



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS URUTAÍ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROTEÇÃO DE PLANTAS

Manejo nutricional, químico e biológico de *Heterodera glycines* e *Pratylenchus brachyurus* na cultura da soja

Marcos Vinícios Ferreira Rocha
Eng. Agrônomo

Urutaí – GO
2026

Marcos Vinícios Ferreira Rocha

Manejo nutricional, químico e biológico de *Heterodera glycines* e *Pratylenchus brachyurus* na cultura da soja

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Gleina Costa Silva Alves

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

R672 Ferreira Rocha, Marcos Vinícios
 Manejo nutricional, químico e biológico de *Heterodera glycines*
 e *Pratylenchus brachyurus* na cultura da soja / Marcos Vinícios
 Ferreira Rocha. Urutaí 2026.

 29f. il.

 Orientadora: Prof^ª. Dra. Gleina Costa Silva Alves.
 Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de
 0133054 - Mestrado Profissional em Proteção de Plantas - Urutaí
 (Campus Urutaí).
 1. Nematologia. 2. Nutrição de plantas. 3. Controle Biológico. 4.
 Indução de resistência. 5. Manejo de nematoides. I. Título.

Dissertação apresentada ao Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas para obtenção do título de MESTRE.

Urutaí – GO
2026

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese (doutorado) | ☐ Artigo científico |
| ☒ Dissertação (mestrado) | ☐ Capítulo de livro |
| ☐ Monografia (especialização) | ☐ Livro |
| ☐ TCC (graduação) | ☐ Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Marcos Vinícios Ferreira Rocha

Matrícula:

Título do trabalho:

Influência de Boro e Cobre na dinâmica populacional de *Heterodera glycines* e *Pratylenchus brachyurus* na cultura da soja

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 17 /07/ 2026

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Ipameri

Local

16 /07/ 2026

Data

Documento assinado digitalmente
MARCOS VINÍCIOS FERREIRA ROCHA
Data: 16/07/2026 13:56:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente
GLEINA COSTA SILVA ALVES
Data: 22/07/2026 13:31:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 67/2026 - REPG-URT/DPGPI-UR/CMPURT/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos vinte quatro dias de junho do ano de dois mil e vinte e seis, às dez horas, reuniram-se por videoconferência os componentes da banca examinadora, para procederem à avaliação da defesa de dissertação em nível de mestrado, de autoria de **Marcos Vinícios Ferreira Rocha**, discente do Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas do Instituto Federal Goiano - Campus Urutai, com trabalho intitulado "Manejo nutricional, químico e biológico de *Heterodera glycines* e *Pratylenchus brachyurus* na cultura da soja". A sessão foi aberta pelo presidente da banca examinadora, Prof^º. Dr^º. Gleina Costa Silva Alves, que fez a apresentação formal dos membros da banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da dissertação para, em 30 minutos, proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu ao examinado, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Proteção de Plantas, a dissertação foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM PROTEÇÃO DE PLANTAS**, na área de concentração em **Fitossanidade**, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Urutai. A conclusão do curso dar-se-á mediante ao depósito da dissertação definitiva no Repositório Institucional do IF Goiano, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação de mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da banca examinadora.

Membros da Banca Examinadora:

Nome	Instituição	Situação no Programa
Prof ^º . Dr ^º . Gleina Costa Silva Alves	IF Goiano	Presidente
Prof ^º . Dr ^º . Thaís Fernandes de Jesus Conceschi	IF Goiano	Membra interna
Prof ^º . Dr ^º . Flivia Fernandes de Jesus Souza	UEG Ipameri	Membra externa

Documento assinado eletronicamente por:

- Gleina Costa Silva Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 03/07/2026 15:30:59.
- Thaís Fernandes de Jesus, PROF ENS BAS TEC TECNOLÓGICO-SUBSTITUTO, em 03/07/2026 15:39:32.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 28/05/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 824305
Código de Autenticação: 5308fcb6fa



Documento assinado digitalmente
gov.br FLIVIA FERNANDES DE JESUS SOUZA
Data: 03/07/2026 15:52:38-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Urutai
Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2.5, SN, Zona Rural, URUTAI / GO, CEP 75790-000
(64) 3465-1900

Dedico aos meus pais

Valdeir Alves Rocha e

Cláudia Ferreira de Paula;

Ofereço à minha esposa Hellen Cássia e minha
filha Helena que me apoiam e são o meu
combustível para a vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS, por todas as oportunidades concedidas e por ter sido meu guia e instrução nos momentos de maior dificuldade.

Aos meus pais, que sempre foram meu alicerce e me ensinaram o valor do trabalho e da perseverança no campo e na vida.

À minha esposa e à minha filha, pelo amor incondicional, pela paciência nas minhas ausências durante o mestrado e por serem meu maior incentivo diário.

À minha professora orientadora, Gleina, minha profunda gratidão por ter me aceitado como seu orientando. Obrigado pela confiança depositada em meu potencial, pelos ensinamentos técnicos e pela condução sábia durante esta caminhada.

Ao professor Flávio, por ter emprestado seus equipamentos, que foram fundamentais para o seguimento do experimento.

Aos alunos de graduação Alessia Ferreira, Ana Luiza e Kauan Oliveira, por terem me auxiliado na condução e avaliação das parcelas.

Ao IF Goiano e ao PPGPP, pela oportunidade de participar do programa de Pós-graduação profissional e pela disponibilização dos espaços e equipamentos da instituição na execução de meu projeto.

Ao produtor Márcio Fernandes e sua esposa Fabiana, por terem concedido o espaço para montagem e condução do trabalho.

