas químicos são uma opção interessante para o manejo de nematoides principalmente em extensas áreas. Os ingredientes ativos possuem diferentes modos de ação, além de custos variáveis, e podem ser aplicados via tratamento de sementes ou diretamente no sulco de plantio (MACHADO, 2021).

Além de ocasionar a morte dos nematoides, a maioria dos nematicidas químicos exerce um efeito protetor sobre as raízes das plantas que auxilia na redução da penetração dos nematoides durante o período residual do produto, variável conforme o ingrediente ativo e as condições edafoclimáticas (GARDIANO-LINK et al., 2022).

De acordo com a movimentação no solo, os nematicidas são classificados em fumigantes e não fumigantes. Os fumigantes são os pioneiros, possuem formulações líquidas e vaporizam, locomovendo-se no solo em profundidade, quando em contato com o ar. Possuem um amplo espectro de ação, agindo sobre nematoides, fungos, bactérias, entre outros organismos do solo, inclusive benéficos. Um dos principais desta categoria é o brometo de metila, muito utilizado no tratamento de solo por vários anos. Porém, foi retirado do mercado em função da elevada toxidez, altos custos e dificuldades na aplicação. Os nematicidas não fumigantes são considerados menos tóxicos e com menor espectro de ação que os fumigantes, podendo ser encontrados em formulações granuladas ou líquidas, classificados em organofosforados e carbamatos (MACHADO, 2016; MACHADO, 2021).

No Brasil, os princípios ativos mais recentes registrados para o controle de fitonematoides na cultura da soja são: cadusafós, terbufós, tiodicarbe, fluazinam + tiofanato metílico, imidacloprido + tiodicarbe, abamectina, fluensulfone, fluazaindolizine, fluopiram e ciclobutrifluram (AGROFIT, 2025).

Fluopiram é um produto sistêmico, pertencente ao grupo químico benzamida piramida, registrado no MAPA para o controle do nematoide das lesões radiculares e nematoide das galhas nas culturas de soja, algodão e milho (AGROFIT, 2025). O mecanismo de ação do fluopiram envolve a inibição da respiração mitocondrial e interrompe o complexo II da cadeia de transporte de elétrons, também chamado de complexo succinato-desidrogenase. Isto resulta no bloqueio da produção de ATP (energia), o que leva à intensa diminuição da energia celular do nematoide,

além da formação de várias moléculas intermediárias prejudiciais à célula pelo seu caráter tóxico (OKA; SAROYA, 2019).

Em experimento conduzido por Oka e Saroya (2019), *M. incognita* e *M. javanica* demonstraram sensibilidade ao ingrediente ativo, com redução em sua mobilidade e atraso na infecção, demonstrando efeito nematostático do produto. Fluopiram também apresentou efeito negativo na mobilidade de *M. incognita* e foi efetivo para inibir a infecção de raízes de tomate, conforme verificado por Faske e Hurd (2015).

2.6.4 Controle biológico

O controle biológico envolve o uso de microrganismos antagonistas capazes de interferir no desenvolvimento dos nematoides e assim reduzir os impactos negativos ocasionados por eles (MIAMOTO et al., 2017).

É um dos métodos em ascensão nos últimos anos, principalmente pelo caráter sustentável. Outra vantagem é que os agentes de biocontrole envolvidos geralmente possuem ação sobre várias espécies de nematoides, importante quando se tem populações mistas na área (FAVORETO et al., 2019).

Os bionematicidas registrados no Brasil possuem como agentes biológicos as bactérias do gênero *Bacillus* (*B. amyloliquefaciens*, *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. firmus*, *B. velezensis* e *B. methylotrophicus*) e *Pasteuria nishizawae*; e os fungos *Purpureocillium* (= *Paecilomyces*) *lilacinum*, *Pochonia chlamydosporia* e *Trichoderma harzianum* (AGROFIT, 2025).

Esses microrganismos podem afetar o desenvolvimento dos nematoides por diferentes modos de ação, como parasitismo, produção de toxinas, competição por nutrientes, indução de resistência na planta, formação de barreira protetora nas raízes, entre outros, variável conforme a espécie antagonista (CHINHEYA; YOBO; LAING, 2017; MACHADO, 2022; XIONG et al., 2015).

Em se tratando de *Bacillus* spp., estão presentes em quase 60% dos bionematicidas comerciais registrados no Brasil (MACHADO, 2022). A importância se dá pelo espectro de controle e por apresentar múltiplas formas de ação. Na rizosfera, formam uma barreira físico-química nas raízes (biofilme), composta por metabólitos e células bacterianas, o que evita a penetração dos nematoides (HASHEM et al., 2019).

Algumas espécies são capazes de produzir metabólitos tóxicos aos nematoides (KAVITHA et al., 2012). Além disso, a alteração na composição dos exsudatos radiculares interfere no processo de reconhecimento pelos nematoides (HU et al., 2017).

Bacillus spp. são consideradas rizobactérias promotoras de crescimento de plantas por induzir a produção de fitormônios que auxiliam no desenvolvimento das plantas colonizadas e muitos isolados do gênero são capazes de ativar os mecanismos de defesa natural das plantas, sendo considerados indutores de resistência (FAVORETO et al., 2019).

Muitos estudos têm demonstrado a eficiência de *Bacillus* spp. no controle de diferentes espécies de nematoides. Ao avaliar produtos alternativos para o controle de *M. javanica* em soja, Miamoto et al. (2017) verificaram que os melhores tratamentos foram com *Bacillus* e *Trichoderma*. O experimento de Xiong et al. (2015) demonstrou que *B. firmus* apresentou atividade nematocida contra *M. incognita*, provocando inibição da eclosão dos ovos, da mobilidade, além de morte dos nematoides. Já Chinheya, Yobo e Laing (2017) observaram redução das galhas e do número de ovos de *M. javanica*, quando houve o tratamento de sementes de soja com *Bacillus* spp.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os experimentos foram conduzidos a campo na estação experimental Agronema, localizada na cidade de Grandes Rios, estado do Paraná, sob a latitude de 24°11'16" S, longitude de 51°24'13" O e altitude de 738 metros. O experimento 01 foi conduzido pelo período de dezembro de 2023 a abril de 2024. O experimento 02 foi conduzido durante os meses de janeiro a maio de 2024.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados com 18 tratamentos e 04 blocos, sendo cada parcela com um metro de comprimento, constituída por dez plantas de soja, em esquema fatorial 3 x 6 (Tabela 1).

Tabela 1. Tratamentos utilizados para o manejo de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja sob densidades crescentes de infestação.

TRATAMENTO	NEMATICIDA*	DENSIDADE INFESTAÇÃO**
1	Ilevo®	0
2	Ilevo®	100
3	Ilevo®	300
4	Ilevo®	900
5	Ilevo®	2700
6	Ilevo®	8100
7	Votivo Prime®	0
8	Votivo Prime®	100
9	Votivo Prime®	300
10	Votivo Prime®	900
11	Votivo Prime®	2700
12	Votivo Prime®	8100
13	-	0
14	-	100
15	-	300
16	-	900
17	-	2700
18	-	8100

* *Votivo Prime*® - *Bacillus firmus* cepa I-1582, registrado no Ministério da Agricultura e Pecuária - MAPA sob nº 32717. *Ilevo*® - fluopiram, registrado no MAPA sob nº 32819. Ambos aplicados no tratamento de sementes na dose comercial de 100 mL 100 kg⁻¹ de sementes.

** número de ovos e/ou juvenis por planta.

O primeiro fator foi composto pela aplicação dos nematicidas, sendo um microbiológico, *Votivo Prime*® - *Bacillus firmus* cepa I-1582 (mínimo de 4,8 x 10⁹ UFC mL⁻¹) 240 g L⁻¹ - na dose comercial de 100 mL 100 kg⁻¹ de sementes; um químico, *Ilevo*® - fluopiram (600 g L⁻¹) na dose comercial de 100 mL 100 kg⁻¹ de sementes e

ausência de aplicação. O segundo fator foram as densidades de infestação do patógeno, sendo 0; 100, 300, 900, 2700 e 8100 ovos e/ou juvenis de *M. javanica* por planta.

3.2 SEMEADURA

Foi utilizada a cultivar de soja M6410 IPRO, tolerante a glifosato, adquirida de Sementes Mauá, lote 6410S1-12, com peneira 5,5 mm, safra 22/23, considerada suscetível a *M. javanica*. O tratamento das sementes com os produtos testados (Votivo® ou llevo®) foi realizado de forma manual e, para uma adequada distribuição do produto na semente, foi adicionado água até completar o volume de calda de 500 mL 100 Kg⁻¹ de sementes. Ressalta-se que, para todos os tratamentos, as sementes foram tratadas com o fungicida Dynasty® na dose comercial de 200 mL 100 kg⁻¹ de sementes.

A semeadura ocorreu em copos plásticos de 300 ml (1 semente por vaso), contendo solo livre de nematoides (76% de areia, 2% de silte e 22% de argila). Houve adubação com 3 g do fertilizante mineral misto de liberação lenta Osmocote Plus (15-9-12+ 1%Mg + 2,3% S + 0,05% Cu + 0,45% Fe + 0,06% Mn + 0,02% Mo) por planta.

Os vasos foram mantidos em casa de vegetação com sistema de controle de temperatura (28-32°C) até o momento do transplantio para o campo. Diariamente, as plantas foram irrigadas na capacidade de campo, quantas vezes fossem necessárias.

3.3 OBTENÇÃO DO INÓCULO E INOCULAÇÃO

Populações de *M. javanica* estão sendo mantidas em casa de vegetação na estação experimental da Agronema, em Grandes Rios - PR, multiplicadas em seus hospedeiros preferenciais (soja ou tomateiro). O inóculo foi obtido por meio da trituração de raízes de soja em liquidificador (BONETI; FERRAZ, 1981), resultando em suspensão aquosa contendo ovos e juvenis do nematoide. Esses foram quantificados em microscópio de luz, com auxílio de câmara de Peters, sendo a suspensão calibrada para cada concentração de inóculo utilizada

(MACHADO; SILVA; FERRAZ, 2019).

A inoculação dos nematoides foi realizada aos 7 DAS (dias após a semeadura) pela pipetagem das suspensões contendo 100, 300, 900, 2700 e 8100 ovos e/ou juvenis de *M. javanica* diretamente no colo das plântulas.

3.4 TRANSPLANTIO PARA O CAMPO

As plântulas de soja foram transplantadas para o campo aos 7 DAI (dias após a inoculação), correspondendo aos 14 DAS. O transplântio foi realizado manualmente. Foram abertos sulcos no solo com auxílio de enxada e as plantas foram distribuídas ao longo das linhas, com densidade de dez plantas por metro linear (Figura 2). Houve adubação com 3 g do fertilizante mineral misto de liberação lenta Osmocote Plus (15-9-12+ 1%Mg + 2,3% S + 0,05% Cu + 0,45% Fe + 0,06% Mn + 0,02% Mo) por planta.



Figura 2. Demonstração do transplântio para o campo aos 14 DAS (dias após a semeadura).

Após o transplântio, as plântulas foram irrigadas com auxílio de um regador, encharcando-se o solo no entorno de cada planta. Em seguida, depositou-se cobertura vegetal seca de capim braquiária no solo das entrelinhas para manutenção da umidade (Figura 3).

O espaçamento utilizado foi de 50 centímetros (cm) entrelinhas e cada parcela continha dez plantas distribuídas em um metro linear. Cada linha de cultivo possuía 12 metros de comprimento e correspondia a uma densidade de infestação (0, 100, 300, 900, 2700 e 8100), portanto, seis linhas da cultura contendo as quatro repetições de cada tratamento (testemunha, Votivo Prime e Ileva). As linhas foram

distribuídas perpendicularmente ao declive do terreno em ordem crescente de infestação, sendo que a testemunha permaneceu na área de maior altitude.



Figura 3. Demonstração da disposição das plantas de soja nas linhas de cultivo após a realização do transplântio para o campo aos 14 DAS (dias após a semeadura).

3.5 TRATOS CULTURAIS

As plantas foram irrigadas por sistema de gotejamento. Durante 15 dias após o transplântio, o sistema de irrigação foi ligado 2 vezes ao dia por 15 minutos. Após esse período, a frequência aumentou para 3 vezes ao dia, pelo mesmo tempo até o final do ciclo da cultura.

Para o manejo de doenças, foram realizadas duas aplicações do fungicida Mitrion® na dose de 500 mL ha⁻¹ (volume de calda de 200 L ha⁻¹), duas aplicações do fungicida Bravonil® na dose de 1500 mL ha⁻¹ (volume de calda de 150 L ha⁻¹) e uma aplicação do fungicida Alade® na dose de 500 mL ha⁻¹ (volume de calda de 200 L ha⁻¹). Para o manejo de pragas, foram realizadas uma aplicação do inseticida Minecto Pro® e uma aplicação do inseticida Spavieiro®, ambos na dose de 500 mL ha⁻¹ (volume de calda de 100 L ha⁻¹).

As condições meteorológicas durante o período de execução dos experimentos encontram-se no Anexo I.

3.6 AVALIAÇÕES

Análises agronômicas e nematológicas foram realizadas em duas épocas durante o ciclo da cultura.

A primeira avaliação ocorreu aos 63 e 62 DAI, nos experimentos 1 e 2, respectivamente, com as plantas no estágio fenológico R3. A segunda avaliação ocorreu aos 119 e 103 DAI, na ocasião da colheita, com as plantas no estágio fenológico R7.

3.6.1 Primeira avaliação

Cinco plantas de cada parcela foram avaliadas quanto às seguintes variáveis: massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca das raízes (MFR) e análises nematológicas.

Para as avaliações, a parte aérea das plantas foi cortada no colo, pesada em balança semi-analítica para obtenção da MFPA, em seguida, foi seca até peso constante para obtenção da MSPA.

Com auxílio de uma cavadeira articulada, o sistema radicular de cada planta foi coletado e as raízes foram separadas do solo em balde contendo 6 litros de água limpa. Posteriormente, foram pesadas para obtenção da MFR e processadas pelo método de trituração - peneiramento (BONETI; FERRAZ, 1981), para contagem da população final (PF) de *M. javanica* em microscópio óptico com auxílio de câmara de Peters. Foi realizado o cálculo do número de nematoides por grama de raízes (NNGR) e do fator de reprodução do nematoide ($FR = \text{População final} / \text{população inicial inoculada}$), como proposto por Oostenbrink (1966).

3.6.2 Segunda avaliação

As cinco plantas restantes de cada parcela foram colhidas manualmente e colocadas para secar à sombra até a obtenção de peso constante. Após secas, as vagens foram debulhadas de forma manual e os grãos pesados em balança semi-analítica, sendo os valores de produtividade estimados para sacas por hectare.

Também foram realizadas análises nematológicas para a obtenção da população final de *M. javanica*. As raízes foram coletadas, pesadas (MFR) e processadas conforme descrito no item 3.6.1.

3.6.3 Avaliação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI

Para análise do vigor das plantas, foram realizadas avaliações do índice vegetativo NDVI utilizando o GreenSeeker® portátil da marca Trimble. O equipamento mensura a luz refletida pelas plantas, expresso pelo índice NDVI, que varia de 0,00 a 0,99. A intensidade da luz detectada é um indicador direto do vigor da planta. Foram realizadas duas leituras por parcela, posicionando o aparelho a uma altura média de 0,60 m do topo das plantas, que se encontravam no estádio R2.

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa R 4.4.0 Core Team (2024), pacotes 'doBy' (HOJSGAARD; HALEKOH, 2016), 'latticeExtra' (SARKAR; ANDREWS, 2016), 'wzRfun' (ZEVIANI, 2015), MASS (VENABLES, 2002), hnp (MORAL et al., 2016), nlme (PINHEIRO; BATES, 2023), ggplot2 (WICHAM, 2016), reshape2 (WICKHAM, 2007).

3.7.1 Análise estatística do NDVI

Para a variável do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI foi realizada a análise fatorial considerando os dois ensaios como fator, além dos produtos e das densidades de inóculo (2x3x6). A Análise de variância (ANOVA) foi realizada considerando esquema fatorial com os três fatores fixos. Para a verificação do atendimento dos pressupostos do modelo optou-se pelo uso do envelope simulado (*half normal plot*).

Após a verificação da significância para os fatores e/ou interações na ANOVA, foi encaminhado o ajuste por modelo de regressão não linear reparametrizada para a variável resposta.

3.7.2 Análise estatística das variáveis nematológicas, desenvolvimento vegetativo e produtividade

Quando possível, as variáveis dos dois experimentos foram analisadas em conjunto, a fim de facilitar a interpretação do modelo de ajuste e do comportamento observado. Nos casos em que a alta variabilidade dos dados impossibilitou a análise conjunta, cada experimento foi avaliado separadamente para a variável de interesse.

Para descrever o comportamento das variáveis resposta, foram utilizados modelos estatísticos do tipo GLM (Modelo Linear Generalizado) e GLMM (Modelo Linear Generalizado Misto), adotando-se a família de distribuição adequada a cada conjunto de variáveis. Quando necessário, a variável preditora ou a variável resposta foi transformada para o ajuste do modelo.

Para significância do fator analisado foi considerado o valor t sempre igual ou maior que 2,10 em todas as variáveis analisadas, correspondendo a 5% na tabela de valor *P value*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA

Os resultados do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) estão apresentados na Tabela 2. Não houve efeito significativo para o fator “produto”, nem interação entre os fatores avaliados. Assim, optou-se pela utilização de um modelo reduzido, excluindo esse fator. A ANOVA do modelo reduzido revelou efeito significativo para o fator experimento. A partir da observação gráfica da variável resposta (Figura 4A), diferentes modelos de ajuste foram testados. Após o ajuste inicial, realizou-se a análise da sobreposição dos intervalos de confiança para os parâmetros do modelo. Como houve sobreposição (Figura 5), procedeu-se ao ajuste final considerando a análise conjunta dos dois ensaios.

Tabela 2. Médias referentes à variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) das plantas de soja sob densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas.

Experimento 1							
Tratamento	Densidade de infestação*						Média
	0	100	300	900	2700	8100	
Testemunha	0,65	0,62	0,66	0,62	0,52	0,40	0,58
Ilevo	0,57	0,64	0,58	0,53	0,52	0,47	0,55
Votivo Prime	0,63	0,64	0,60	0,60	0,45	0,38	0,55
Média	0,62	0,63	0,61	0,58	0,50	0,42	

Experimento 2							
Tratamento	Densidade de infestação*						Média
	0	100	300	900	2700	8100	
Testemunha	0,57	0,53	0,54	0,49	0,52	0,41	0,51
Ilevo	0,52	0,53	0,50	0,48	0,48	0,37	0,48
Votivo Prime	0,57	0,57	0,53	0,51	0,47	0,39	0,50
Média	0,55	0,54	0,52	0,49	0,49	0,39	

*número de ovos e/ou juvenis de *Meloidogyne javanica* inoculados por planta. Dados descritivos.

O modelo final ajustado foi o cúbico incompleto: $y = \beta_0 + \beta_1(x - x_i)^3$. Os parâmetros estimados foram: $\hat{\beta}_0 = 0,4915112$, com intervalos de confiança (I.C.) de 0,4461181 (2,5%) e 0,5369043 (97,5%); $\hat{\beta}_1 = -1,393586^{-12}$, com I.C. de $-1,778377^{-12}$ (2,5%) e $-1,008795^{-12}$ (97,5%); $\hat{x}_i = 4160,708$, com I.C. de 3344,013 (2,5%) e 4977,403 (97,5%).

A curva ajustada representa adequadamente o comportamento da

variável resposta nos dois ensaios (Figura 4B). Os resultados mostram tendência semelhante entre os experimentos, com redução dos valores de NDVI à medida que aumenta a densidade de *M. javanica*, sendo o declínio mais acentuado acima de aproximadamente 4.160 nematoides inoculados por planta.

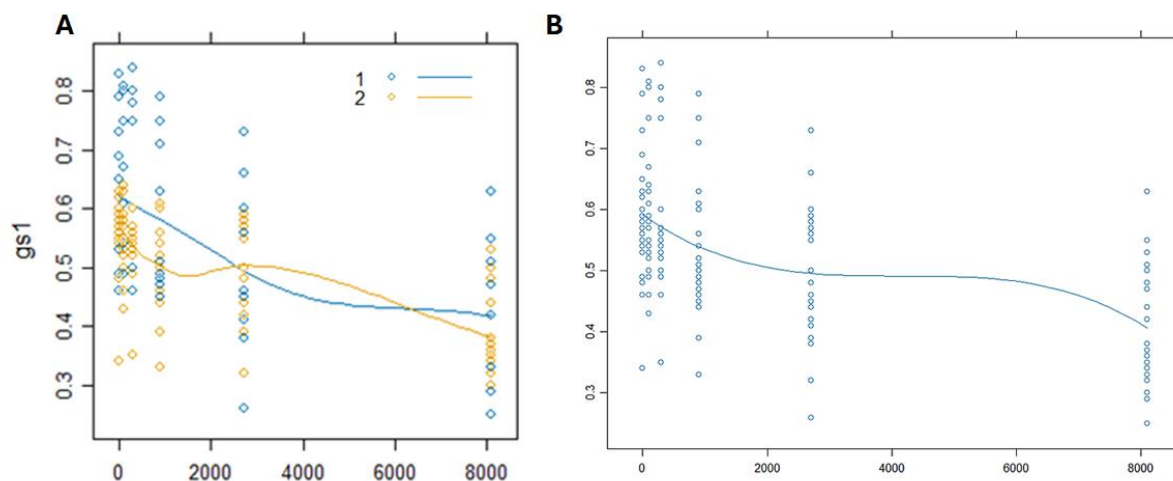


Figura 4. Comportamento da variável Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em função das densidades crescentes de infestação de *Meloidogyne javanica* para os experimentos 1 e 2, separadamente (A), ou pela análise conjunta dos experimentos 1 e 2, ajustado por Modelo de Regressão não-linear reparametrizada (cúbico incompleto) (B).

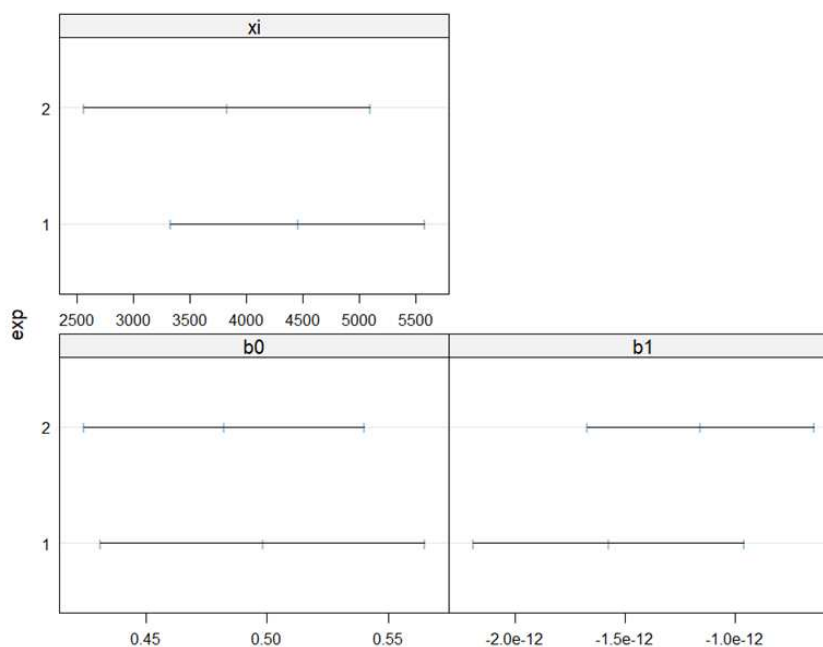


Figura 5. Intervalo de confiança para os parâmetros β_0 , β_1 e ξ do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para verificação da sobreposição dos parâmetros do modelo, considerando os experimentos 1 e 2.

O NDVI expressa o estado fisiológico das plantas com base na

relação entre a absorção de luz vermelha (RED) e a reflexão de luz infravermelha próxima (NIR). Em plantas saudáveis, com elevado teor de clorofila e maior biomassa aérea, há maior absorção de luz vermelha e maior reflexão de infravermelho, resultando em valores mais altos de NDVI. Em plantas estressadas, ocorre o inverso: maior reflexão de luz vermelha, menor reflexão de infravermelho e consequente redução do índice (ALCALDE et al., 2022).

Os danos causados por *M. javanica* ao sistema radicular prejudicam a absorção e translocação de água e nutrientes, afetando diretamente o desenvolvimento fisiológico da planta (HUSSEY; WILLIAMSON, 1998). Essa limitação reduz o acúmulo de clorofila e a área foliar, fatores que diminuem a refletância do dossel e, portanto, os valores do NDVI (Figura 3B).

Estudos clássicos já demonstravam correlação negativa entre a densidade inicial do nematoide e características como altura, massa da parte aérea, massa das raízes e área foliar (SHARMA; RODRÍGUEZ, 1982; CARNEIRO et al., 1999; DI VITO et al. 1996). No presente estudo, reduções na massa fresca (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA) foram observadas em ambos os experimentos (Anexo II), reforçando que a queda no NDVI acompanha a perda de vigor e de crescimento vegetativo causada pelo parasitismo. A dificuldade em relacionar intensidade de doença e produtividade está, frequentemente, na desconsideração da área foliar sadia fotossintetizante – principal determinante da produção (WAGGONER; BERGER, 1987). Estudos posteriores mostraram que perdas de produtividade estão mais fortemente associadas à redução da eficiência fotossintética do que a variáveis restritas à quantificação da doença (BERGAMIN FILHO et al., 1997; BIANCHINI et al., 1998).

Ainda são poucos os estudos que analisam diretamente o impacto de nematoides sobre a taxa fotossintética. Redução da fotossíntese em plantas de soja parasitadas por *M. javanica* já foi relatada, porém apenas em densidades elevadas, acima de 30.000 ovos por planta (ASMUS; FERRAZ, 2001). Os autores também observaram redução expressiva no índice de área foliar a partir de 3.600 ovos por planta. Tais efeitos parecem estar relacionados ao grande tamanho das fêmeas de nematoides das galhas, ao alto conteúdo proteico de seus corpos, à elevada capacidade de postura e às intensas alterações morfofisiológicas provocadas nas raízes, que comprometem a expansão e manutenção das folhas (ASMUS; FERRAZ, 2001).

Os resultados obtidos neste trabalho estão de acordo com aqueles reportados por Martins; Galo; Vieira (2017), que observaram reduções no NDVI em cafeeiros severamente infestados por nematoide das galhas. De maneira semelhante, Jjagwe; Chandel; Langston (2024) demonstraram forte correlação entre NDVI, densidade de *Heterodera glycines* e produtividade da soja, evidenciando o potencial do índice como ferramenta diagnóstica para monitoramento de estresses bióticos. Alguns autores sugerem que a redução na taxa fotossintética em soja parasitada por *H. glycines* está relacionada à deficiência de nitrogênio decorrente da baixa nodulação (KOENNING; BARKER, 1995).

A redução do NDVI observada com o aumento da densidade inicial de nematoides também foi registrada em trigo infectado por *Pratylenchus thornei* (ROBINSON; SHEEDY; THOMPSON, 2024). Nessas condições, genótipos intolerantes apresentaram NDVI significativamente mais baixo em altas populações do patógeno, refletindo menor vigor do dossel e redução do potencial produtivo. Os autores destacam, ainda, o uso do NDVI como ferramenta eficiente para identificação precoce de genótipos tolerantes sem a necessidade de avaliações destrutivas.

O diagnóstico de nematoides e a quantificação de danos em extensas áreas de soja são processos onerosos e, frequentemente, pouco práticos. Isso ocorre porque dependem de análises laboratoriais e de métodos destrutivos, que envolvem amostragens de solo e raízes distribuídas ao longo de toda a área, demandando tempo, infraestrutura e elevado custo operacional (SANTOS et al., 2022). Nesse contexto, métodos não destrutivos que permitam avaliação detalhada e detecção precoce do parasitismo são essenciais para apoiar a tomada de decisão sobre estratégias de manejo (HAMDANE, 2023).

O uso do NDVI – uma tecnologia baseada na refletância do dossel como indicador de vigor, sanidade, estado nutricional e potencial produtivo - aliado a ferramentas de inteligência artificial, pode auxiliar no diagnóstico precoce da presença de nematoides, especialmente em áreas onde os sintomas não são facilmente perceptíveis (SIMKO et al., 2017).

No cerrado brasileiro, produtores observam com maior facilidade os sintomas típicos do ataque, caracterizados por reboleiras de plantas menores e cloróticas (SILVA et al., 2020). Em contrapartida, na região Sul, com solos mais ricos em argila e matéria orgânica, as plantas frequentemente toleram melhor o parasitismo, mesmo em densidades mais elevadas (ARAUJO; MACHADO; DIAS-ARIEIRA, 2023).

Nesses ambientes, os sintomas aéreos de subdesenvolvimento e amarelecimento são raros (Figura 6), como também observado nos dois experimentos deste estudo. Isso pode mascarar o dano causado pelo patógeno, impactar a produtividade e limitar o teto produtivo. Assim, ferramentas como o NDVI tornam-se valiosas para detecção precoce e monitoramento dos danos.

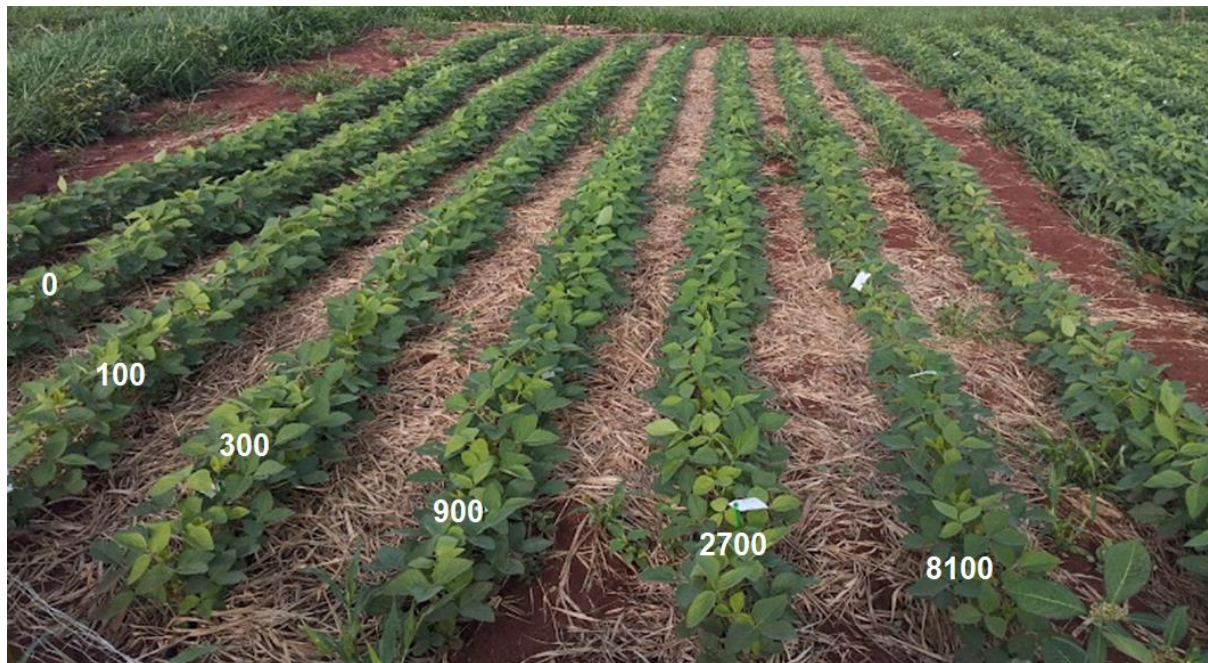


Figura 6. Desenvolvimento vegetativo das plantas de soja inoculadas com *Meloidogyne javanica* (0, 100, 300, 900, 2700 e 8100 ovos e/ou juvenis por planta) aos 40 dias após o transplante. Experimento 2.

4.2 VARIÁVEIS VEGETATIVAS E NEMATOLÓGICAS

As variáveis massa fresca de raiz (MFR), massa fresca de parte aérea (MFPA), massa seca de parte aérea (MSPA), população final (PF) e número de nematoides por grama de raiz (NNGR) foram mensuradas neste estudo, porém não integraram as discussões principais. Embora reduções significativas na produção de biomassa aérea em soja parasitada por *M. javanica* já tenham sido amplamente relatadas (ASMUS; FERRAZ, 2001; SHARMA; RODRÍGUEZ, 1982), o efeito significativo do fator “experimento” observado neste trabalho indicou que tais variáveis não seriam as mais adequadas para explicar o impacto do parasitismo. Fatores relacionados à época de condução – como o fato de o Experimento 1 ter sido realizado em um período mais quente, com temperaturas elevadas – ou a outras condições específicas podem ter contribuído para a falta de correspondência entre os dados dos

dois experimentos, impossibilitando uma discussão integrada, apesar do claro efeito do nematoide sobre essas variáveis.

No caso específico da variável massa fresca de raízes, essa limitação é ainda mais evidente. Por se tratar de um nematoide formador de galhas, não se espera uma correlação linear entre a densidade populacional do patógeno, a massa de raízes e a produtividade. Em baixas densidades, é comum haver aumento da massa fresca devido à formação de galhas e ao surgimento de raízes secundárias (Figuras 7 e 8); porém, com o incremento populacional, a redução da área foliar fotossintetizante - identificada pela análise de NDVI – diminui a produção de fotoassimilados, levando à redução da massa fresca de raízes e, consequentemente, dos sítios de alimentação para o nematoide (CARNEIRO et al., 1999; ASMUS; FERRAZ, 2001; GRECO; DI VITO, 2009) (Anexo II). Assim, essa variável não é adequada para explicar diretamente o impacto de *Meloidogyne* spp. sobre as plantas.

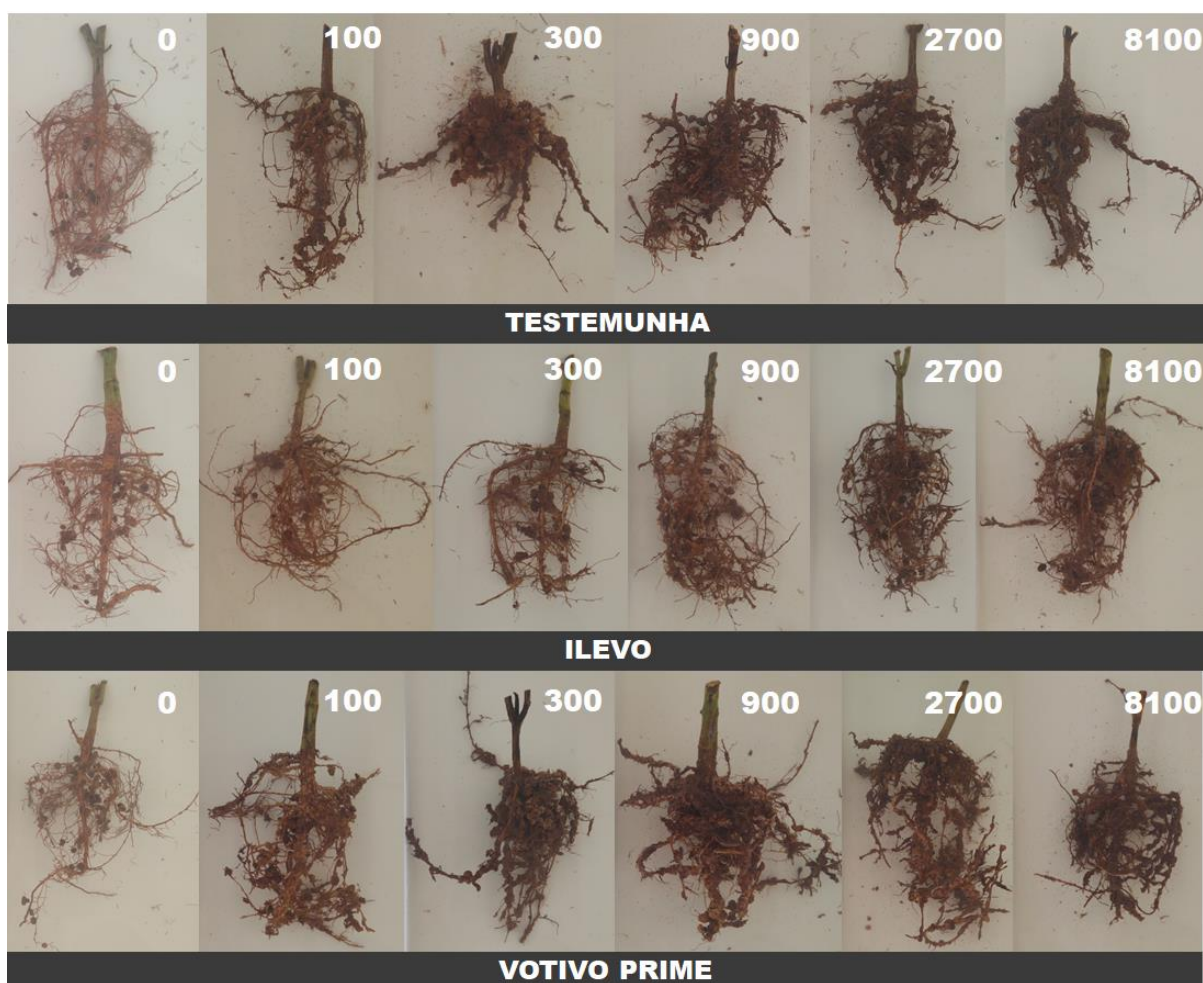


Figura 7. Visual das raízes de soja inoculadas com *Meloidogyne javanica* (0, 100, 300, 900, 2700 e 8100 ovos e/ou juvenis por planta), evidenciando a formação de galhas nos diferentes tratamentos. Segunda avaliação do Experimento 1.