A todos que de forma direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, mas que não foram citados aqui, deixo meus agradecimentos.

SUMÁRIO

RESUMO	7
INTRODUÇÃO	8
OBJETIVOS	10
MATERIAL E MÉTODOS.....	10
RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
CONCLUSÃO.....	24
REFERÊNCIAS	26

Resumo

A soja (*Glycine max* L.) representa uma das principais culturas do agronegócio brasileiro, sendo frequentemente afetada por fitonematoides, com destaque para *Heterodera glycines* e *Pratylenchus brachyurus*, responsáveis por importantes perdas produtivas. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de Boro (B) e Cobre (Cu) sobre a dinâmica populacional desses nematoides, bem como sobre a produtividade e a viabilidade econômica da cultura da soja.

O experimento foi conduzido no município de Urutaí-GO, em delineamento de blocos casualizados, com 18 tratamentos e quatro repetições, incluindo aplicações de B via solo, Cu via foliar, além de padrões químico, biológico e testemunha. As avaliações nematológicas foram realizadas aos 30 e 60 dias após a emergência (DAE). Os resultados indicaram variação numérica da população de *H. glycines* e *P. brachyurus* nos tratamentos com maiores doses de Boro, isoladamente ou em associação com Cobre.

Adicionalmente, observou-se variação numérica na quantidade de cistos inviáveis no solo em tratamentos contendo associação entre os micronutrientes. Entretanto, as diferenças observadas entre tratamentos não apresentaram significância estatística pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A produtividade da cultura foi limitada por condições severas de déficit hídrico durante aproximadamente 40 dias do ciclo, associadas à possível fitotoxicidade das maiores doses dos micronutrientes, resultando em baixos rendimentos em todas as parcelas experimentais. Dessa forma, os resultados sugerem que o manejo nutricional com Boro e Cobre pode estar associado a variações numéricas na dinâmica populacional dos fitonematoides, embora não tenha sido comprovado efeito de controle nas condições em que o trabalho foi conduzido. Recomenda-se a realização de novos estudos, preferencialmente em ambiente controlado e em diferentes condições de campo, para avaliar doses intermediárias e verificar a possível relação entre o estado nutricional da planta, a dinâmica populacional dos nematoides e a estabilidade fisiológica da cultura.

Palavras-chave: *Glycine max*; fitonematoides; micronutrientes; manejo nutricional; nematologia.

Introdução

A soja (*Glycine max* L.) consolida-se como a principal cultura do agronegócio brasileiro, exercendo elevada importância econômica, social e produtiva. Na safra 2024/25, o Brasil registrou produção estimada em aproximadamente 171,47 milhões de toneladas de soja, cultivadas em área próxima de 47,6 milhões de hectares, reafirmando sua posição de destaque no cenário mundial da oleaginosa (CONAB, 2025). Além da produção de grãos, farelo e óleo, a cadeia produtiva da soja apresenta forte participação na geração de biodiesel e na economia nacional.

Apesar da expressiva relevância econômica, a cultura da soja enfrenta constantes desafios fitossanitários, entre os quais se destacam os fitonematoides. Esses organismos parasitam, na maioria das vezes, o sistema radicular, comprometem a absorção de água e nutrientes, reduzem o vigor das plantas e podem favorecer a ocorrência de infecções secundárias, resultando em perdas produtivas e econômicas significativas. Estimativas atribuídas à Sociedade Brasileira de Nematologia indicam que os nematoides podem causar prejuízos próximos de R\$ 35 bilhões por ano ao agronegócio brasileiro, sendo aproximadamente R\$ 16,2 bilhões associados somente à cultura da soja (COUTINHO; ZAMBIASI, 2024; APROSOJA-MS, 2015).

Além das perdas diretas em produtividade, a presença de fitonematoides eleva os custos de produção devido à necessidade de adoção de estratégias integradas de manejo, como tratamento de sementes, uso de nematicidas químicos e biológicos, rotação de culturas, escolha de cultivares com algum nível de resistência e monitoramento populacional. Esse aumento na demanda por controle é evidenciado pelo crescimento do mercado brasileiro de nematicidas, que passou de aproximadamente R\$ 160 milhões na safra 2014/15 para cerca de R\$ 1,6 bilhão na safra 2021/22 (SEED NEWS, 2023).

Nesse contexto, a nutrição mineral exerce papel relevante nos mecanismos de defesa vegetal, influenciando características estruturais e respostas bioquímicas associadas à tolerância das plantas a estresses bióticos e abióticos (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007; MARSCHNER, 2012). Nutrientes como Potássio (K), Cálcio (Ca) e Nitrogênio (N) participam de processos relacionados à integridade celular, sinalização fisiológica e metabolismo de compostos de defesa (HUBER; RÖMHELD; WEINMANN, 2012). Adicionalmente, micronutrientes como Boro (B) e Cobre (Cu) têm sido associados à manutenção da integridade da parede celular, diferenciação vascular e ativação de enzimas relacionadas à defesa vegetal

(FURLANI, 2004; GUERRA et al., 2021).

O Boro participa de processos relacionados à estabilidade estrutural da parede celular, integridade de membranas e desenvolvimento dos tecidos vasculares, enquanto o Cobre atua em sistemas enzimáticos ligados ao metabolismo oxidativo e às respostas fisiológicas da planta ao estresse (MARSCHNER, 2012; TAIZ et al., 2017). Dessa forma, o manejo nutricional desses micronutrientes pode influenciar indiretamente a interação entre planta e fitonematoides, contribuindo para o fortalecimento dos tecidos radiculares e para a redução da vulnerabilidade da planta ao parasitismo.