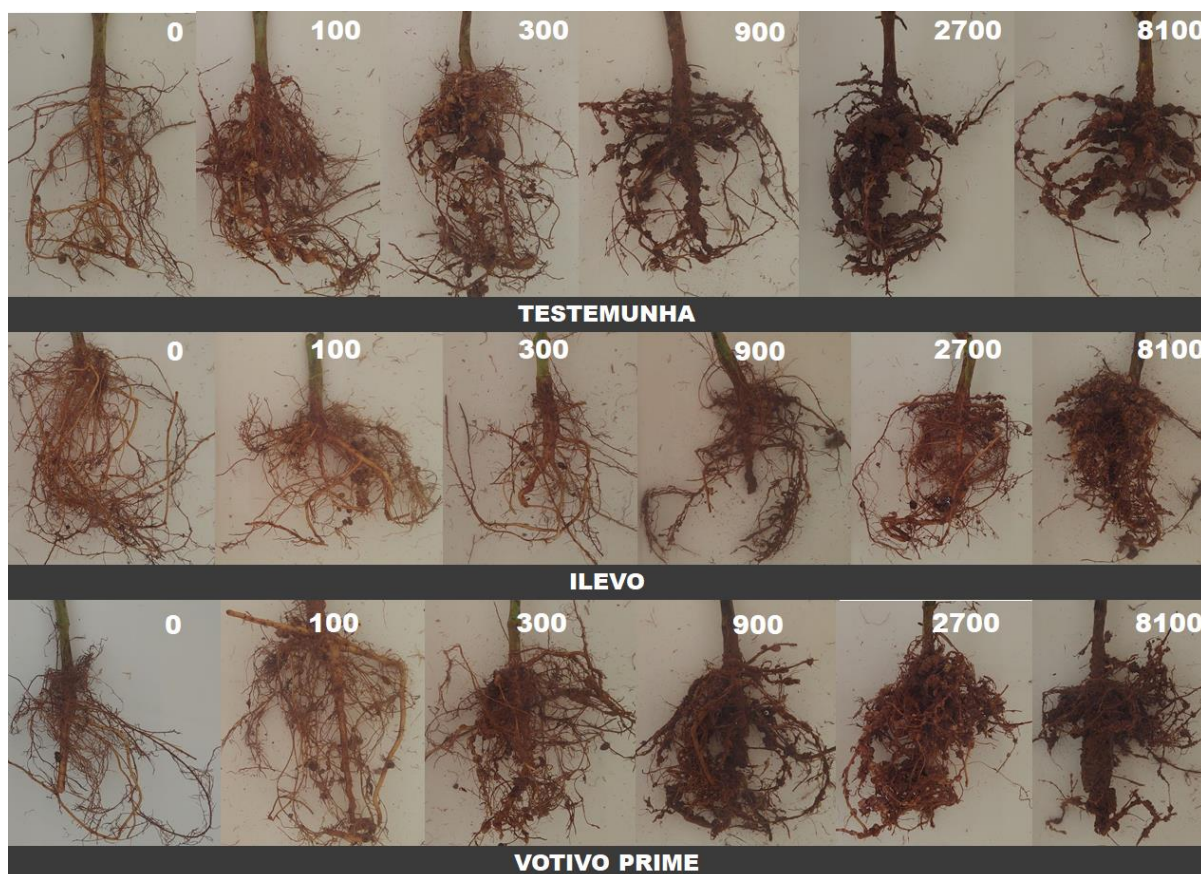


Figura 8. Visual das raízes de soja inoculadas com *Meloidogyne javanica* (0, 100, 300, 900, 2700 e 8100 ovos e/ou juvenis por planta), evidenciando a formação de galhas nos diferentes tratamentos. Segunda avaliação do Experimento 2.

Foi realizada análise de variância (ANOVA) em delineamento de blocos casualizados (DBC), considerando os fatores “experimento”, “produto” e “densidade de inóculo” para cada variável. Como houve efeito significativo do fator “experimento”, as análises foram conduzidas separadamente para MFR, MFPA, MSPA, PF e NNGR, cujos resultados estão apresentados no Anexo II.

O modelo base utilizado foi o modelo linear (LM). Quando da ausência de atendimento aos pressupostos do modelo linear e da ineficiência das transformações de dados em corrigir os desvios dos pressupostos, optou-se pelo ajuste dos dados por meio dos modelos GLM (Modelo Linear Generalizado) ou GLMM (Modelo Linear Generalizado Misto).

Foram considerados como efeitos fixos os fatores “produto” e “densidade de inóculo”, sendo esta última transformada por $\text{densidade}^{0,3}$ quando necessário para melhorar a escala da variável e favorecer a convergência dos modelos. O fator “bloco” foi incluído como efeito aleatório, representando a

variabilidade inerente à estrutura experimental.

Diferentes distribuições de probabilidade — gaussiana, Poisson e binomial negativa — foram testadas, e a escolha dos modelos baseou-se no Critério de Informação de Akaike (AIC). Após o ajuste, os parâmetros foram estimados pelo método *Restricted Maximum Likelihood* (REML), e foram extraídos valores interpretativos tanto para efeitos fixos quanto para efeitos aleatórios.

Para MFR, no Experimento 1, a primeira avaliação foi ajustada por GLM e a segunda por GLMM; no Experimento 2, utilizou-se GLMM na primeira avaliação e LM na segunda. Em ambas as avaliações, aplicou-se transformação por $\log(y)$ para MFR e $\text{densidade}^{0,3}$ para a variável preditora (Anexo II).

As variáveis MFPA e MSPA foram analisadas por GLMM nos dois experimentos, com transformação $\text{densidade}^{0,3}$, por melhor representar a estrutura dos dados e incorporar o efeito aleatório das repetições (Anexo II).

Para PF, no Experimento 1, a primeira avaliação foi ajustada por GLM e a segunda por GLMM, enquanto no Experimento 2 aplicou-se GLM nas duas avaliações. Os dados foram transformados por $\log(y)$, e novamente a densidade de inóculo foi transformada por $\text{densidade}^{0,3}$ (Anexo II).

Os dados de NNGR foram analisados por GLM nas duas avaliações do Experimento 1, com transformação $\log(y)$. No Experimento 2, empregou-se GLM na primeira avaliação e GLMM na segunda, com transformação $\log(y)$ e $\text{densidade}^{0,3}$ (Anexo II).

4.3 FATOR DE REPRODUÇÃO ADAPTADO (FRA)

O fator de reprodução (FR) é definido como a razão entre a população final (PF) e a população inicial inoculada (PI), refletindo quantas vezes a população de nematoides se multiplicou ao longo do período experimental, geralmente correspondendo a um ciclo do patógeno (OOSTENBRINK, 1966). Em experimentos conduzidos em casa de vegetação, essa variável pode ser estimada de forma precisa, pois toda a população presente no sistema radicular é quantificada. Entretanto, em condições de campo, a amostragem não contempla todo o volume de raízes, impossibilitando a determinação exata da população inicial. Para refletir essa limitação e considerando que, no presente estudo, as plantas foram inoculadas em condições controladas com densidades conhecidas de *M. javanica*, a variável foi denominada

fator de reprodução adaptado (FRa).

As médias de FRa do Experimento 1 estão apresentadas na Tabela 3. Para esse experimento, utilizou-se o modelo GLMM na primeira avaliação (Tabela 4) e GLM na segunda (Tabela 5), ambos com distribuição Gaussiana, transformação $\log(y)$ da variável resposta e transformação densidade^{0,3} para a variável preditora. Na primeira avaliação do Experimento 1 (Tabela 4), o intercepto – correspondente ao FRa da testemunha na densidade 100 - foi significativo. O fator “densidade” também apresentou significância, indicando que o incremento na população inicial de *M. javanica* reduziu o FRa, com decréscimo de -0,556 para cada unidade adicionada de densidade no inóculo. O tratamento Votivo Prime não diferiu da testemunha e não apresentou interação significativa com a densidade. Em contraste, o nematicida químico Ileva promoveu redução significativa de -4,579 no FRa em comparação à testemunha na densidade inicial de 100 (FRa = 10,378), além de apresentar interação significativa com a densidade de inóculo. O comportamento do FRa nessa avaliação está ilustrado na Figura 9A.

Tabela 3. Fator de reprodução adaptado (FRa) de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja, com ou sem nematicidas, no experimento 1.

Avaliação 1							
Tratamento	Densidade de infestação*						Média
	0	100	300	900	2700	8100	
Testemunha	-	3236,22	1217,98	760,41	102,44	11,35	1065,68
Ileva	-	133,83	102,34	59,99	8,66	16,42	64,25
Votivo Prime	-	2034,78	1251,67	643,34	91,24	10,18	806,24
Média	-	1801,61	857,33	487,91	67,45	12,65	
Avaliação 2							
Tratamento	Densidade de infestação*						Média
	0	100	300	900	2700	8100	
Testemunha	-	1894,31	631,07	118,00	110,00	58,12	562,30
Ileva	-	818,94	668,74	567,21	115,23	36,99	441,42
Votivo Prime	-	3822,66	1464,34	218,41	126,36	49,86	1136,33
Média	-	2178,64	921,38	301,20	117,20	48,32	

*número de ovos e/ou juvenis de *Meloidogyne javanica* inoculados por planta. Dados descritivos.

Na segunda avaliação do Experimento 1 (Tabela 5), tanto o intercepto quanto o fator “densidade” foram significativos, com redução de -0,281 no FRa da testemunha para cada unidade acrescida de densidade. Diferentemente da primeira avaliação, os tratamentos Ileva e Votivo Prime, assim como suas interações

com a densidade, não apresentaram significância estatística. A Figura 9B mostra o comportamento do FRa nessa avaliação.

Tabela 4. Análise de Deviance do modelo GLMM* para fator de reprodução adaptado (FRa) de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja, com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 1.

Efeitos fixos				Efeitos aleatórios	
Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Bloco	Intercepto
Intercepto	10.378	0.427	24.285	I	0.384
Ilevo	-4.579	0.499	-9.169	II	0.369
Votivo	-0.345	0.499	-0.692	III	-0.215
Densidade	-0.556	0.038	-14.789	IV	-0.538
Ilevo x densidade	0.291	0.053	5.479		
Votivo x densidade	0.013	0.053	0.239		

*Variância dos efeitos aleatórios: Var(bloco) = 0.232 (SD = 0.482); Var(residual) = 0.426 (SD = 0.652).

Tabela 5. Análise de Deviance do modelo GLM* para fator de reprodução adaptado (FRa) de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja, com ou sem nematicidas, correspondente à segunda avaliação do experimento 1.

Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Pr(> t)
Intercepto	7.753	0.472	16.434	< 2e-16 ***
Ilevo	0.174	0.667	0.261	0.7952
Votivo	1.302	0.667	1.953	0.0561
Densidade	-0.281	0.050	-5.602	7.36e-07 ***
Ilevo x densidade	-0.016	0.071	-0.226	0.8222
Votivo x densidade	-0.115	0.071	-1.625	0.1099

*Parâmetro de dispersão (família Gaussiana): 0.7597. Desvio nulo: 140.111 (59 GL). Desvio residual: 41.027 (54 GL). AIC: 161.47. Número de interações de Fisher Scoring: 2

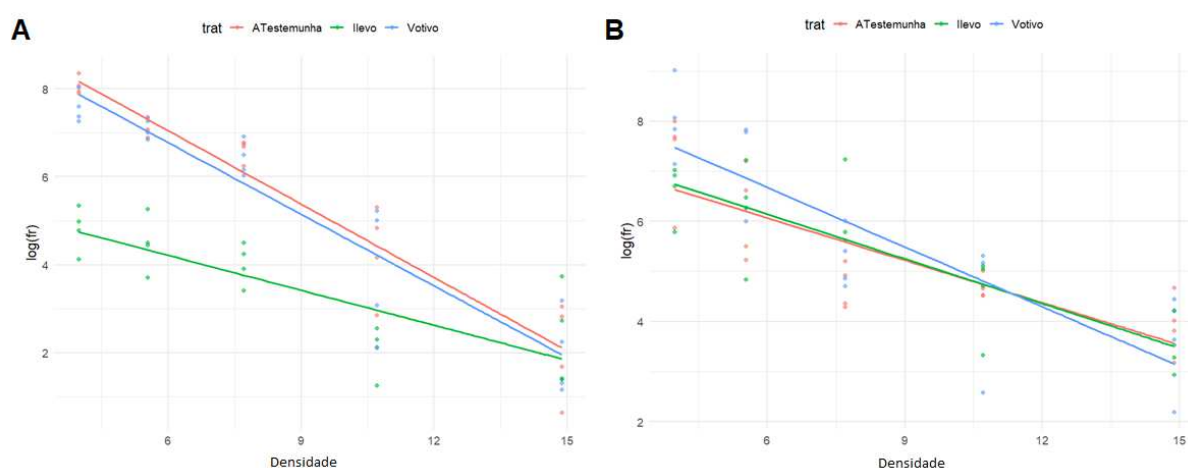


Figura 9. Comportamento da variável Fator de reprodução adaptado (FRa) de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja transformada por $\log(y)$, sob densidades crescentes de inóculo inicial ($\text{densidade}^{0,3}$). Primeira (A) e segunda (B) avaliações do experimento 1, realizadas aos 63 e 119 DAI (dias após a inoculação), considerando ajuste pelos modelos GLMM e GLM, respectivamente.

As médias de FRa do Experimento 2 encontram-se na Tabela 6. A

primeira avaliação foi analisada por GLM (Tabela 7) e a segunda por GLMM (Tabela 8), ambas com transformação $\log(y)$ e, adicionalmente, densidade^{0,3} como preditora na segunda avaliação. Na primeira avaliação do Experimento 2 (Tabela 7), houve significância tanto para o intercepto quanto para a densidade de inóculo. O tratamento llevo apresentou efeito significativo, reduzindo o FRa em -2,405 na densidade inicial de referência em relação à testemunha, além de apresentar interação significativa com a densidade. O tratamento Votivo Prime não diferiu da testemunha. A Figura 10A representa o comportamento dessa variável na primeira avaliação.

Tabela 6. Fator de reprodução adaptado (FRa) de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja, com ou sem nematicidas, no experimento 2.

Avaliação 1							
Tratamento	Densidade de infestação*						Média
	0	100	300	900	2700	8100	
Testemunha	-	472,76	871,79	538,58	170,43	54,49	421,61
llevo	-	31,16	119,23	73,48	53,22	36,00	62,62
Votivo Prime	-	397,93	866,37	516,73	239,33	79,74	420,02
Média	-	300,62	619,13	376,26	154,33	56,74	

Avaliação 2							
Tratamento	Densidade de infestação*						Média
	0	100	300	900	2700	8100	
Testemunha	-	112,52	215,25	123,83	168,09	83,59	140,65
llevo	-	155,92	42,05	43,20	66,12	42,18	69,89
Votivo Prime	-	203,85	247,45	155,41	175,06	54,69	167,29
Média	-	157,43	168,25	107,48	136,42	60,15	

*número de ovos e/ou juvenis de *Meloidogyne javanica* inoculados por planta. Dados descritivos.

Tabela 7. Análise de Deviance do modelo GLM* para fator de reprodução adaptado (FRa) de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja, com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 2.

Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Pr(> t)
Intercepto	6.415	0.169	38.029	<2e-16 ***
llevo	-2.405	0.239	-10.083	5.09e-14 ***
Votivo	-0.127	0.239	-0.532	0.597
Densidade	-0.0003225	0.0000439	-7.345	1.13e-09 ***
llevo x densidade	0.0002628	0.0000621	4.233	9.02e-05 ***
Votivo x densidade	0.0000704	0.0000621	1.133	0.262

*Parâmetro de dispersão (família Gaussiana): 0.3433. Desvio nulo: 91.802 (59 GL). Desvio residual: 18.538 (54 GL). AIC: 113.8. Número de interações de Fisher Scoring: 2

Na segunda avaliação do Experimento 2 (Tabela 8), nenhum dos tratamentos apresentou diferenças estatísticas entre si. O fator “densidade” também

não foi significativo, indicando que o aumento na população inicial não resultou em incremento no FRa. Não houve interação significativa entre os tratamentos (Ilevo ou Votivo Prime) e a densidade. A Figura 10B ilustra o comportamento do FRa nessa avaliação.

Tabela 8. Análise de Deviance do modelo GLMM* para fator de reprodução adaptado (FRa) de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja, com ou sem nematicidas, correspondente à segunda avaliação do experimento 2.

Efeitos fixos				Efeitos aleatórios	
Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Bloco	Intercepto
Intercepto	5.161	0.332	15.56	I	-0.045
Ilevo	-0.777	0.463	-1.68	II	-0.011
Votivo	0.783	0.463	1.69	III	-0.029
Densidade	-0.037	0.035	-1.07	IV	0.086
Ilevo x densidade	-0.019	0.049	-0.39		
Votivo x densidade	-0.083	0.049	-1.69		

* Variância dos efeitos aleatórios: Var(bloco) = 0.011 (SD = 0.105); Var(residual) = 0.366 (SD = 0.605).

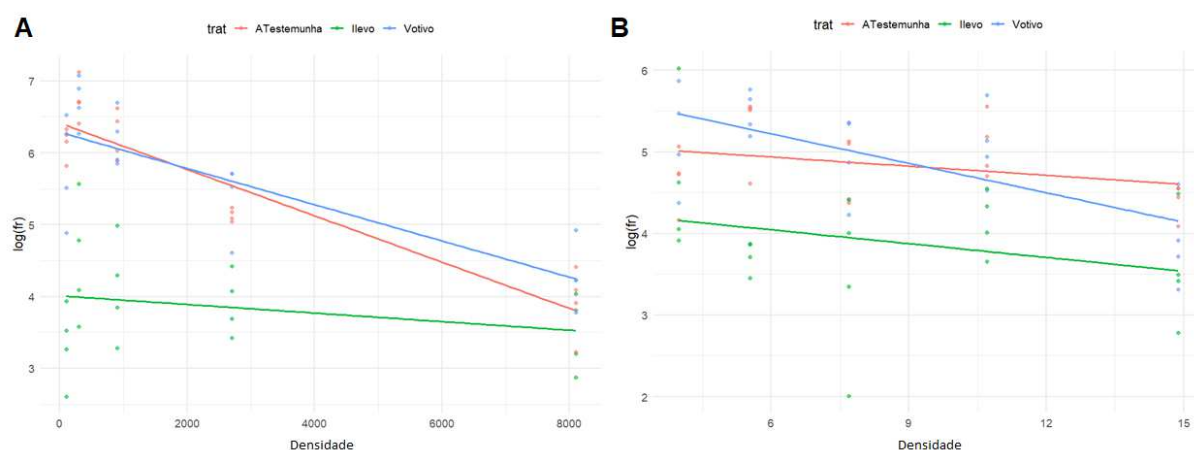


Figura 10. Comportamento da variável Fator de reprodução adaptado (FRa) de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja transformada por $\log(y)$, sob densidades crescentes de inóculo inicial (densidade^{0,3} na segunda avaliação). Primeira (A) e segunda (B) avaliações do experimento 2, realizadas aos 62 e 103 DAI (dias após a inoculação), considerando ajuste pelos modelos GLM e GLMM, respectivamente.