Dentre os principais nematoides associados à cultura da soja, destaca-se *Heterodera glycines*, conhecido como nematoide de cisto da soja. Esse patógeno apresenta elevada capacidade de sobrevivência no solo devido à permanência dos ovos protegidos no interior dos cistos, o que dificulta seu manejo em áreas infestadas (FERRAZ; BROWN, 2016). O ciclo do patógeno inicia-se com a penetração do juvenil de segundo estágio (J2) nas raízes, seguida pela formação de sítios especializados de alimentação, os quais comprometem o funcionamento radicular e afetam o desenvolvimento da planta (MACHADO; SILVA; FERRAZ, 2019).

Outro patógeno de elevada importância é *Pratylenchus brachyurus*, conhecido como nematoide das lesões radiculares, considerado um dos principais problemas nematológicos no sistema soja-milho no Cerrado brasileiro. Esse nematoide apresenta hábito endoparasita migrador, deslocando-se pelo parênquima cortical e provocando destruição celular mecânica e enzimática. Como consequência, ocorre formação de lesões necróticas, redução da integridade radicular, menor eficiência na absorção de água e nutrientes e maior predisposição da planta a estresses fisiológicos e infecções secundárias (FERRAZ; BROWN, 2016; OLIVEIRA et al., 2018).

Diante da importância econômica da soja, dos prejuízos causados pelos fitonematoides e dos crescentes investimentos em estratégias de manejo, torna-se relevante avaliar alternativas complementares que possam contribuir para a redução populacional desses patógenos. Assim, o estudo da influência de Boro e Cobre sobre a dinâmica populacional de *Heterodera glycines* e *Pratylenchus brachyurus* pode auxiliar na compreensão do papel do manejo nutricional como ferramenta integrada no manejo de fitonematoides em condições de campo.

OBJETIVOS

Avaliar a influência de diferentes doses de Boro e Cobre, aplicadas de forma isolada ou combinada, sobre a dinâmica populacional de *Heterodera glycines* e *Pratylenchus brachyurus* na cultura da soja, bem como comparar o desempenho desses tratamentos nutricionais com padrões químico e biológico de manejo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em uma área de produção comercial de soja sob manejo de sequeiro, localizada no município de Urutaí - GO, Brasil (17°23'39.93"S, 48°10'6.18"O), conforme a figura 1, com altitude média de 700 m.

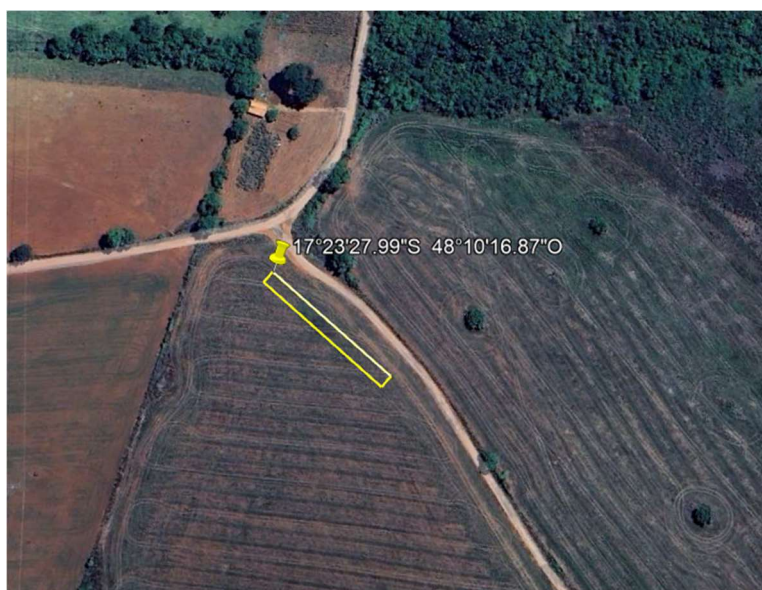


Figura 1. Mapa da área experimental
Fonte: Google Earth(2026)

A seleção da área fundamentou-se no histórico de cultivo e na presença de reboleiras indicativas de alta infestação. O clima da região é do tipo Aw (Tropical com estação seca), e o solo na camada de 0-20 cm apresentou textura argilosa (47,6% de argila) e saturação por bases ($V\% = 69,1$), como pode ser observado nos resultados da análise de solo realizada na área experimental, tabela 1.

Tabela 1- Análise química e granulométrica do solo da área experimental.

CaCl₂	g/dm⁻³	cmolc/dm⁻³					
pH	M.O	Ca+Mg	Ca	Mg	Al	H+Al	K
5,8	27	5,73	4,3	1,43	0	2,66	0,22

mg/dm⁻³			cmolc/dm⁻³		%	
K	P(mel)	S	SB	CTC	Sat.Al(m)	Sat. Bases(V)
87	10,4	6,1	5,95	8,61	0	69,1

Relações			%			
Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC C	K/CTC	H+Al/CTC
3,01	19,28	6,41	49,94	16,61	2,59	30,89

Micronutrientes mg/dm⁻³					Textura g/Kg		
Cu	Fe	Mn	Zn	B	Argila	Silte	Areia
9,2	223	24	17,4	0,42	476	99	425

Utilizou-se a cultivar de soja BMX 80I82 RSF IPRO (Olimpo). O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (DBC), com 18 tratamentos e quatro repetições. Cada parcela experimental foi constituída por cinco linhas de 5 m de comprimento, espaçadas em 0,45 m entre si. A área útil da parcela foi composta pelas três linhas centrais, desconsiderando-se 0,50 m das extremidades de cada linha, resultando em aproximadamente 5,4 m², a fim de minimizar o efeito de bordadura.

Os tratamentos foram compostos por um arranjo fatorial 4 × 4, constituído por quatro níveis de Boro e quatro níveis de Cobre, incluindo as doses zero, acrescido de dois tratamentos-padrão, um químico e um biológico. As aplicações de Boro foram realizadas em pré-plantio, via pulverização, e Cobre em pós-emergência das plantas, no estágio de V1. Como padrões de controle, incluíram-se um nematicida químico (Avicta[®]), um produto biológico à base de *Bacillus amyloliquefaciens* (No-Nema[®]) e uma testemunha absoluta, cujos tratamentos estão apresentados na Tabela 2.

As aplicações foram realizadas utilizando pulverizador costal pressurizado com CO₂, com volume de calda equivalente a 120 L ha⁻¹. Todas as aplicações foram efetuadas no período da manhã, em condições climáticas favoráveis e sem previsão de chuva para o mesmo dia.

Tabela 2- Doses de boro e cobre trabalhados por hectare.

Tratamentos	Doses de Boro ¹	Doses de Cobre ²
	kg ha ⁻¹	g ha ⁻¹
T1	0	0
T2	1	0
T3	1,5	0
T4	2	0
T5	0	5
T6	0	10
T7	0	15
T8	1	5
T9	1	10
T10	1	15
T11	1,5	5
T12	1,5	10
T13	1,5	15
T14	2	5
T15	2	10
T16	2	15
T17	Químico ³ 35 mL ha ⁻¹	
T18	Biológico ⁴ 68 mL ha ⁻¹	

¹ Boro via Bórax Decahidratado, empresa ICL;

² Cobre via Compat/Cooper, empresa NitroAgro;

³ Avicta, ingrediente ativo Abamectina concentração 500 g L⁻¹;

⁴ No-Nema, ingrediente ativo *Bacillus amyloliquefaciens*, empresa Vittia.

Antes da instalação do experimento, realizou-se amostragem prévia da área experimental, a qual indicou população inicial de 31 indivíduos de *P. brachyurus* g⁻¹ de raiz e 30 cistos viáveis de *H. glycines* 100 cm⁻³ de solo. A extração de *P. brachyurus* do solo foi realizada conforme método proposto por Jenkins (1964), enquanto a extração dos nematoides presentes nas raízes seguiu o método de Coolen e D'Herde (1972). Para a quantificação dos cistos de *H. glycines*, empregou-se o método de peneiramento úmido.

Foi realizada a contagem de plantas emergidas aos 10 dias após a semeadura, com o objetivo de verificar se a população ideal da cultivar foi atingida, considerando-se como

emergidas as plântulas com cotilédones totalmente expandidos. As avaliações nematológicas foram realizadas no solo e nas raízes aos 30 e 60 dias após a emergência (DAE), com o objetivo de quantificar as populações de *Pratylenchus brachyurus* e *Heterodera glycines*. Ao final do ciclo da cultura, avaliou-se a produtividade de grãos, expressa em sc ha^{-1} . Posteriormente, foi calculada a margem líquida financeira, expressa em $\text{R\$ ha}^{-1}$, considerando-se a receita obtida com a produtividade e o desconto dos custos relacionados aos tratamentos e às aplicações.

As análises estatísticas foram realizadas no software R (R Core Team, 2024), respeitando o comportamento dos dados de cada variável. Para a produtividade de grãos e a margem líquida financeira, foram ajustados Modelos Lineares clássicos (LM). A margem líquida foi calculada subtraindo-se os custos operacionais (insumos e aplicação) da receita bruta estimada pela produtividade.

Por outro lado, para os dados biológicos de contagem de nematoides (J2, fêmeas, cistos de *H. glycines* e indivíduos de *P. brachyurus*), que apresentam alta variação no campo, utilizou-se a abordagem de Modelos Lineares Generalizados (GLM). Devido à ocorrência natural de amostras com valor zero, adicionou-se o valor de 0,1 aos dados brutos. Esse ajuste foi feito exclusivamente para viabilizar o processamento matemático pelo software. A confiabilidade dos modelos foi confirmada por meio da avaliação gráfica de diagnóstico gerada pelo programa.

O modelo estatístico considerou os efeitos da época de avaliação (coleta), as variações entre os blocos no campo, o tipo de tratamento e as comparações diretas de interesse (como o manejo Químico vs. Biológico), além da interação entre a coleta e o tratamento. Adicionalmente, o comportamento dos nematoides frente às diferentes combinações de Boro e Cobre foi explorado por meio de gráficos de superfície de resposta, gerados separadamente para cada época de coleta.

Após ajustar um Modelo Linear Generalizado (GLM) com distribuição Gama, é possível e muito comum realizar o teste de comparações múltiplas de médias. No entanto, o procedimento é executado calculando-se as Médias Marginais Estimadas em seguida, aplicando o ajuste de Tukey. O GLM Gama utiliza uma função de ligação e modela a variância em função da média. Já as Estimativas Marginais em vez de simplesmente calcular a média aritmética dos dados brutos, utilizam-se as Médias Marginais Estimadas, também conhecidas pelo acrônimo EMMeans (do inglês, Estimated Marginal Means). E por fim aplica-se o Tukey nas médias marginais, o que fornece a mesma matriz de ajustes de p-valor que o teste Tukey HSD tradicional, mas de forma estatisticamente correta para a estrutura do GLM.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização da modelagem estatística permitiu avaliar a dinâmica populacional de *Heterodera glycines* e *Pratylenchus brachyurus* aos 30 e 60 dias após a emergência (DAE), bem como identificar padrões de resposta associados às diferentes combinações de Boro e Cobre. Os ajustes gráficos de superfície de resposta possibilitaram visualizar variações nos valores estimados das variáveis nematológicas, contribuindo para a interpretação da possível influência dos micronutrientes sobre a interação planta-nematoide.