A multiplicação de nematoides das galhas pode ser avaliada por diversas métricas, sendo as mais comuns: fator de reprodução (FR), índice ou nota de galhas (IG), índice ou nota de massas de ovos (IMO), e o número de ovos/nematoides por volume de solo ou por grama de raiz, entre outras. Entretanto, a resistência de plantas a *Meloidogyne* spp. é, em geral, caracterizada pelo FR de cada cultivar, determinado em condições controladas de casa de vegetação (MACHADO; LAGE, 2023). No presente estudo, adotou-se o FRa para discutir a multiplicação do

nematoide nos diferentes tratamentos, por se entender que essa variável representa de forma mais adequada a dinâmica populacional ao longo período experimental.

De modo geral, observou-se declínio do FRa com o aumento da população inicial inoculada nos dois experimentos (Figuras 9 e 10). Esse comportamento pode ser atribuído à competição intraespecífica entre nematoides e à limitação de recursos radiculares (McSORLEY, 1998; GRECO; DI VITO, 2009), fenômeno já relatado em interações de soja com *M. javanica* (SHARMA; RODRÍGUEZ, 1982; ASMUS; FERRAZ, 2001) e *M. incognita* (WINDHAM; BARKER, 1986).

Na primeira avaliação, realizada no estágio fenológico R3, o tratamento com o nematicida Ileva promoveu redução significativa do FRa, diferindo da testemunha e do tratamento com Votivo Prime, que apresentaram valores semelhantes (Figuras 9A e 10A, respectivamente). A redução na multiplicação do nematoide foi também percebida na intensidade dos sintomas de galhas radiculares (Figuras 7 e 8). Considerando a eficiência relativa ao controle populacional em comparação à testemunha, Ileva apresentou eficácia de 95,8% no Experimento 1 e de 93,4% no Experimento 2, ambos calculados na densidade inicial de 100 (intercepto).

Na segunda avaliação, conduzida na colheita (R7), os resultados não evidenciaram efeito consistente dos tratamentos nematicidas em nenhum dos experimentos (Figuras 9B e 10B). As análises estatísticas (Tabelas 5 e 8) não indicaram diferenças significativas entre os produtos, sugerindo que o efeito dos nematicidas havia sido reduzido nesse estágio avançado do ciclo da cultura. Esse comportamento fica particularmente evidente na testemunha, que reflete apenas a multiplicação natural do nematoide ao longo do tempo. Asmus e Ferraz (2001) observaram crescimento populacional exponencial de *M. javanica* em soja em densidades inferiores a 3.000 ovos por planta, aos 48 dias após a inoculação, período no qual o nematoide completou apenas uma geração. Nessa fase, com valores de FR se aproximam mais da concepção original proposta por Oostenbrink (1966). Entretanto, com o avançar do ciclo da cultura, ocorre redução do crescimento vegetativo e radicular devido ao florescimento e enchimento de grãos, enquanto populações elevadas do nematoide passam a enfrentar limitações crescentes para penetrar e parasitar as raízes. Assim, valores menores de FR tendem a ocorrer nas densidades iniciais mais altas, comportamento também observado neste estudo.

Em experimentos de campo, avaliações realizadas em estádios reprodutivos iniciais geralmente refletem com maior precisão a eficiência dos tratamentos, pois coincidem com o período de maior atividade radicular e maior efeito residual dos produtos. Por outro lado, avaliações no final do ciclo tornam-se menos sensíveis para detectar diferenças entre tratamentos, pois ocorre declínio natural da atividade metabólica, início do apodrecimento e morte das raízes. Consequentemente, a população de nematoides tende a diminuir naturalmente durante a senescência, dificultando a interpretação do efeito real dos produtos (GRECO; DI VITO, 2009).

4.4 PRODUTIVIDADE

As médias de produtividade da soja em função das densidades de inóculo de *M. javanica* nos Experimentos 1 e 2 encontram-se na Tabela 9. Os resultados foram analisados conjuntamente por meio do modelo GLMM, com transformação da densidade de inóculo ($\text{densidade}^{0,3}$) como variável preditora (Tabela 10). O comportamento estimado pelo modelo é apresentado na Figura 11.

Tabela 9. Produtividade da soja (sacas por hectare) sob densidades crescentes de infestação de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, nos experimentos 1 e 2.

PRODUTIVIDADE							
Tratamento	Densidade de infestação* - Experimento 1						
	0	100	300	900	2700	8100	Média
Testemunha	44,47	28,39	44,98	16,02	12,46	9,04	25,89
Ilevo	45,37	46,90	56,13	38,82	25,40	18,78	38,56
Votivo Prime	40,88	34,58	34,61	25,50	10,45	7,21	25,54
Média	43,57	36,62	45,24	26,78	16,10	11,67	
Tratamento	Densidade de infestação* - Experimento 2						
	0	100	300	900	2700	8100	Média
Testemunha	53,85	55,69	51,13	55,09	53,12	35,52	50,73
Ilevo	49,19	58,86	50,91	46,53	49,25	46,36	50,18
Votivo Prime	61,74	65,71	58,69	60,61	51,45	33,82	55,34
Média	54,92	60,09	53,58	54,08	51,27	38,56	

*número de ovos e/ou juvenis de *Meloidogyne javanica* inoculados por planta. Dados descritivos. Os valores representam a produtividade ajustada considerando a colheita de cada parcela.

Tabela 10. Análise de Deviance do modelo GLMM* para a variável produtividade (sacas por hectare) sob densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas.

Efeitos fixos				Efeitos aleatórios	
Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Bloco	Intercepto
Intercepto	51.391	6.020	8.537	I	1.463
Ilevo	2.376	6.310	0.377	II	7.582
Votivo	4.991	6.310	0.791	III	1.543
Densidade	-1.834	0.520	-3.526	IV	-10.589
Ilevo x densidade	0.517	0.735	0.703		
Votivo x densidade	-0.403	0.735	-0.548		

*Variância dos efeitos aleatórios: Var(bloco) = 65.33 (SD = 8.083) Var(residual) = 295.18 (SD = 17.181)

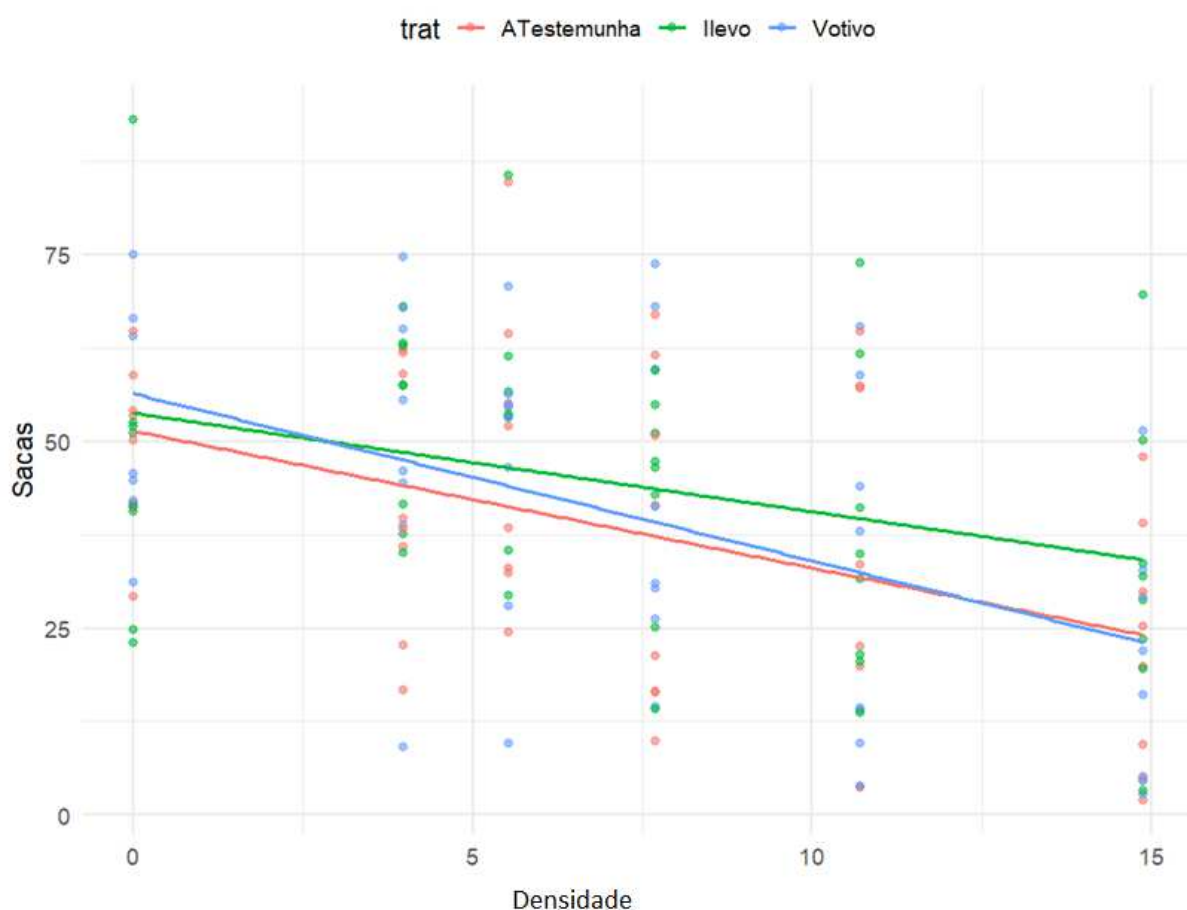


Figura 11. Comportamento da variável produtividade (sacas por hectare) da cultura da soja sob densidades crescentes de inóculo inicial (densidade^{0,3}) de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas. Análise conjunta dos experimentos 1 e 2, utilizando o modelo GLMM.

Na análise conjunta, a produtividade média da testemunha sem inoculação foi de 51,4 sacas ha⁻¹, com intercepto significativo. O fator “densidade de inóculo” também foi significativo (Tabela 10), indicando que, independentemente da

aplicação dos nematicidas Votivo Prime ou Ilevó e das condições ambientais específicas de cada experimento, o aumento da densidade inicial de *M. javanica* resulta em queda de produtividade (Figura 11). A redução estimada foi de -1,834 sacas ha^{-1} a cada densidade de nematoide acrescida. Observou-se declínio mais acentuado na testemunha e no tratamento Votivo Prime, especialmente em altas infestações, enquanto o tratamento com Ilevó apresentou maior estabilidade produtiva e valores superiores nessas condições.

Embora os tratamentos com Ilevó e Votivo Prime apresentem médias de produtividade superiores à testemunha, as diferenças não foram significativas. Ainda assim, na ausência de nematoide, Ilevó proporcionou incremento de aproximadamente 2,4 sacas ha^{-1} , e Votivo Prime aumentou 5,0 sacas ha^{-1} (Tabela 10).

A análise descritiva (Tabela 9) reforça o padrão decrescente de produtividade com o aumento da densidade de inóculo em ambos os experimentos. No Experimento 1, observou-se queda acentuada a partir da densidade de 900 ovos/J2 por planta. Na testemunha, a produtividade caiu de 44,47 sacas ha^{-1} (sem inoculação) para apenas 9,04 sacas ha^{-1} na maior densidade (8100 espécimes por planta), representando redução de aproximadamente 80%. Com Ilevó, porém, a produtividade sob máxima infestação foi de 18,78 sacas ha^{-1} - aproximadamente o dobro da testemunha.

No experimento 2, os rendimentos foram, em média, superiores aos do Experimento 1, possivelmente devido a melhores condições ambientais e menor estresse no campo. Declínios mais acentuados ocorreram a partir da densidade 2.700, especialmente na testemunha e no tratamento Votivo Prime. No nível máximo de infestação, a testemunha apresentou redução aproximada de 34% em relação à testemunha sem inoculação. Ilevó manteve maior estabilidade produtiva (média de 50,18 sacas ha^{-1}), com menor variação entre densidades. Na maior infestação (8.100), o rendimento com Ilevó foi 30,5% superior ao da testemunha e 37,1% maior que o obtido com Votivo Prime.

A redução da produtividade com o aumento da densidade inicial de *M. javanica* apresentou comportamento semelhante ao observado para os valores de NDVI (Figura 4B), sugerindo correlação entre ambas as variáveis. Essa relação indica que a diminuição do vigor vegetativo - refletida pela queda do NDVI - está diretamente associada à redução no rendimento da cultura. Nakano et al. (2023), estudando trigo,

observaram que os valores de NDVI mensurados pelo sensor Greenseeker apresentaram alta correlação com a produtividade. Esses resultados demonstram o potencial do NDVI como ferramenta eficiente para estimar a resposta das plantas a estresses bióticos, incluindo infecções por nematoides.

A redução da produtividade com o aumento da densidade populacional de *M. javanica* está diretamente associada aos danos ao sistema radicular, resultando em menor vigor vegetativo e diminuição da área fotossintética. Asmus e Ferraz (2001) relataram reduções expressivas na produtividade de soja – chegando a 85,9% com densidade de 97.200 ovos por planta - evidenciando o elevado potencial de dano desse nematoide. Embora a magnitude da redução varie conforme o nível de tolerância ou resistência da cultivar, densidades muito elevadas podem comprometer significativamente a produção mesmo em cultivares consideradas tolerantes, como observado para a cultivar Coodetec 201 no estudo desses autores.

Em outras culturas, efeitos semelhantes foram registrados. Mukhtar e Kayani (2020) relataram reduções significativas em parâmetros vegetativos e produtivos de cultivares suscetíveis de pepino à medida que aumentava a densidade de *M. incognita*, com efeitos menos severos em cultivares resistentes. Resultados compatíveis também foram descritos em pimentão por Moosavi (2015) e beterraba (CORREIA, 2017), reforçando que densidades elevadas de inóculo comprometem o crescimento e a biomassa aérea das plantas.

Os resultados também evidenciaram que diferentes condições ambientais podem favorecer ou comprometer a eficiência dos nematicidas, especialmente os biológicos, dependendo da densidade populacional do nematoide. Em condições mais adversas, com temperaturas elevadas, como no Experimento 1, o nematicida químico Ileva apresentou maior eficiência de controle e melhor desempenho na produtividade, possivelmente por apresentar menor sensibilidade às condições ambientais desfavoráveis em comparação ao biológico. Em contrapartida, em ambiente menos desafiador, como no Experimento 2, o produto biológico Votivo Prime sofreu menor interferência ambiental e conseguiu expressar seu potencial em produtividade, favorecendo o desenvolvimento radicular.

A densidade populacional do nematoide também influencia o impacto dos nematicidas na produtividade. Em regiões como o Sul do Brasil, onde o produtor com frequência não reconhece plenamente os danos causados por nematoides (ARAÚJO; MACHADO; DIAS-ARIEIRA, 2023), produtos biológicos podem

proporcionar ganhos na produtividade. No entanto, no Cerrado, onde reboleiras já estão estabelecidas e as populações são elevadas (SILVA et al., 2020; ARAÚJO; MACHADO; DIAS-ARIEIRA, 2023), os biológicos podem auxiliar no manejo, mas tendem a não promover incrementos significativos na produtividade. Nessas condições, o uso de nematicidas químicos com alta eficiência de controle torna-se mais eficaz para reduzir a população e promover maior impacto positivo na produtividade.

Com base nos resultados obtidos, pode-se sugerir que, em densidades populacionais elevadas, Ilevó tende a apresentar maior destaque no manejo de *M. javanica* em soja, independentemente das condições ambientais. Produtos químicos de elevado potencial de controle mostram maior estabilidade no incremento de produtividade quando aplicados sob altas populações. Contudo, essa estabilidade não se mantém necessariamente em populações baixas. Isso se deve, em parte, ao risco de fitotoxicidade associado ao fluopyram - princípio ativo de Ilevó – especialmente em baixas densidades populacionais, onde o benefício do controle não compensa o possível prejuízo ao desenvolvimento das plantas. Como molécula pertencente ao grupo das carboxamidas, fluopyram apresenta baixa solubilidade em água e comportamento mesostêmico, com pouca mobilidade após a absorção (FORCELINI, 2025). Assim, quando aplicado via tratamento de sementes, o produto tende a se concentrar nos cotilédones, podendo causar queima das bordas, conhecida como “*halo effect*”. Embora o nematoide seja controlado, essa fitotoxicidade pode reduzir a capacidade produtiva das plantas, tornando o uso desse produto pouco vantajoso em baixas infestações. Já em altas populações, apesar da fitotoxicidade, o dano que seria causado pelo nematoide ao sistema radicular seria muito mais severo; por isso, Ilevó resultou em maior produtividade, enquanto o tratamento biológico não foi suficiente para proporcionar o mesmo benefício.

Finalmente, Asmus e Ferraz (2001) sugerem que análises estatísticas, como regressões capazes de caracterizar a relação entre densidade populacional de *M. javanica* e a produtividade da soja, podem auxiliar na estimativa das perdas em função do nível de inóculo inicial presente no solo no momento do plantio - conforme já proposto por Oostenbrink (1971) e Seinhorst (1970, 1973). Contudo, devido a fatores edafoclimáticos específicos de cada região e às diferenças nos níveis de tolerância ou resistência entre cultivares, tais análises podem não explicar adequadamente a relação quantitativa entre a densidade de nematoides e o

crescimento das plantas (SEINHORST, 1965).

Para superar essa limitação, os autores recomendam incluir variáveis relacionadas à fotossíntese e à área foliar sadia – diretamente associadas à produtividade – no desenvolvimento de modelos de previsão de perdas (BERGAMIN FILHO et al., 1997). Entretanto, no estudo de Asmus e Ferraz (2001), não foi observada correlação entre a taxa fotossintética e a produção de grãos, possivelmente devido à limitação do equipamento utilizado (LI-6400 *Portable Photosynthesis System* – Li-Cor®), que avaliava uma área muito reduzida da folha (6 cm²), não representando de forma adequada a real taxa fotossintética da planta. Por outro lado, os autores verificaram alta correlação entre produtividade e área foliar.

No presente estudo, o uso do NDVI permitiu estabelecer essas relações de forma mais robusta, configurando-se como uma ferramenta promissora para a estimativa de perdas causadas por *M. javanica* em lavouras de soja sob diferentes níveis de infestação e em distintas condições edafoclimáticas no Brasil. Além disso, além de subsidiar modelos de previsão de perdas, o NDVI apresenta potencial de aplicação prática em campo, permitindo diagnosticar o potencial de danos do nematoide e orientar estratégias de manejo mais adequadas às realidades regionais.