De modo geral, as comparações múltiplas entre os tratamentos não indicaram diferenças estatísticas significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, inclusive em relação à testemunha. Dessa forma, os resultados não permitem afirmar efeito direto de controle, superioridade dos tratamentos nutricionais ou equivalência em relação aos padrões químico e biológico. A ausência de diferença estatística em relação à testemunha indica que, nas condições em que o experimento foi conduzido, o manejo com Boro e Cobre não promoveu redução populacional estatisticamente comprovada dos fitonematoides avaliados.

Apesar disso, foram observadas variações numéricas em algumas variáveis, especialmente nas populações de *H. glycines* e *P. brachyurus* avaliadas nas raízes. Essas variações devem ser interpretadas como tendências biológicas e não como comprovação de efeito de controle. Considerando que o objetivo do trabalho foi avaliar a influência de Boro e Cobre sobre a dinâmica populacional dos fitonematoides, os resultados sugerem que determinadas combinações nutricionais podem modificar numericamente a relação entre hospedeiro e patógeno, embora essa resposta não tenha sido suficientemente consistente para diferir estatisticamente da testemunha.

Assim, a discussão dos resultados deve ser conduzida de forma exploratória, considerando a possibilidade de influência nutricional sobre a interação planta-nematoide, mas reconhecendo a elevada variabilidade natural das populações no campo, o déficit hídrico ocorrido durante o ciclo da cultura e a ausência de evidência estatística conclusiva. Nesse contexto, o manejo nutricional com Boro e Cobre deve ser tratado como hipótese agrônômica a ser investigada em novos estudos, e não como estratégia comprovada de controle ou substituição dos métodos químicos e biológicos de referência.

Para a população de juvenis de segundo estágio (J2) de *Heterodera glycines* nas raízes, a superfície de resposta estimada aos 60 DAE indicou menores valores numéricos associados

ao tratamento T4, correspondente à aplicação de 2,0 kg ha⁻¹ de Boro. Esse tratamento apresentou média estimada de 7,77 J2 g⁻¹ de raiz, enquanto a testemunha apresentou 19,13 J2 g⁻¹ de raiz, o que representa redução numérica de aproximadamente 59,3%. No entanto, essa diferença não foi estatisticamente significativa, e o tratamento T4 não diferiu da testemunha. Dessa forma, o resultado deve ser interpretado apenas como tendência numérica de menor população de juvenis infectivos nas raízes sob maior suprimento de Boro, sem comprovação de efeito direto desse micronutriente sobre a redução populacional de *H. glycines*.

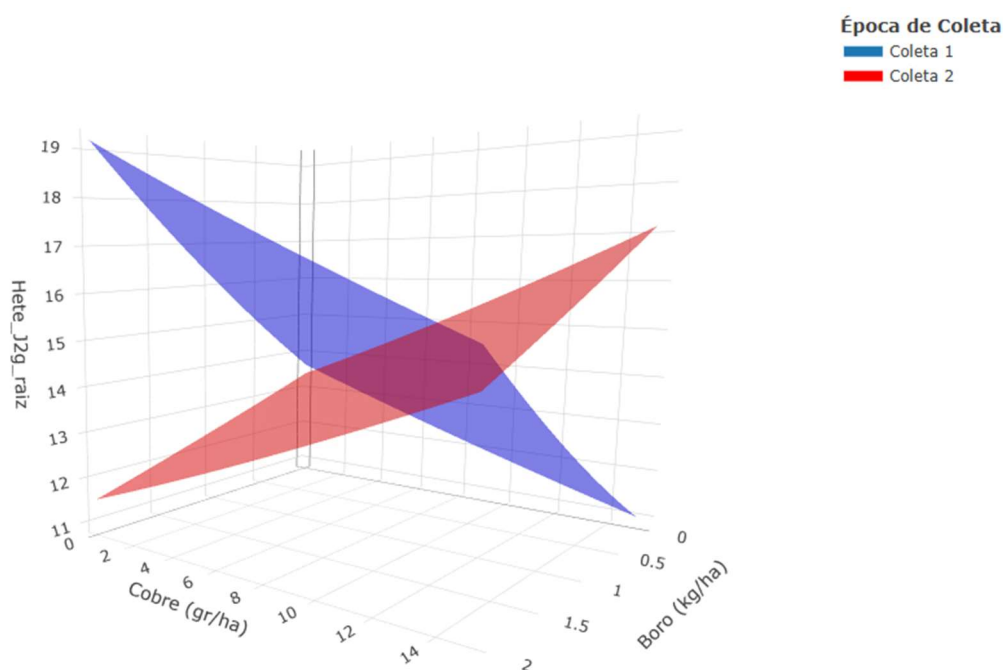


Figura 2. Superfície de resposta estimada para a densidade populacional de juvenis de segundo estágio (J2) de *Heterodera glycines* por grama de raiz (30 e 60 DAE) em função das doses de Boro e Cobre. **Fonte:** Autor (2026)

A tendência observada pode estar relacionada, em hipótese, ao papel do Boro na manutenção da integridade estrutural da parede celular, na estabilidade de membranas e no desenvolvimento de tecidos vasculares. Esses processos são importantes para o funcionamento radicular e podem contribuir para maior tolerância da planta ao parasitismo, uma vez que a integridade dos tecidos radiculares interfere na penetração, no estabelecimento e no desenvolvimento de nematoides endoparasitas. A literatura aponta que o estado nutricional da planta pode modificar respostas estruturais e metabólicas associadas à defesa vegetal, influenciando a relação entre hospedeiro e patógeno (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007; MARSCHNER, 2012; TRIPATHI et al., 2022). No entanto, como não houve diferença

estatística entre os tratamentos, essa interpretação deve ser considerada apenas como hipótese biológica associada ao padrão numérico observado.