5 CONCLUSÕES

O aumento da densidade inicial de *Meloidogyne javanica* comprometeu o desenvolvimento vegetativo e a produtividade da soja, refletido na redução progressiva dos valores de NDVI e da biomassa aérea.

O nematicida químico fluopyram (Ilevo®) demonstrou maior eficiência na redução populacional de *M. javanica* na avaliação realizada no estágio R3, enquanto o produto biológico *Bacillus firmus* cepa I-1582 (Votivo Prime®) apresentou desempenho mais variável e dependente das condições ambientais.

As avaliações realizadas nos estádios reprodutivos iniciais foram mais eficientes para inferir a eficiência dos tratamentos nematicidas, enquanto as realizadas no estágio R7 mostraram menor sensibilidade devido à senescência radicular e à redução natural da população de nematoides nesse período.

O NDVI destacou-se como uma ferramenta promissora para o diagnóstico precoce do estresse causado pelo nematoide das galhas, contribuindo para o manejo e a tomada de decisão agrônômica.

Por fim, o manejo integrado deve considerar a combinação de estratégias de controle, a densidade populacional do nematoide e as condições ambientais, de modo a maximizar a eficiência dos tratamentos.

6 REFERÊNCIAS

- AGROFIT. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**, 2025. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 20 out. 2025.
- ALCALDE, G. L. L.; MACEDO, E.; GIMENES, M. B.; BOMBONATO, L. T.; BOCALINI, P. H. V.; SOARES, P. L. M. Use of remote sensing to identify and manage nematodes in soybean crops. In: NASCIMENTO, J. et al. **Topics in agricultural entomology - XIII**. Editora Atena 2022. Cap. 12. p. 134–146.
- ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. The success of BNF in soybean in Brazil. **Plant and Soil**, v. 252, p. 1–9, 2003.
- ANTÔNIO, H.; NEUMAIER, N. Reação de espécies vegetais melhoradoras do solo ao nematoide *Meloidogyne javanica*. *Nematologia Brasileira*, v. 10, p. 207-211, 1986.
- ARANTES, B.H.T.; MORAES, V.H.; GERALDINE, A.M.; ALVES, T.M.; ALBERT, A.M.; SILVA, G.J.; CASTOLDI, G. Spectral detection of nematodes in soybean at flowering growth stage using unmanned aerial vehicles. **Ciência Rural**, v. 51, p. e20200283, 2021.
- ARAUJO, F.G.; MACHADO, A.C.Z.; DIAS-ARIEIRA, C.R. No país todo. Pesquisa aponta a distribuição geográfica de nematoides. **Revista Cultivar Grandes Culturas**, v. 290, p. 21-24, 2023.
- ASMUS, G.L. **Relações entre a densidade populacional de *Meloidogyne javanica* e *Heterodera glycines* (Nemata: Tylenchoidea), a área foliar, a fotossíntese e os danos causados a variedades de soja**. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 137 p., 2000.
- 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 / Sociedade Brasileira de Nematologia, p. 39-62, 2001.
- 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, 1-13, 2001.
- BERGAMIN FILHO, A. Avaliação de danos e perdas. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (eds.). **Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Agronômica Ceres, v. 1, cap. 33, p. 672-690, 1995.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico**. São Paulo: Agronômica Ceres, 299 p., 1996.

BERGAMIN FILHO, A.; CERNEIRO, S.M.T.G.G.; GODOY, C.V.; AMORIM, L.; BERGER, R.D.; HAU, B. Angular leaf spot of *Phaseolus* beans: relationships between disease, healthy leaf area, and yield. **Phytopathology**, v. 87, n. 5, p. 506-515, 1997.

BIANCHINI, A.; MARUR, C.J.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; SCHOLZ, M.B. Efeito do vírus do mosaico dourado do feijoeiro (BGMV) sobre parâmetros relacionados com a fotossíntese do feijoeiro. **Summa Phytopathologica**, v. 24, n. 3-4, p. 204-210, 1998.

BONETI, J. S.; FERRAZ, S. Modificações do método de Hussey & Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* em raízes de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 6, n. 553, 1981.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Hierarquização de pragas de maior risco fitossanitário do Brasil**. Brasília, DF: MAPA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/mapa-divulgalista-com-hierarquizacao-de-pragas-de-maior-risco-fitossanitario>. Acesso em: 28 jun. 2022.

CARNEIRO, R.G.; MAZZAFERA, P.; FERRAZ, L.C.C.B. Carbon partitioning in soybean infected with *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. **Journal of Nematology**, v. 31, n. 3, p. 348-355, 1999.

CASTAGNONE-SERENO, P.; DANCHIN, E.G.; PERFUS-BARBECH, L.; ABAD, P. Diversity and evolution of root-knot nematodes, genus *Meloidogyne*: new insights from the genomic era. **Annual review of phytopathology**, v. 51, 203-20, 2013.

CHINHEYA, C. C.; YOBO, K. S.; LAING, M. D. Biological control of the root-knot nematode, *Meloidogyne javanica* (Chitwood) using *Bacillus* isolates, on soybean. **Biological Control**, v. 109, p.37–41, 2017.

COHEN, W.B.; MAIERSPERGER, T.K.; GOWER, S.T.; TURNER, D.P. An improved strategy for regression of biophysical variables and Landsat ETM+ data. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, n.4, p. 561-571, 2003.

COLLANGE, B.; NAVARRETE, M.; PEYRE, G.; MATEILLE, T.; TCHAMITCHIAN, M. Root-knot nematode (*Meloidogyne*) management in vegetable crop production: The challenge of an agronomic system analysis. **Crop Protection**, v. 30, p. 1251-1262, 2011.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v.13– Safra 2025/26, n.12 – Segundo levantamento, Brasília, p. 1-94, novembro 2025. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/gaos>. Acesso em: 14 nov. 2025.

CORREIA, E. C. S. S. **Potencial reprodutivo e danos causados por *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *M. enterolobii* em beterraba**. 2017. 69 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017.

DAHLIN, P.; EDER, R.; CONSOLI, E.; KRAUSS, J.; KIEWNICKAC, S. Integrated control of *Meloidogyne incognita* in tomatoes using fluopyram and *Purpureocillium lilacinum* strain 251. **Crop Protection**, v. 124, 2019.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; MIAMOTO, A.; MACHADO, A. C. Z.; SILVA, R. A.; ARAÚJO, F. G. Manejo cultural de nematoides. In: DIAS-ARIEIRA, C. R.; ARAÚJO, F. G.; MACHADO, A. C. Z. (org). **Manejo de nematoides em grandes culturas**. Piracicaba: NPCT, 2023. p. 191-225.

DIAS, W.P.; GARCIA, A.; SILVA, J.F.V.; CARNEIRO, G.E. de S. **Nematóides em soja: identificação e controle**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. 8p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 76).

DI VITO, M.; ZACCHEO, G.; DELLA GATTA, C.; CATALANO, F. Relationship between initial population densities of *Meloidogyne javanica* and yield of sunflower in microplots. **Nematologia Mediterrânea**, v. 24, p. 109-112, 1996.

DOMINGO, J. L.; BORDONABA, J. G. A literature review on the safety assessment of genetically modified plants. **Environment International**, v. 37, p. 34-742, 2011.

DORIGO, W.A.; MILLA, R.Z.; DE WIT, A.J.W.; BRAZILE, J.; SINGH, R.; SCHAEPMAN, M.E. A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 9, n. 2, p. 165-193, 2007.

DUARTE, D.M.; SILVA, C.R.; LEMES, E.M.; COELHO, L.; RODRIGUES, F. Analysis of infestation of nematode *Meloidogyne exigua* in a rubber tree plantation in the Triângulo Mineiro region. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 4, p. e20170367, 2019.

ENDO, B.Y. Responses of root-nematodes, *Pratylenchus brachyurus* and *P. zaeae*, to various plants and soil types. **Phytopathology**, v. 49, n. 6, p. 417-421, 1959.

ESCOBAR, C.; BARCALA, M.; CABRER, J.; FENOLL, C. Overview of root-knot nematodes and giant cells. **Advances in Botanical Research**, v. 73, 2015.

FASKE, T. R.; HURD, K. Sensitivity of *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis* to fluopyram. **Journal of Nematology**, v. 47, n. 4, p. 316–321, 2015.

FAVORETO, L.; MEYER, M.C.; DIAS-ARIEIRA, C.R.; MACHADO, A.C.Z.; SANTIAGO, D.C.; RIBEIRO, N.R. Diagnose e manejo de fitonematoides na cultura da soja. **Informe Agropecuário**, v.40, n. 306, p.18-29, 2019.

FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. (org.). **Nematologia de plantas: fundamentos e importância**. Campos dos Goytacazes: SBN, 250p., 2016.

FORCELINI, C.A. **Carboxamidas: conhecendo mais sobre esses importantes fungicidas, 2025**. Disponível em: <https://www.3tentos.com.br/triblog/post/82>. Acesso em: 10 nov. 2025.

GARDIANO-LINK, C. G.; SANTANA-GOMES, S. M.; KLUGE, E. R.; FEKSA, H. R.;

KLUGE, F. T. R.; DIAS-ARIEIRA, C. R. Management systems for nematode control in soybean fields in south-central Paraná, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.57, e02526, 2022.

GAVAL, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; ALMEIDA, B. M.; FREITAS, P. L.; REZENDE, R. Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 10, n. 3, p. 305-315, 2016.

GONTIJO, L. M. JULIATTI, F. C.; SANTOS, M. A. Reaction of soybean genotypes to the nematodes *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. **European Journal of Plant Pathology**, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10658-024-02879-0>

GORNY, A. M.; YE, W.; CUDE, S.; THIESSEN, L. Soybean Root-Knot Nematode: A Diagnostic Guide. **Plant Health Progress**, v. 22, n. 2, 2021.

GRECO, N.; DI VITO, M. Population dynamics and damage levels. In: PERRY, R. N.; MOENS, M.; STAR, J. L. **Root-Knot nematodes**. Wallingford, UK: CABI Publishing. p. 246-274, 2009.

HAMDANE, Y. **Multi-sensor remote sensing detection of biotic stress for crop phenotyping and management guidance**. 150p. Tese (Doutorado). Universitat de Barcelona, 2023.

HASHEM, A.; TABASSUM, B.; ABD-ALLAH, E. F. *Bacillus subtilis*: a plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, p.1291-1297, 2019.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 70p. (Embrapa Soja. Documentos Online, 349).

HØJSGAARD, S.; HALEKOH, U. doBy: Groupwise Statistics, LSmeans, Linear Estimates, Utilities. **R package version 4.6.21**, 2024. <https://CRAN.R-project.org/package=doBy>.

HU, H. J.; CHEN, Y. L.; WANG, Y. F.; TANG, Y. Y.; CHEN, S. L.; YAN, S. Z. Endophytic *Bacillus cereus* effectively controls *Meloidogyne incognita* on tomato plants through rapid rhizosphere occupation and repellent action. **Plant Disease**, v. 101, p. 448-455, 2017.

HUSSEY, R.S.; WILLIAMSON, V.M. Physiological and molecular aspects of nematode parasitism. In: BARKER, K.R.; PEDERSON, G.A.; WINDHAM, G.L. (eds.). Plant and nematode interactions. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, p. 87-108, 1998.

INOMOTO, M.M.; ASMUS, G.L. Adubos verdes das famílias Fabaceae e Mimosaceae para o controle de fitonematoides. In: LIMA FILHO, O.F.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D. (Eds.). Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil. Fundamentos e Prática. Brasília: Embrapa, v. 1, pp. 441-480, 2014.

INOMOTO, M.M.; CABRAL, L.C.C.M.; BELUTI, D.B.; MACHADO, A.C.Z. Reação de seis adubos verdes a *Meloidogyne javanica* e *Pratylenchus brachyurus*. **Nematologia Brasileira**, v. 30, n. 1, p. 39-44, 2006.

JJAGWE, P.; CHANDEL, A.K.; LANGSTON, D.B. Impact assessment of nematode infestation on soybean crop production using aerial multispectral imagery and machine learning. **Applied Sciences**, v. 14, n. 5482, 2024.

JUHÁSZ, A. C. P.; PÁDUA, G. P.; WRUCK, D. S. M.; FAVORETO, L. RIBEIRO, N. R. Desafios fitossanitários para a produção de soja. **Informe Agropecuário**, v. 34, n. 276, p. 66-75, 2013.

KAVITHA, P. G.; JONATHAN, E. I.; NAKKEERAN, S. Effects of crude antibiotic of *Bacillus subtilis* on hatching of eggs and mortality of juveniles of *Meloidogyne incognita*. **Nematologia Mediterranea**, v. 40, p. 203-206, 2012.

KOENNING, S.R.; BARKER, K.R. Soybean photosynthesis and yield as influenced by *Heterodera glycines*, soil type and irrigation. **Journal of Nematology**, v. 27, n. 1, p. 51-62, 1995.

LEHMAN, P.S.; GOMES, J.E.; GONÇALVES, J.C. Avaliação de perdas causadas por *Meloidogyne incognita* em soja. In: Congresso Anual da Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 9, 1976. Campinas, **Resumos...** Campinas, s.n., p. 19, 1976.

LIMA, F. S. O.; CORREA, V. R.; NOGUEIRA, S. R.; SANTOS, P. R. R. Nematodes Affecting Soybean and Sustainable Practices for Their Management. In (Ed.), **Soybean - The Basis of Yield, Biomass and Productivity**. IntechOpen, 2017.

LORDELLO, L.G.E. **Nematoides das plantas cultivadas**. 6ª edição. São Paulo: Nobel, 1981, 314 p.

MACHADO, A. C. Z. Bionematicides in Brazil: an emerging and challenging market. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 28, p. 35-49, 2022.

MACHADO, A. C. Z. Controle químico. In: GALBIERI, R.; BELOT, J. L. (ed.). **Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos Cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle**. Cuiabá: IMAmt, 2016. Cap. 9, p.313-339. (IMAmt. Boletim de P&D, n.3).

MACHADO, A. C. Z. Nematicidas. **Informe agropecuário**, v. 42, n. 315, p. 37-47, 2021.

MACHADO, A. C. Z.; FAVORETO, L.; SILVA, S. A. Nematoides emergentes. In: DIAS-ARIEIRA, C. R.; ARAÚJO, F. G.; MACHADO, A. C. Z. (org). **Manejo de nematoides em grandes culturas**. Piracicaba: NPCT, 2023. p. 53-65.

MACHADO, A.C.Z.; LEMES, C.F.C.; SILVA, S.A.; SHIGUEOKA, L. H.; DORIGO, O. F.; DEUNER, C. C. RIBEIRO, N. R. Variant *Meloidogyne javanica* populations from Brazil could impact the breeding programs and the management in soybean

fields. **Tropical plant pathology**, n. 47, p. 442–449, 2022.
<https://doi.org/10.1007/s40858-022-00492-2>

MACHADO, A.C.Z.; MOTTA, L.C.C.; SIQUEIRA, K.M.S.; FERRAZ, L.C.C.B.; INOMOTO, M.M. Host status of green manures for two isolates of *Pratylenchus brachyurus* in Brazil. **Nematology**, v. 9, n. 6, p. 799-805, 2007.

MACHADO, A.C.Z.; LAGE, D.A.C. Manejo genético de nematoides. In: DIAS-ARIEIRA, C.R., ARAÚJO, F.G., AND MACHADO, A.C.Z. (Org). **Manejo de nematoides em grandes culturas**. NPCT: Piracicaba, 2023.

MACHADO, A. C. Z.; SILVA, S. A.; FERRAZ, L. C. C. B. **Métodos em nematologia agrícola**. 1 ed. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2019. 184 p.

MARTINS, G. D.; GALO, M. L. B. T.; VIEIRA, B. S. Detecting and mapping root-knot nematode infection in coffee crop using remote sensing measurements. **IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing**, v. 10, n. 12, 2017.

McSORLEY, R. Population dynamics. In: BARKER, K.R.; PEDERSON, G.A.; WINDHAM, G.L. (eds.). Plant and nematode interactions. Madison, American Society of Agronomy, p. 109-133, 1998.

MIAMOTO, A.; SILVA, M. T. R.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; PUERARI, H. H. Alternative products for *Pratylenchus brachyurus* and *Meloidogyne javanica* management in soya bean plants. **Journal of Phytopathology**, v. 165, p.635–640, 2017.

MOENS, M.; PERRY, R.; STARR, J. *Meloidogyne* species- a diverse group of novel and important plant parasites. In: PERRY, R. N.; MOENS, M.; STAR, J. L., editors. **Root-knot Nematodes**. Wallingford, UK: CABI International 2009. pp. 1–17.

MOOSAVI, M. R. Damage of the root-knot nematode *Meloidogyne javanica* to bell pepper, *Capsicum annuum*. **Journal of Plant Diseases and Protection**, n. 122 (5/6), p. 244–249, 2015, ISSN 1861-3829.

MORAL, R. A.; HINDE, J.; DEMÉTRIO, C. G. B. Half-Normal Plots and Overdispersed Models in R: The hnp Package. **Journal of Statistical Software**, v. 81, n. 10, p.1-23, 2017. <https://doi.org/10.18637/jss.v081.i10>

MUKHTAR, T.; KAYANI, M. Z. Comparison of the damaging effects of *Meloidogyne incognita* on a resistant and susceptible cultivar of cucumber. **Bragantia**, Campinas, v. 79, n. 1, p.83-93, 2020.

NAKANO, H.; TANAKA, R.; GUAN, S.; OHDAN, H. Predicting rice grain yield using normalized difference vegetation index from UAV and GreenSeeker. **Crop and Environment**, v. 2, p. 59–65, 2023.

OKA, Y.; SAROYA, Y. Effect of fluensulfone and fluopyram on the mobility and infection of second-stage juveniles of *Meloidogyne incognita* and *M. javanica*. **Pest**

Management Science, v. 75, p. 2095–2106, 2019.

OOSTENBRINK, R. Major characteristics of the relation between nematodes and plants. **Mededeelingen der Landbouw-Hoogeschool**, v. 66, n. 3, p. 1-46, 1966.

OOSTENBRINK, M. Quantitative aspects of plant-nematode relationships. **Indian Journal of Nematology**, n. 1, p. 68-74, 1971.

PAGANO, M. C.; MIRANSARI, M. **The importance of soybean production worldwide**. In: Abiotic and Biotic Stresses in Soybean Production. Elsevier Inc., 1 ed., p. 1-26, 2016.

PINHEIRO, J.; BATES, D. R Core Team. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. **R package version 3.1-164**, 2023. <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>.

QIU, L.; CHANG, R. Z. **The origin and history of soybean**. The soybean: botany, production and uses, p. 1-23, 2010.

R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2024. <https://www.R-project.org/>.

RIBEIRO, L.A.B. **Caracterização morfo-fisiológica da síndrome da haste verde nas culturas do algodão, feijão e soja**. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Londrina, 2024, 125 p.