Comportamento numérico semelhante foi observado para a população de fêmeas de *H. glycines* por grama de raiz. A superfície de resposta indicou menores valores numéricos nas regiões associadas ao maior fornecimento de Boro, especialmente no tratamento T4, que apresentou média estimada de 1,16 fêmeas g^{-1} de raiz. O tratamento biológico apresentou valor próximo, com 1,13 fêmeas g^{-1} de raiz, enquanto o tratamento químico apresentou 1,95 fêmeas g^{-1} de raiz. Entretanto, como não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, inclusive em relação à testemunha, esses valores devem ser interpretados apenas como variação numérica, sem comprovação de efeito direto do manejo nutricional sobre o desenvolvimento das fêmeas na raiz.

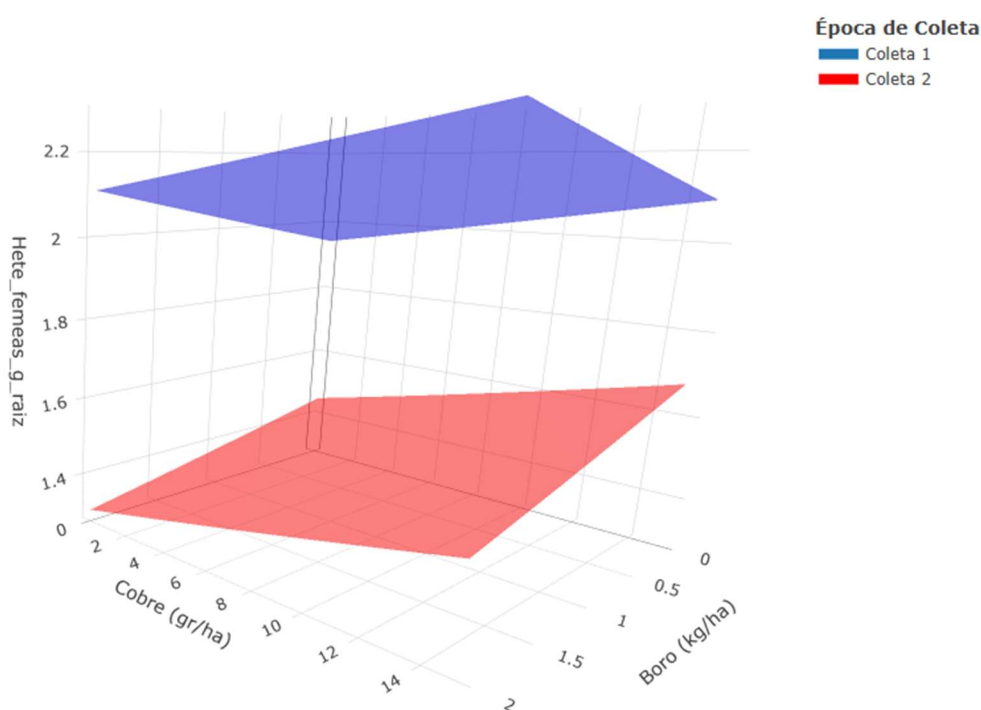


Figura 3. Superfície de resposta estimada para a população de fêmeas de *Heterodera glycines* por grama de raiz, aos 30 e 60 DAE, em função das doses de Boro e Cobre. **Fonte:** Autor (2026)

Do ponto de vista biológico, *H. glycines* é um semi-endoparasita que depende da formação de sítios especializados de alimentação, como o sincício, para completar seu desenvolvimento no tecido radicular. Alterações na integridade estrutural da raiz ou na resposta de defesa da planta podem interferir no estabelecimento e no desenvolvimento das fêmeas

(FERRAZ; BROWN, 2016; MACHADO; SILVA; FERRAZ, 2019; GUPTA et al., 2023). Dessa forma, mesmo sem diferença estatística significativa, a redução numérica observada em tratamentos com Boro pode ser discutida como hipótese de possível influência desse micronutriente na interação entre a soja e o nematoide de cisto, mas não como evidência conclusiva de redução populacional.

Em relação à dinâmica do banco de inóculo de *Heterodera glycines*, a avaliação de cistos viáveis no solo não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos tratamentos avaliados ($p > 0,05$). Para essa variável, menores valores indicam menor quantidade de estruturas viáveis e, conseqüentemente, menor potencial de manutenção do inóculo no solo. Entre os tratamentos nutricionais comparados, o T5 apresentou menor valor numérico, com média estimada de 41,5 cistos viáveis 100 cm^{-3} de solo. No entanto, esse valor foi próximo ao observado no tratamento biológico, na testemunha e no tratamento químico, não permitindo afirmar efeito significativo do manejo nutricional sobre a redução dos cistos viáveis. A superfície de resposta permitiu visualizar a variação espacial dessa variável em função das combinações de Boro e Cobre (Figura 4).

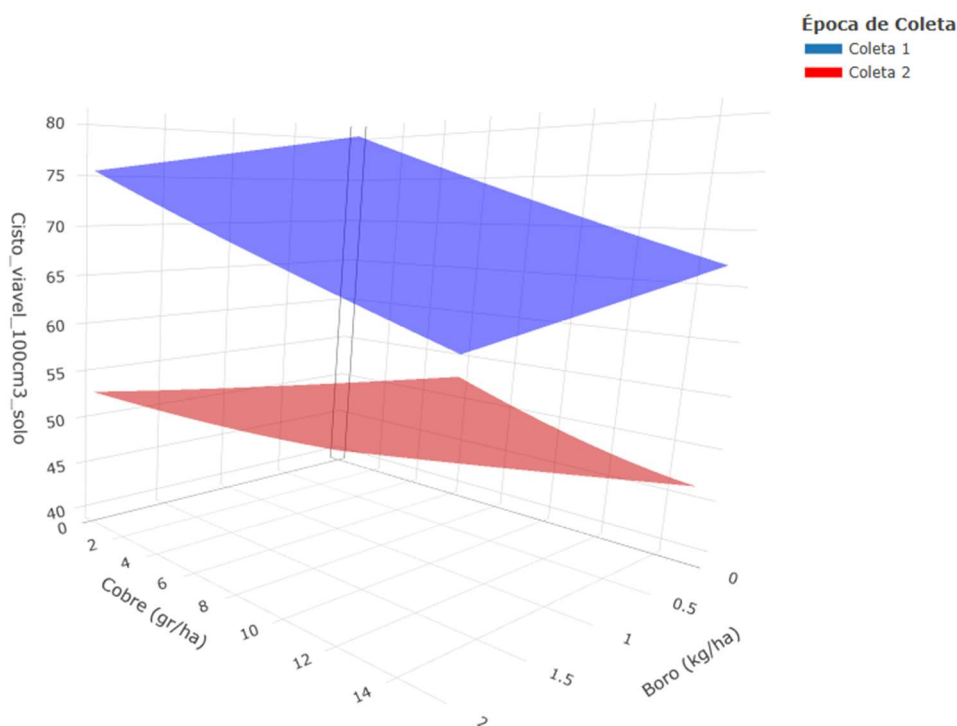


Figura 4. Superfície de resposta estimada para a densidade de cistos viáveis de *Heterodera glycines* em 100 cm^3 de solo, aos 30 e 60 DAE, em função das doses de Boro e Cobre. Valores menores indicam menor quantidade de estruturas viáveis e menor potencial de manutenção do inóculo no solo. **Fonte:** Autor (2026).

A superfície de resposta indicou variação espacial nos valores preditos de cistos viáveis em função das combinações de Boro e Cobre, com regiões de menor densidade próximas à ausência de suplementação. Esse comportamento deve ser interpretado com cautela, pois menores valores de cistos viáveis em regiões associadas à ausência de suplementação não indicam, necessariamente, controle efetivo do patógeno. Uma hipótese explicativa é que, sob condições de maior estresse fisiológico e possível menor vigor radicular, a planta tenha apresentado menor capacidade de sustentar o desenvolvimento completo de *H. glycines*, interferindo na formação de novas fêmeas e cistos viáveis. Por se tratar de um nematoide semi-endoparasita dependente da formação de sítios especializados de alimentação, alterações na qualidade e funcionalidade do sistema radicular podem influenciar sua reprodução (FERRAZ; BROWN, 2016).

Para os cistos inviáveis, a interpretação agronômica é inversa à dos cistos viáveis, uma vez que maiores valores indicam maior quantidade de estruturas sem viabilidade e menor potencial de sobrevivência do patógeno no solo. Nessa variável, os maiores valores numéricos foram observados na testemunha e no tratamento T16, com médias estimadas de 59,6 e 55,6 cistos inviáveis 100 cm⁻³ de solo, respectivamente. Embora o T16 tenha apresentado maior valor entre os tratamentos nutricionais avaliados, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A superfície de resposta evidenciou comportamento distinto entre as épocas de avaliação (Figura 5).