RIBEIRO, N.R.; DIAS, W.P.; HOMECHIN, M.; SILVA, J.F.V.; FRANCISCO, A.; LOPES, I.O.N. Reação de algumas espécies vegetais a *Pratylenchus brachyurus*. **Nematologia Brasileira**, v. 31, n. 2, p. 157, 2007.

ROBINSON, N.A.; SHEEDY, J.G.; THOMPSON, J.P. Comparison of visual and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) assessments to predict the yield tolerance of wheat genotypes to root-lesion nematode *Pratylenchus thornei*. **Agronomy**, 14, 3043, 2024.

ROCHA, B. G.; AMARO, H. T.; PORTO, E. M.; GONÇALVES, C. C.; DAVID, A. M.; LOPES, E. B. Sistema de semeadura cruzada na cultura da soja: avanços e perspectivas. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 376-384, 2018.

SANDMANN, M.; GROSCH, R.; GRAEFE, J. The use of features from fluorescence, thermography, and NDVI imaging to detect biotic stress in lettuce. **Plant Disease**, v. 102, p. 1101, 1107, 2018.

SANTOS, L.B.; BASTOS, L.M.; DE OLIVEIRA, M.F.; SOARES, P.L.M.; CIAMPITTI, I.A.; DA SILVA, R.P. Identifying nematode damage on soybean through remote sensing and machine learning techniques. **Agronomy**, n. 12, 2404, 2022.

SANTOS, M.A.; RUANO, O. Reação de plantas usadas como adubos verdes a *Meloidogyne incognita* raça 3 e *M. javanica*. **Nematologia Brasileira**, v. 11, p. 184-

197, 1987.

SARKAR, D; ANDREWS, F. latticeExtra: Extra Graphical Utilities Based on Lattice. R package version 0.6-30, 2022. <https://CRAN.R-project.org/package=latticeExtra>.

SEINHORST, J.W. The relation between nematode density and damage to plants. **Nematologica**, n. 11, p. 137-154, 1965.

SEINHORST, J.W. Dynamics of populations of plant parasitic nematodes. **Annual Review of Phytopathology**, n. 8, p. 131-156, 1970.

SEINHORST, J.W. The relationship between yield and square root of nematode density. **Nematologica**, n. 18, p. 585-590, 1972.

SEINHORST, J.W. The relation between nematode distribution in a field and loss in yield at different average nematode densities. **Nematologica**, n. 19, p. 421-427, 1973.

SHARMA, R.D.; RODRÍGUEZ, C. Efeito da densidade de população inicial do nematoide *Meloidogyne javanica* sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 3., p. 469-477, 1982.

SILVA, R. A.; MACHADO, A. C. Z.; SANTOS, T. F. S.; SILVA, R. G. Nematoides no sistema de produção. **Boletim de Pesquisa Fundação MT**, Rondonópolis, MT, p. 191 – 210, 2020.

SILVA, G.S.; FERRAZ, S.; SANTOS, J.M. Resistência de espécies de *Crotalaria* a *Rotylenchulus reniformis*. **Nematologia Brasileira**, v. 13, p. 87-92, 1989a.

SILVA, G.S.; FERRAZ, S.; SANTOS, J.J. Resistência de espécies de *Crotalaria* a *Pratylenchus brachyurus* e *P. zaeae*. **Nematologia Brasileira**, v. 13, p. 81-86, 1989b.

SIMKO, I.; JIMENEZ-BERNI, J. A.; SIRAULT, X. R. R. Phenomic approaches and tools for phytopathologists. **Phytopathology**, v. 107, n. 1, p. 6-17, 2017.

TUCKER, C.J.; SLAYBACK, D.A.; PINZON, J.E.; LOS, S.O.; MYNENI, R.B.; TAYLOR, M.G. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999. **International Journal of Biometeorology**, v. 45, n. 4, p. 184-190, 2001.

USDA. United States Department of Agriculture. **World Agricultural Production**, 2025. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2025.

VALLE, L.A.C.; DIAS, W.P.; FERRAZ, S. Reação de algumas espécies vegetais, principalmente leguminosas, ao nematoide de cisto da soja, *Heterodera glycines* Ichinohe. **Nematologia Brasileira**, v. 20, n. 2, p. 30-40, 1996.

VENABLES, W.N.; RIPLEY, B. D. **Modern Applied Statistics with S. Fourth**

Edition. Springer, New York, 2002. ISBN 0-387-95457-0.

WAGGONER, P.E.; BERGER, R.D. Defoliation, disease and growth. **Phytopathology**, v. 77, n. 3, p. 393-398, 1987.

WICKHAM, H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. **Springer-Verlag** New York, 2016.

WICKHAM, H. Reshaping Data with the reshape Package. **Journal of Statistical Software**, v. 21, n.12, p.1-20, 2007. URL <http://www.jstatsoft.org/v21/i12/>.

WINDHAM, G.R.; BARKER, K.R. Effects of soil type on the damage potential of *Meloidogyne incognita* on soybean. **Journal of Nematology**, v. 18, p. 331-338-1986.

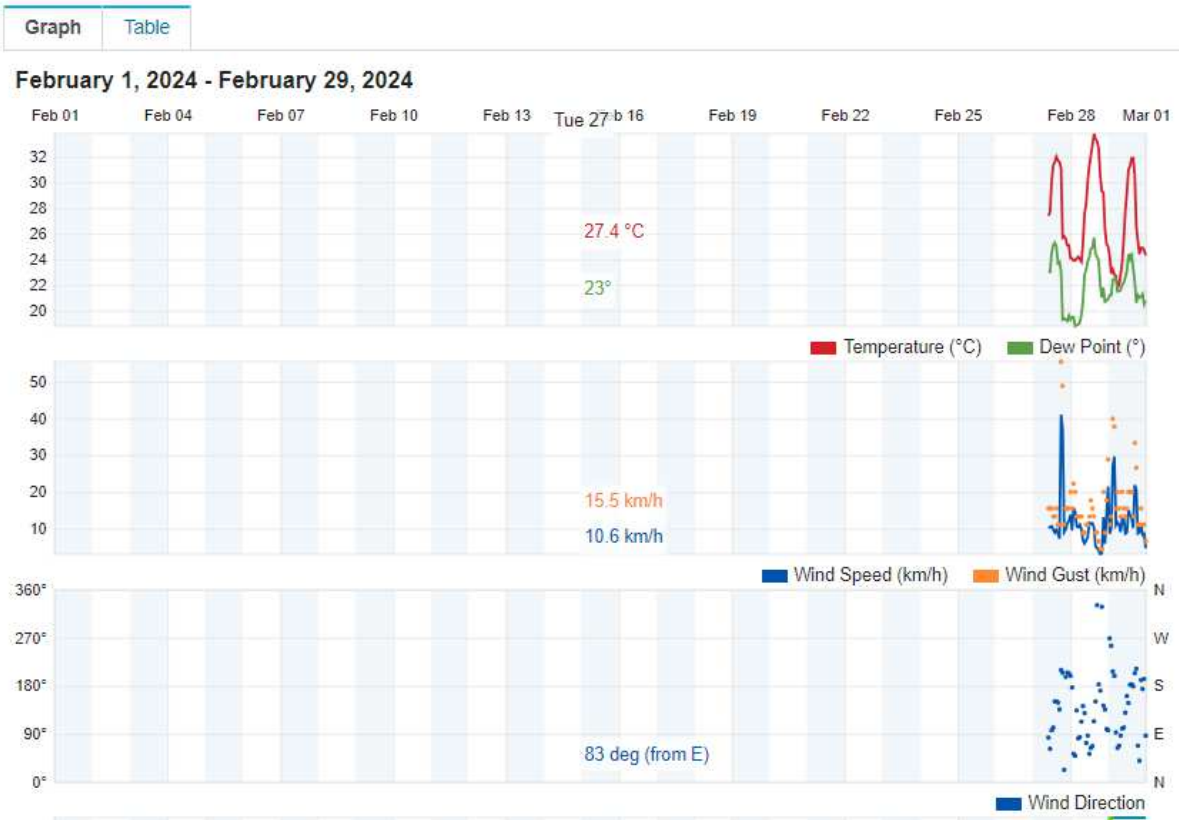
XIONG, J.; ZHOU, Q.; LUO, H.; XIA, L.; LI, L.; SUN, M.; YU, Z. Systemic nematicidal activity and biocontrol efficacy of *Bacillus firmus* against the root-knot nematode. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, V. 31, P. 661-667, 2015.

ZEVIANI, W. M. wzRfun: Walmes Zeviani's collection of functions. **R package version 0.95**, 2021. <https://github.com/walmes/wzRfun>.

7 ANEXO I – CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

February 1, 2024 - February 29, 2024

	High	Low	Average		High	Low	Average
Temperature	33.8 °C	21.5 °C	26.8 °C	Wind Speed	41.0 km/h	0.0 km/h	6.0 km/h
Dew Point	25.7 °C	18.4 °C	21.4 °C	Wind Gust	55.4 km/h	--	8.8 km/h
Humidity	99 %	51 %	73 %	Wind Direction	--	--	SE
Precipitation	3.81 mm	--	--	Pressure	1,023.03 hPa	1,017.61 hPa	--



March 1, 2024 - March 31, 2024

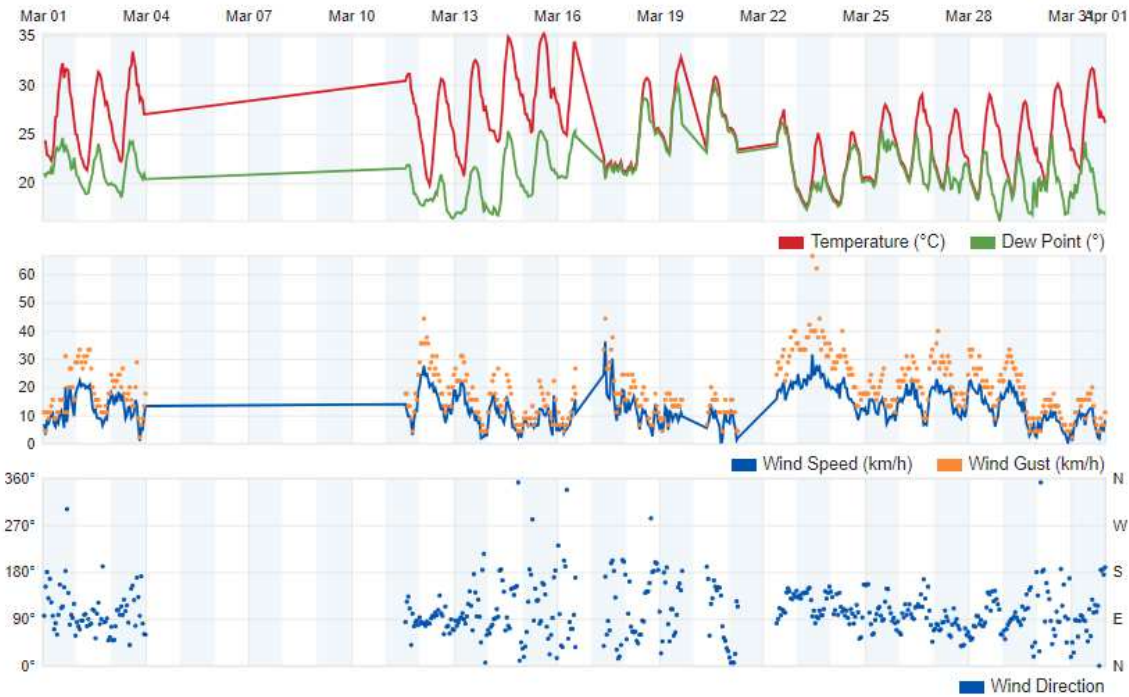
	High	Low	Average
Temperature	35.2 °C	17.3 °C	25.0 °C
Dew Point	29.9 °C	15.7 °C	20.9 °C
Humidity	99 %	41 %	80 %
Precipitation	25.40 mm	--	--

	High	Low	Average
Wind Speed	36.2 km/h	0.0 km/h	7.5 km/h
Wind Gust	66.5 km/h	--	11.3 km/h
Wind Direction	--	--	East
Pressure	1,027.43 hPa	1,014.56 hPa	--

Graph

Table

March 1, 2024 - March 31, 2024



April 1, 2024 - April 30, 2024

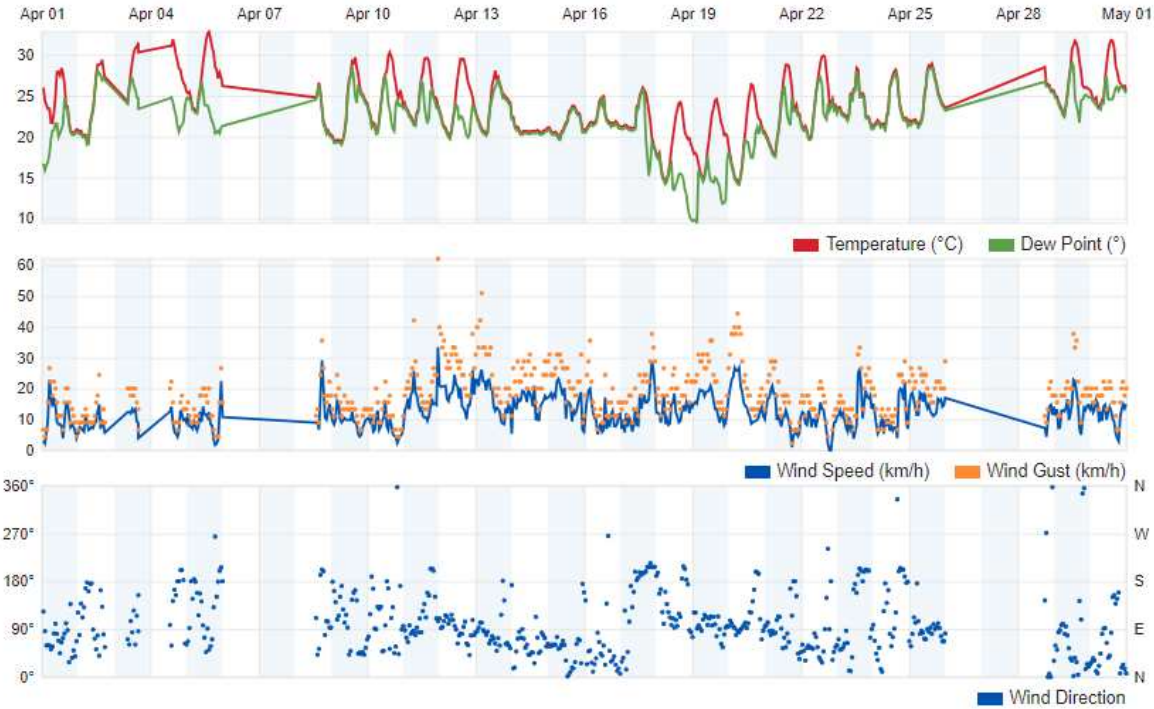
	High	Low	Average
Temperature	32.8 °C	13.7 °C	23.5 °C
Dew Point	29.2 °C	9.1 °C	21.5 °C
Humidity	99 %	48 %	90 %
Precipitation	78.74 mm	--	--

	High	Low	Average
Wind Speed	33.4 km/h	0.0 km/h	7.6 km/h
Wind Gust	62.1 km/h	--	11.1 km/h
Wind Direction	--	--	East
Pressure	1,027.09 hPa	1,016.93 hPa	--

Graph

Table

April 1, 2024 - April 30, 2024



May 1, 2024 - May 31, 2024

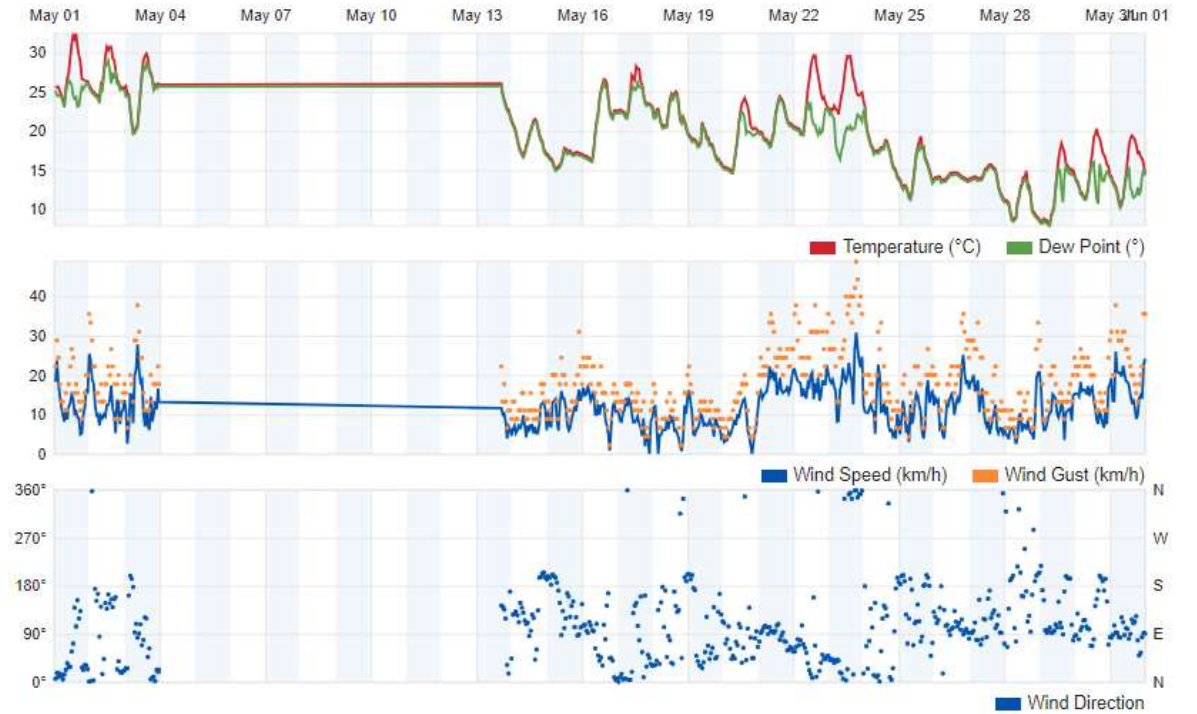
	High	Low	Average
Temperature	32.4 °C	8.0 °C	19.1 °C
Dew Point	28.9 °C	7.7 °C	17.9 °C
Humidity	99 %	50 %	94 %
Precipitation	16.77 mm	--	--

	High	Low	Average
Wind Speed	30.8 km/h	0.0 km/h	6.9 km/h
Wind Gust	48.8 km/h	--	10.3 km/h
Wind Direction	--	--	East
Pressure	1,030.48 hPa	1,015.92 hPa	--

Graph

Table

May 1, 2024 - May 31, 2024



8 ANEXO II – MATERIAL COMPLEMENTAR

8.1 MASSA FRESCA E SECA DA PARTE AÉREA

Tabela 11. Médias da massa fresca e seca da parte aérea (MFPA e MSPA) de plantas de soja, sob densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, no experimento 1.

MFPA (g)							
Tratamento	Densidade de infestação*						Média
	0	100	300	900	2700	8100	
Testemunha	39,38	44,66	49,05	42,85	25,46	9,00	35,07
Ilevo	23,90	43,85	31,25	38,88	30,03	25,13	32,17
Votivo Prime	36,00	42,95	38,35	38,20	30,05	9,63	32,53
Média	33,09	43,82	39,55	39,98	28,52	14,59	

MSPA (g)							
Tratamento	Densidade de infestação*						Média
	0	100	300	900	2700	8100	
Testemunha	7,74	8,91	9,01	9,30	5,34	1,66	6,99
Ilevo	4,99	9,46	6,13	8,12	6,59	5,70	6,83
Votivo Prime	7,15	8,74	6,69	8,40	6,77	1,89	6,60
Média	6,62	9,04	7,28	8,61	6,23	3,08	

*número de ovos e/ou juvenis de *Meloidogyne javanica* inoculados por planta. Dados descritivos.

Tabela 12. Análise de Deviance do modelo GLMM* para massa fresca de parte aérea (MFPA) da soja, sob densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 1.

Efeitos fixos				Efeitos aleatórios	
Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Bloco	Intercepto
Intercepto	51.542	7.742	6.657	I	17.617
Ilevo	-17.552	6.244	-2.811	II	-0.223
Votivo	-5.945	6.244	-0.952	III	-8.059
Densidade	-2.310	0.515	-4.489	IV	-9.334
Ilevo x densidade	2.055	0.723	2.824		
Votivo x densidade	0.478	0.723	0.657		

*Variância dos efeitos aleatórios: Var(bloco) = 161.8 (SD = 12.72); Var(residual) = 144.5 (SD = 12.02).

Tabela 13. Análise de Deviance do modelo GLMM* para massa seca de parte aérea (MSPA) da soja, sob densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 1.

Efeitos fixos				Efeitos aleatórios	
Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Bloco	Intercepto
Intercepto	10.153	1.525	6.656	I	3.168
Ilevo	-3.169	1.372	-2.309	II	0.136
Votivo	-1.159	1.372	-0.845	III	-1.548
Densidade	-0.443	0.113	-3.919	IV	-1.756
Ilevo x densidade	0.422	0.160	2.637		
Votivo x densidade	0.108	0.160	0.677		

*Variância dos efeitos aleatórios: Var(bloco) = 5.540 (SD = 2.354); Var(residual) = 6.982 (SD = 2.642).

Tabela 14. Médias da massa fresca e seca da parte aérea (MFPA e MSPA) das plantas de soja sob densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, no experimento 2.

MFPA (g)							
Tratamento	Densidade de infestação*						Média
	0	100	300	900	2700	8100	
Testemunha	86,99	80,95	81,85	72,90	84,00	61,40	78,01
Ilevo	81,60	86,50	72,75	71,20	76,90	59,05	74,67
Votivo Prime	80,95	97,05	80,80	78,00	84,05	47,59	78,07
Média	83,18	88,17	78,47	74,03	81,65	56,01	

MSPA (g)							
Tratamento	Densidade de infestação*						Média
	0	100	300	900	2700	8100	
Testemunha	20,53	20,60	20,43	17,36	19,01	15,29	18,87
Ilevo	19,81	22,06	17,61	17,69	18,35	14,89	18,40
Votivo Prime	19,44	23,60	20,58	19,64	19,76	11,54	19,09
Média	19,92	22,08	19,54	18,23	19,04	13,91	

*número de ovos e/ou juvenis de *Meloidogyne javanica* inoculados por planta. Dados descritivos.

Tabela 15. Análise de Deviance do modelo GLMM* para massa fresca de parte aérea (MFPA) da soja, sob densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 2.

Efeitos fixos				Efeitos aleatórios	
Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Bloco	Intercepto
Intercepto	87.928	7.092	12.397	I	-4.146
Ilevo	-2.875	7.899	-0.364	II	8.060
Votivo	5.806	7.899	0.735	III	5.339
Densidade	-1.389	0.651	-2.135	IV	-9.254
Ilevo x densidade	-0.066	0.921	-0.072		
Votivo x densidade	-0.806	0.921	-0.875		

*Variância dos efeitos aleatórios: Var(bloco) = 76.44 (SD = 8.743); Var(residual) = 231.26 (SD = 15.207).

Tabela 16. Análise de Deviance do modelo GLMM* para massa seca de parte aérea (MSPA) da soja, sob densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 2.

Efeitos fixos				Efeitos aleatórios	
Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Bloco	Intercepto
Intercepto	21.368	1.816	11.767	I	-1.276
Ilevo	-0.456	1.953	-0.234	II	1.986
Votivo	1.638	1.953	0.839	III	1.740
Densidade	-0.350	0.161	-2.177	IV	-2.451
Ilevo x densidade	-0.001	0.227	-0.007		
Votivo x densidade	-0.198	0.227	-0.872		

*Variância dos efeitos aleatórios: Var(bloco) = 5.558 (SD = 2.358); Var(residual) = 14.147 (SD = 3.761).

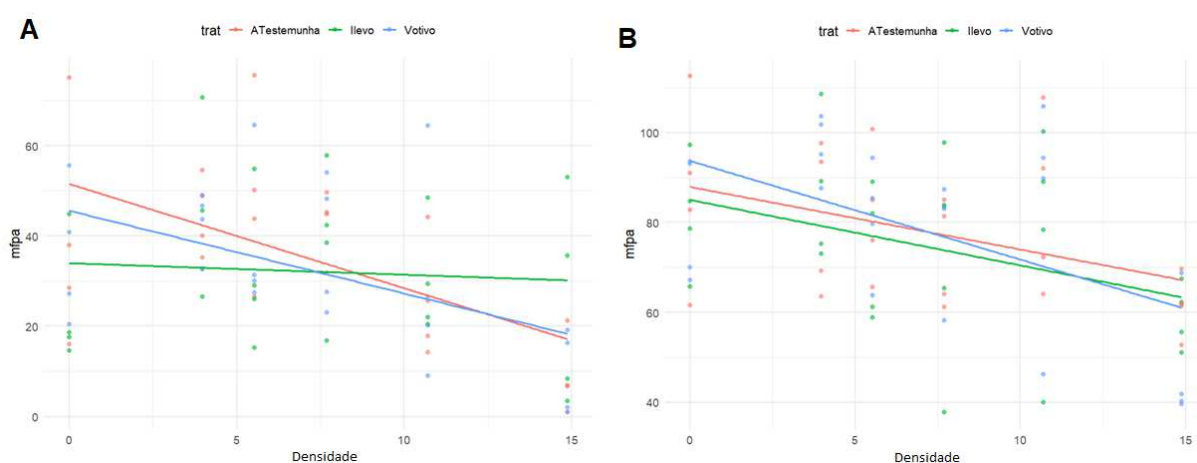


Figura 12. Comportamento da variável Massa fresca da parte aérea (MFPA) das plantas de soja em função das densidades crescentes (densidade^{0,3}) de inóculo inicial de *Meloidogyne javanica*. Primeiro experimento (A) avaliado aos 63 DAI (dias após a inoculação) e segundo experimento (B) avaliado aos 62 DAI, com e sem nematicidas, utilizando o modelo GLMM.

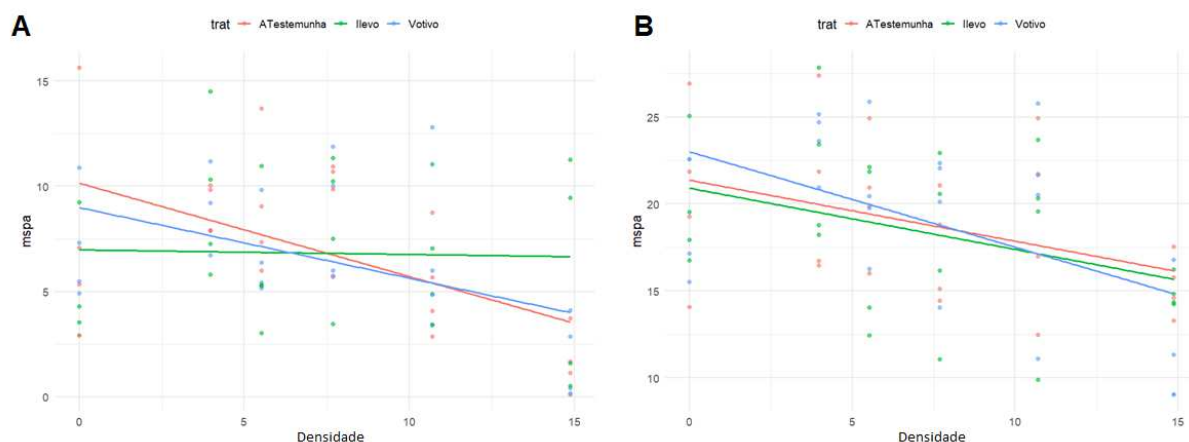


Figura 13. Comportamento da variável Massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas de soja em função das densidades crescentes (densidade^{0,3}) de inóculo inicial de *Meloidogyne javanica*. Primeiro experimento (A) avaliado aos 63 DAI (dias após a inoculação) e segundo experimento (B) avaliado aos 62 DAI, com e sem nematicidas, utilizando o modelo GLMM.

8.2 MASSA FRESCA DE RAIZ

Tabela 17. Médias da massa fresca de raiz (MFR) das plantas de soja sob densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, no experimento 1.

Avaliação 1							
Tratamento	Densidade de infestação*						Média
	0	100	300	900	2700	8100	
Testemunha	8,11	13,02	13,67	18,47	14,08	8,48	12,64
Ilevo	6,83	8,93	6,78	9,83	9,06	8,31	8,29
Votivo Prime	7,67	11,39	12,80	14,84	14,93	7,52	11,53
Média	7,54	11,11	11,08	14,38	12,69	8,10	

Avaliação 2							
Tratamento	Densidade de infestação*						Média
	0	100	300	900	2700	8100	
Testemunha	5,59	13,58	19,50	15,95	18,99	16,24	14,97
Ilevo	6,18	11,16	20,05	36,34	19,64	25,51	19,81
Votivo Prime	6,14	31,74	34,60	29,99	14,12	16,37	22,16
Média	5,97	18,83	24,72	27,43	17,58	19,37	

*número de ovos e/ou juvenis de *Meloidogyne javanica* inoculados por planta. Dados descritivos.

Tabela 18. Análise de Deviance do modelo GLM* para massa fresca de raiz (MFR) da soja, sob densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 1.

Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Pr(> t)
Intercepto	2.4371	0.1010	24.125	< 2e-16***
Ilevo	-0.3978	0.1429	-2.784	0.00692**
Votivo	-0.1048	0.1429	-0.733	0.46580

*Parâmetro de dispersão (família Gaussiana): 0.244915. Desvio nulo: 18.939 (71 GL). Desvio residual: 16.899 (69 GL). AIC: 107.97. Número de interações de Fisher Scoring: 2

Tabela 19. Análise de Deviance do modelo GLMM* para massa fresca de raiz (MFR) da soja, sob densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, correspondente à segunda avaliação do experimento 1.

Efeitos fixos				Efeitos aleatórios	
Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Bloco	Intercepto
Intercepto	2.147	0.269	7.975	I	0.106
Ilevo	-0.022	0.326	-0.068	II	-0.133
Votivo	0.574	0.326	1.763	III	-0.262
Densidade	0.061	0.027	2.265	IV	0.289
Ilevo x densidade	0.021	0.038	0.566		
Votivo x densidade	-0.053	0.038	-1.394		

*Variância dos efeitos aleatórios: Var(bloco) = 0.077 (SD = 0.278); Var(residual) = 0.393 (SD = 0.627).

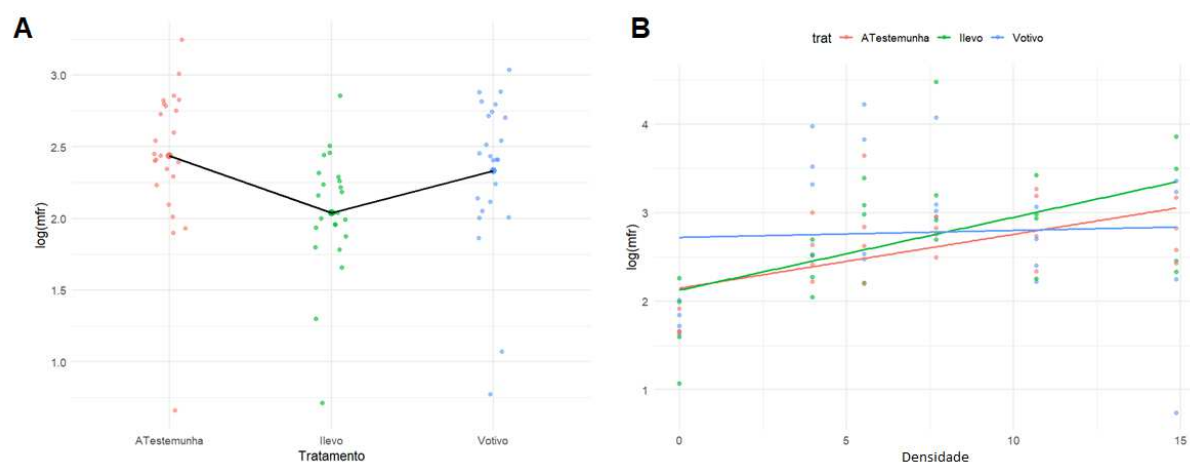


Figura 14. Comportamento da variável Massa fresca de raiz (MFR) das plantas de soja em função das densidades crescentes de inóculo inicial (densidade^{0,3}) de *Meloidogyne javanica*. Primeira (A) e segunda (B) avaliações do experimento 1, realizadas aos 63 e 119 DAI (dias após a inoculação), com e sem nematicidas, utilizando os modelos GLM e GLMM, respectivamente.

Tabela 20. Médias da massa fresca de raiz (MFR) das plantas de soja sob densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, no experimento 2.

Avaliação 1							
Tratamento	Densidade de infestação*						Média
	0	100	300	900	2700	8100	
Testemunha	8,31	8,83	12,70	13,82	16,70	22,14	13,75
Ilevo	7,97	8,36	8,35	9,62	11,49	12,83	9,77
Votivo Prime	7,16	10,13	12,15	14,59	17,70	22,94	14,11
Média	7,81	9,11	11,06	12,67	15,30	19,30	

Avaliação 2							
Tratamento	Densidade de infestação*						Média
	0	100	300	900	2700	8100	
Testemunha	8,05	11,65	15,58	18,05	31,05	23,15	17,92
Ilevo	8,21	10,76	9,11	12,27	17,15	18,73	12,70
Votivo Prime	7,08	14,11	13,82	19,87	26,04	19,62	16,75
Média	7,78	12,17	12,84	16,73	24,74	20,50	

*número de ovos e/ou juvenis de *Meloidogyne javanica* inoculados por planta. Dados descritivos.

Tabela 21. Análise de Deviance do modelo GLMM* para massa fresca de raiz (MFR) da soja, sob densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 2.

Efeitos fixos				Efeitos aleatórios	
Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Bloco	Intercepto
Intercepto	2.057	0.062	32.964	I	-0.030
lleva	-0.059	0.082	-0.712	II	-0.007
Votivo	-0.054	0.082	-0.652	III	0.049
Densidade	0.069	0.006	10.278	IV	-0.012
lleva x densidade	-0.034	0.009	-3.605		
Votivo x densidade	0.009	0.009	0.968		

*Variância dos efeitos aleatórios: Var(bloco) = 0.002024 (SD = 0.04499); Var(residual) = 0.025129 (SD = 0.15852).

Tabela 22. Análise de Variância do modelo LM* para massa fresca de raiz (MFR) da soja, sob densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, correspondente à segunda avaliação do experimento 2.

Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Pr(> t)
Intercepto	2.187	0.103	21.184	< 2e-16***
lleva	-0.121	0.146	-0.828	0.410
Votivo	0.019	0.146	0.132	0.895
Densidade	0.082	0.012	6.873	2.72e-09***
lleva x densidade	-0.025	0.017	-1.484	0.143
Votivo x densidade	-0.011	0.017	-0.662	0.510

*Parâmetro R²: 0.646, Estatística F: 24.13, com 5 e 66 graus de liberdade; P. valor: 1.01e-13

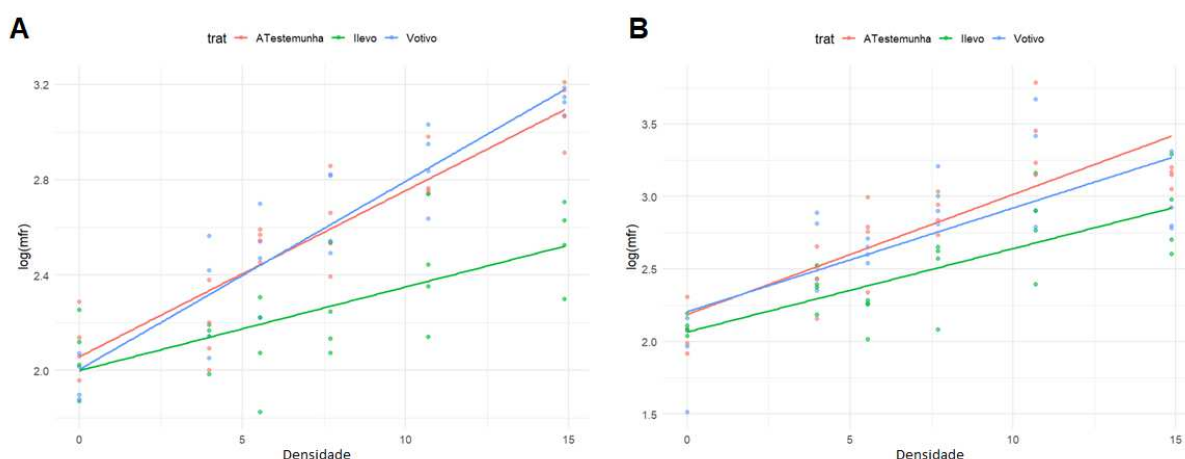


Figura 15. Comportamento da variável Massa fresca de raiz (MFR) das plantas de soja em função das densidades crescentes (densidade^{0,3}) de inóculo inicial de *Meloidogyne javanica*. Primeira (A) e segunda (B) avaliações do experimento 2, realizadas aos 62 e 103 DAI (dias após a inoculação), com e sem nematicidas, utilizando os modelos GLMM e LM, respectivamente.

8.3 POPULAÇÃO FINAL DE *MELOIDOGYNE JAVANICA***Tabela 23.** População final (número de ovos e/ou juvenis) de *Meloidogyne javanica* em plantas de soja sob densidades crescentes de inóculo, com e sem nematicidas, no experimento 1.

Avaliação 1							
Tratamento	Densidade de infestação*						
	0	100	300	900	2700	8100	Média
Testemunha	0	323622	365393	684365	276590	91915	348377
Ilevo	0	13383	30702	53986	23369	132967	50881
Votivo Prime	0	203478	375499	579003	246344	82450	297355
Média	0	180161	257198	439118	182101	102444	

Avaliação 2							
Tratamento	Densidade de infestação*						
	0	100	300	900	2700	8100	Média
Testemunha	0	189431	189320	106200	29699	470773	197084
Ilevo	0	81894	200622	510488	311105	299644	280751
Votivo Prime	0	382266	439300	196566	278583	403851	340113
Média	0	217864	276414	271084	206462	391422	

*número de ovos e/ou juvenis de *Meloidogyne javanica* inoculados por planta. Dados descritivos.

Tabela 24. Análise de Deviance do modelo GLM* para população final (PF) de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja, sob densidades crescentes de inóculo, com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 1.

Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Pr(> t)
Intercepto	13.010	0.233	5.831	< 2e-16 ***
Ilevo	-3.062	0.329	-9.292	8.61e-13 ***
Votivo	-0.283	0.329	-0.859	0.393866
Densidade	-2.406e-04	6.064e-05	-3.967	0.000216 ***
Ilevo x densidade	4.027e-04	8.575e-05	4.65	1.87e-05 ***
Votivo x densidade	1.917e-05	8.575e-05	0.224	0.823928

*Parâmetro de dispersão (família Gaussiana): 0.654. Desvio nulo: 111.325 (59 GL). Desvio residual: 35.365 (54 GL). AIC: 152.56. Número de interações de Fisher Scoring: 2

Tabela 25. Análise de Deviance do modelo GLMM* para população final (PF) de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja, sob densidades crescentes de inóculo, com ou sem nematicidas, correspondente à segunda avaliação do experimento 1.

Efeitos fixos				Efeitos aleatórios	
Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Bloco	Intercepto
Intercepto	11.192	0.442	25.301	I	0.124
Ilevo	0.174	0.484	0.359	II	-0.610
Votivo	1.309	0.484	2.702	III	-0.180
Densidade	0.111	0.036	3.066	IV	0.666
Ilevo x densidade	-0.016	0.051	-0.311		
Votivo x densidade	-0.119	0.051	-2.322		

*Variância dos efeitos aleatórios: Var(bloco) = 0.313 (SD = 0.559); Var(residual)= 0.400 (SD = 0.633).

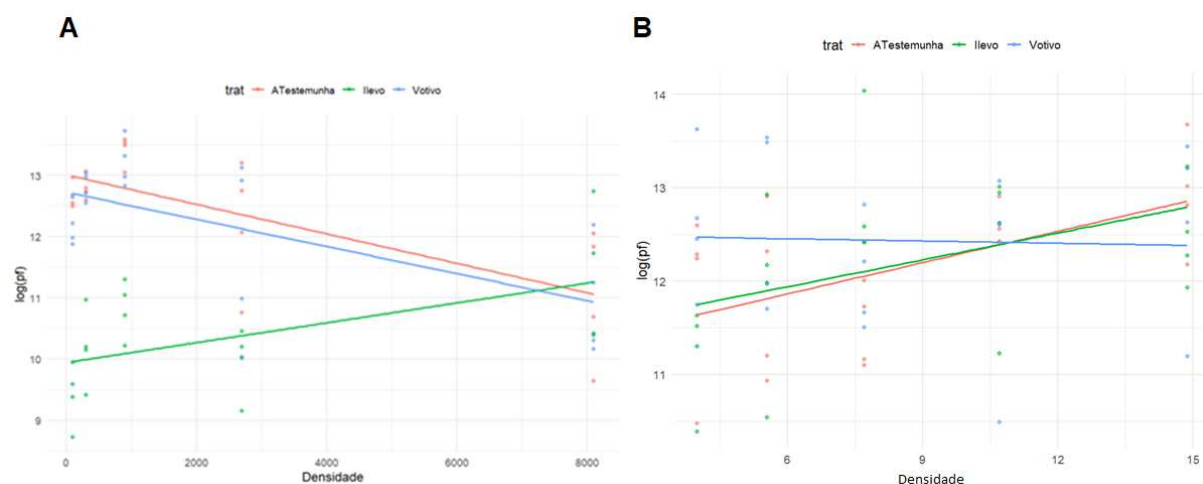


Figura 16. Comportamento da variável População final (PF) de *Meloidogyne javanica* em função das densidades crescentes (densidade^{0,3}) de inóculo inicial na soja. Primeira (A) e segunda (B) avaliações do experimento 1, realizadas aos 63 e 119 DAI (dias após a inoculação), com e sem nematicidas, utilizando os modelos GLM e GLMM, respectivamente.

Tabela 26. População final (número de ovos e/ou juvenis) de *Meloidogyne javanica* na soja, com densidades crescentes de inóculo, com ou sem nematicidas, no experimento no experimento 2.

Avaliação 1							
Tratamento	Densidade de infestação*						
	0	100	300	900	2700	8100	Média
Testemunha	0	47276	261535	484721	460174	441331	339007
Ilevo	0	3116	35770	66127	143696	291572	108056
Votivo Prime	0	39793	259910	465058	646193	645867	411364
Média	0	30062	185738	338635	416688	459590	

Avaliação 2							
Tratamento	Densidade de infestação*						
	0	100	300	900	2700	8100	Média
Testemunha	0	11252	64574	111442	453837	677086	263638
Ilevo	0	15592	12614	38878	178531	341625	117448
Votivo Prime	0	20385	74234	139871	375232	442956	210536
Média	0	15743	50474	96730	335867	487222	

*número de ovos e/ou juvenis de *Meloidogyne javanica* inoculados por planta. Dados descritivos.

Tabela 27. Análise de Deviance do modelo GLM* para população final (PF) de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja, sob densidades crescentes de inóculo, com e sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 2.

Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Pr(> t)
Intercepto	11.131	0.458	21.312	< 2e-16***
Ilevo	-3.594	0.647	-5.552	8.83e-07***
Votivo	-0.478	0.647	-0.739	0.46304
Densidade	0.152	0.048	3.130	0.00282**
Ilevo x densidade	0.213	0.068	3.095	0.00311**
Votivo x densidade	0.061	0.068	0.885	0.38009

*Parâmetro de dispersão (família Gaussiana): 0.7155. Desvio nulo: 142.515 (59 GL). Desvio residual: 38.642 (54 GL). AIC: 157.87. Número de interações de Fisher Scoring: 2.

Tabela 28. Análise de Deviance do modelo GLM* para população final (PF) de *Meloidogyne javanica* na cultura da soja, sob densidades crescentes de inóculo, com ou sem nematicidas, correspondente à segunda avaliação do experimento 2.

Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Pr(> t)
Intercepto	8.906	0.253	35.184	< 2e-16***
Ilevo	-0.941	0.221	-4.256	7.99e-05 ***
Votivo	0.038	0.221	0.174	0.862
Densidade	0.320	0.023	13.762	< 2e-16***

* Parâmetro de dispersão (família Gaussiana): 0.489. Desvio nulo: 132.342 (59 GL). Desvio residual: 27.389 (59 GL). AIC: 133.22. R² marginal: 0.784

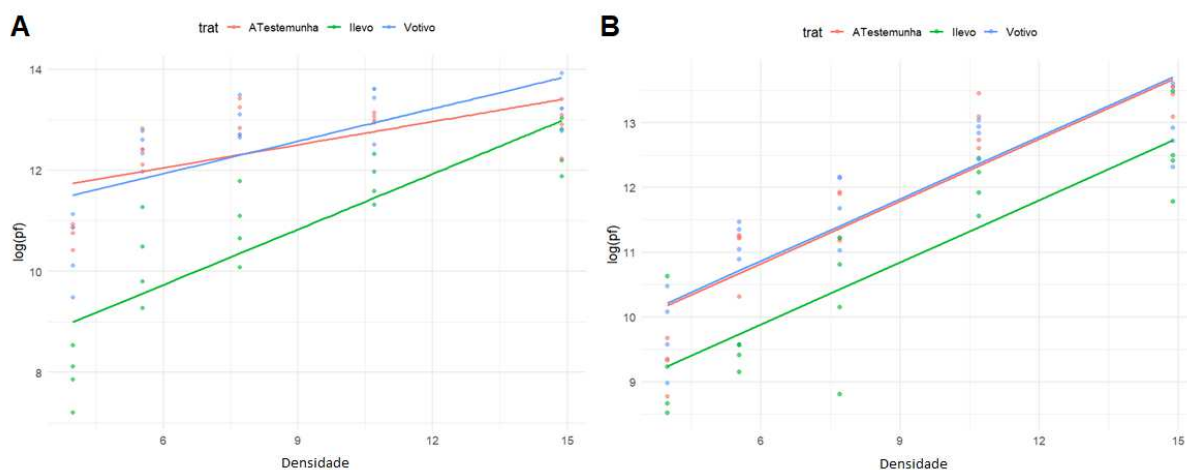


Figura 17. Comportamento da variável População final (PF) de *Meloidogyne javanica* em função das densidades crescentes (densidade^{0,3}) de inóculo inicial na soja, com ou sem nematicidas. Primeira (A) e segunda (B) avaliações do experimento 2, realizadas aos 62 e 103 DAI (dias após a inoculação), respectivamente, utilizando o modelo GLM.

8.4 NÚMERO DE NEMATOIDES POR GRAMA DE RAIZ

Tabela 29. Número de nematoides por grama de raiz (NNGR) de soja, inoculada com densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, no experimento 1.

Avaliação 1							
Tratamento	Densidade de infestação*						Média
	0	100	300	900	2700	8100	
Testemunha	0	25376	28196	42030	20671	10850	25425
llevo	0	2101	5386	5537	2373	20857	7251
Votivo Prime	0	18186	29977	38579	15220	11598	22712
Média	0	15221	21186	28715	12755	14435	

Avaliação 2							
Tratamento	Densidade de infestação*						Média
	0	100	300	900	2700	8100	
Testemunha	0	12636	8745	7435	16789	30872	15295
llevo	0	7232	10105	15706	16168	16781	13198
Votivo Prime	0	14018	12281	5248	17966	28160	15535
Média	0	11295	10377	9463	16975	25271	

*número de ovos e/ou juvenis de *Meloidogyne javanica* inoculados por planta. Dados descritivos.

Tabela 30. Análise de Deviance do modelo GLM* para número de nematoides por grama de raiz (NNGR) da soja, inoculada com densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, correspondente à segunda avaliação do experimento 1.

Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Pr(> t)
Intercepto	10.34	0.1800	57.433	< 2e-16***
lleva	-2.498	0.2546	-9.810	1.34e-13***
Votivo	-0.2541	0.2546	-0.998	0.32278
Densidade	-0.0001397	0.00004686	-2.982	0.00429**
lleva x densidade	0.0003741	0.00006626	5.645	6.28e-07***
Votivo x densidade	0.00002950	0.00006626	0.445	0.65795

*Parâmetro de dispersão (família Gaussiana): 0.391. Desvio nulo: 66.918 (59 GL). Desvio residual: 21.116 (54 GL). AIC: 121.61. Número de interações de Fisher Scoring: 2.

Tabela 31. Análise de Deviance do modelo GLM* para número de nematoides por grama de raiz (NNGR) da soja, inoculada com densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, correspondente à segunda avaliação do experimento 1.

Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Pr(> t)
Intercepto	8.983	0.1676	53.605	< 2e-16***
lleva	0.1779	0.2370	0.751	0.456122
Votivo	0.1376	0.2370	0.581	0.563818
Densidade	0.0001558	0.00004362	3.573	0.000752***
lleva x densidade	0.00007413	0.00006168	-1.202	0.234673
Votivo x densidade	0.00002203	0.00006168	-0.357	0.722341

*Parâmetro de dispersão (família Gaussiana): 0.338. Desvio nulo: 27.098 (59 GL). Desvio residual: 18.298 (54 GL). AIC: 113.02. Número de interações de Fisher Scoring: 2.

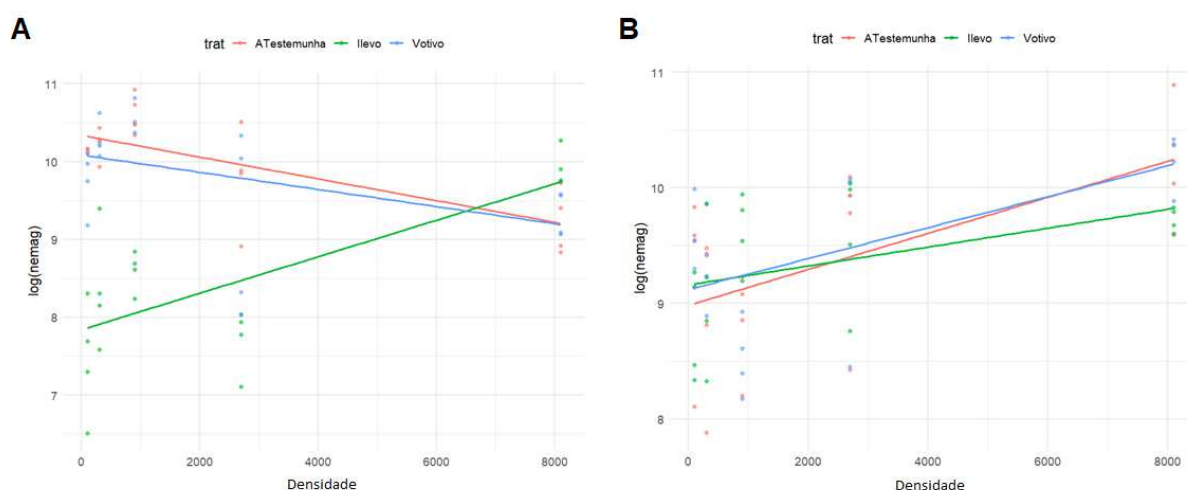


Figura 18. Comportamento da variável Número de nematoides por grama de raiz (NNGR) de soja, em função das densidades crescentes de inóculo inicial de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas. Primeira (A) e segunda (B) avaliações do experimento 1, realizadas aos 63 e 119 DAI (dias após a inoculação), respectivamente, utilizando o modelo GLM.

Tabela 32. Número de nematoides por grama de raiz (NNGR) de soja, inoculada com densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, no experimento 2.

Avaliação 1							
Tratamento	Densidade de infestação*						
	0	100	300	900	2700	8100	Média
Testemunha	0	5055	20374	33695	28480	21931	21907
Ilevo	0	365	5135	6429	11936	21416	9056
Votivo Prime	0	3712	20168	31771	35190	29825	24133
Média	0	3044	15226	23965	25202	24390	

Avaliação 2							
Tratamento	Densidade de infestação*						
	0	100	300	900	2700	8100	Média
Testemunha	0	940	3888	6067	16237	27259	10878
Ilevo	0	1166	1249	2504	10710	16477	6421
Votivo Prime	0	1461	5681	6539	14707	18563	9390
Média	0	1189	3606	5037	13885	20766	

*número de ovos e/ou juvenis de *Meloidogyne javanica* inoculados por planta. Dados descritivos.

Tabela 33. Análise de Deviance do modelo GLM* para número de nematoides por grama de raiz (NNGR) da soja, inoculada com densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, correspondente à primeira avaliação do experimento 2.

Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Pr(> t)
Intercepto	9.016	0.440	20.483	< 2e-16***
Ilevo	-3.420	0.622	-5.494	1.09e-06***
Votivo	-0.467	0.622	-0.751	0.455628
Densidade	0.088	0.047	1.894	0.063528
Ilevo x densidade	0.234	0.066	3.534	0.000848***
Votivo x densidade	0.055	0.066	0.845	0.402074

*Parâmetro de dispersão (família Gaussiana): 0.661. Desvio nulo: 102.791 (59 GL). Desvio residual: 35.717 (54 GL). AIC: 153.15. Número de interações de Fisher Scoring: 2.

Tabela 34. Análise de Deviance do modelo GLMM* para número de nematoides por grama de raiz (NNGR) da soja, inoculada com densidades crescentes de inóculo de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas, correspondente à segunda avaliação do experimento 2.

Efeitos fixos				Efeitos aleatórios	
Efeito	Estimativa	Erro Padrão	t valor	Bloco	Intercepto
Intercepto	6.272	0.315	19.922	I	-0.124
Ilevo	-0.613	0.425	-1.441	II	-0.025
Votivo	0.736	0.425	1.732	III	-0.064
Densidade	0.284	0.032	8.866	IV	0.213
Ilevo x densidade	-0.005	0.045	-0.115		
Votivo x densidade	-0.079	0.045	-1.745		

*Variância dos efeitos aleatórios: Var(bloco) = 0.034 (SD = 0.187); Var(residual) = 0.308 (SD = 0.555).

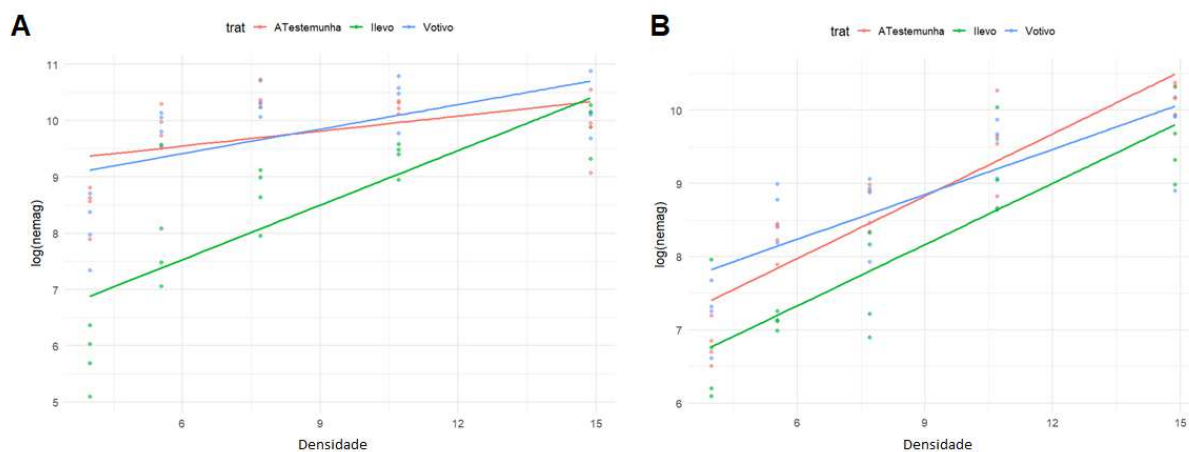


Figura 19. Comportamento da variável Número de nematoides por grama de raiz (NNGR) em função das densidades crescentes ($\text{densidade}^{0,3}$) de inóculo inicial de *Meloidogyne javanica*, com ou sem nematicidas. Primeira (A) e segunda (B) avaliações do experimento 2, realizadas aos 62 e 103 DAI (dias após a inoculação), utilizando os modelos GLMM e GLM, respectivamente.