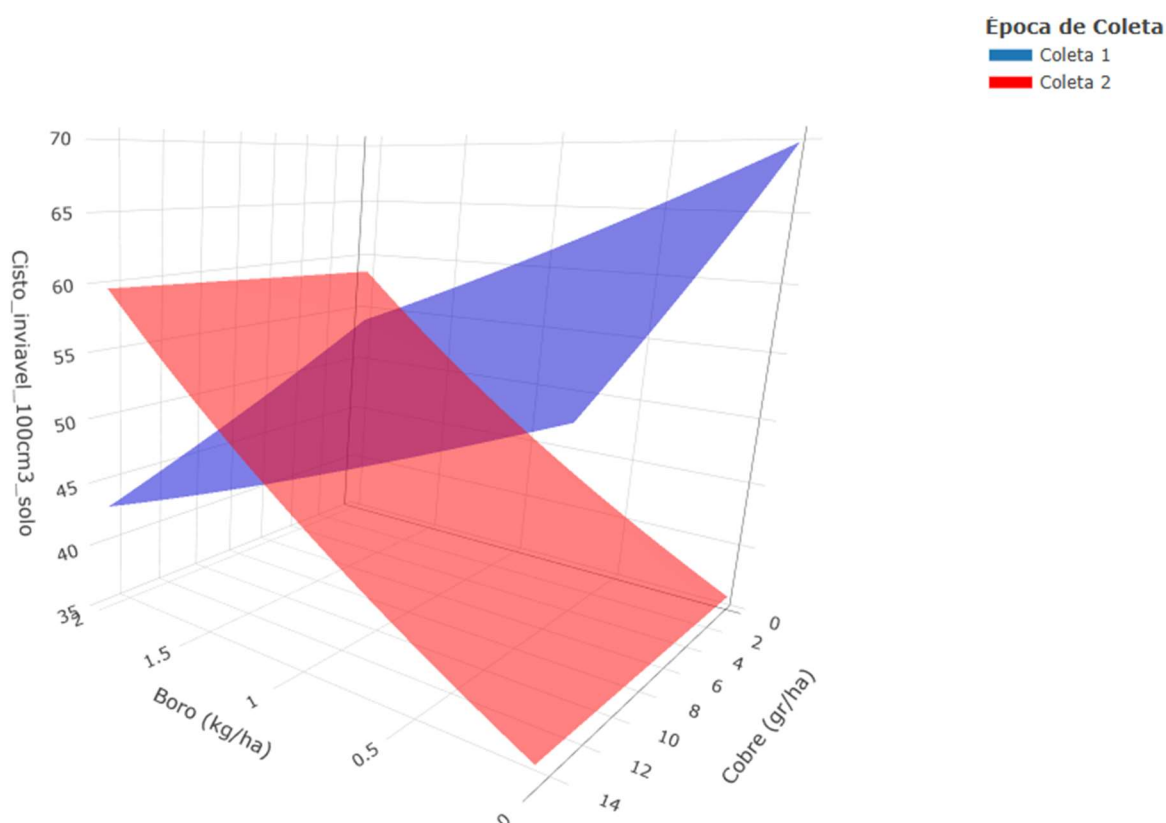


Figura 5. Superfície de resposta estimada para a densidade de cistos inviáveis de *Heterodera glycines* em 100 cm³ de solo, aos 30 e 60 DAE, em função das doses de Boro e Cobre. Valores mais elevados indicam maior quantidade de estruturas inviáveis e menor potencial de manutenção do inóculo no solo.
Fonte: Autor (2026)

A superfície de resposta para cistos inviáveis indicou comportamento distinto entre as épocas de avaliação, com cruzamento entre as superfícies preditas aos 30 e 60 DAE. Esse padrão sugere que a inviabilidade dos cistos não respondeu de forma constante às combinações de Boro e Cobre ao longo do ciclo da cultura. Portanto, não é possível atribuir de forma segura o aumento de cistos inviáveis a uma única combinação nutricional ou a um tratamento específico.

Apesar da ausência de diferença estatística, os valores numéricos observados sugerem a possibilidade de influência do manejo nutricional sobre a dinâmica do banco de inóculo de *H. glycines*. Essa hipótese é biologicamente plausível, uma vez que o estado nutricional da planta pode modificar o ambiente radicular, a produção de metabólitos secundários e os exsudatos liberados pelas raízes, fatores que podem interferir na interação planta-nematoide e na

persistência de estruturas de resistência no solo (DESMEDT et al., 2020; ALI et al., 2024). No entanto, os resultados devem ser interpretados como tendência numérica, e não como comprovação de redução dos cistos viáveis ou aumento consistente da inviabilidade dos cistos no solo.

A Tabela 3 apresenta as médias marginais estimadas para as principais variáveis nematológicas avaliadas aos 60 DAE. Observa-se que alguns tratamentos nutricionais apresentaram valores numericamente próximos aos observados nos padrões químico e biológico em determinadas variáveis. Entretanto, todas as médias apresentaram a mesma letra, indicando ausência de diferença estatística significativa entre os tratamentos, inclusive em relação à testemunha. Dessa forma, os resultados devem ser interpretados como tendências numéricas de resposta ao manejo nutricional, e não como comprovação de efeito direto de controle ou de equivalência aos tratamentos de referência.

Tabela 3- Médias marginais estimadas e erro padrão das principais variáveis nematológicas avaliadas aos 60 DAE.

Variável avaliada	Tratamento nutricional selecionado	Químico	Biológico	Testemunha
<i>H. glycines</i> J2 raiz	T4 — $7,77 \pm 3,14$ a	$10,17 \pm 4,06$ a	$14,11 \pm 5,53$ a	$19,13 \pm 7,27$ a
<i>H. glycines</i> fêmeas raiz	T4 — $1,16 \pm 0,32$ a	$1,95 \pm 0,50$ a	$1,13 \pm 0,31$ a	$1,86 \pm 0,48$ a
Cistos viáveis solo	T5 — $41,5 \pm 11,2$ a	$44,1 \pm 11,9$ a	$40,2 \pm 10,8$ a	$44,0 \pm 11,8$ a
Cistos inviáveis solo	T16 — $55,6 \pm 22,51$ a	$43,9 \pm 17,78$ a	$12,2 \pm 4,94$ a	$59,6 \pm 24,11$ a
<i>P. brachyurus</i> raiz	T4 — $5,17 \pm 2,20$ a	$3,65 \pm 1,56$ a	$11,94 \pm 5,09$ a	$15,68 \pm 6,68$ a

Nota: Os valores correspondem às médias marginais estimadas pelo modelo $\pm$ erro-padrão (EP). Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, após ajuste do modelo GLM Gamma. Para J2, fêmeas, cistos viáveis e *P. brachyurus*, menores valores indicam menor população do patógeno. Para cistos inviáveis, maiores valores indicam maior quantidade de estruturas sem viabilidade e, portanto, menor potencial de manutenção do inóculo no solo.

Para *Pratylenchus brachyurus*, a superfície de resposta indicou menores densidades populacionais nas raízes nos tratamentos T4, com $5,17$ nematoides g^{-1} de raiz, e T16, com $6,29$ nematoides g^{-1} de raiz. Esses valores foram numericamente inferiores ao observado na

testemunha, que apresentou 15,68 nematoides g^{-1} de raiz. Entretanto, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos avaliados, inclusive em relação à testemunha. Assim, os resultados não permitem afirmar efeito de controle do manejo nutricional sobre *P. brachyurus*, mas indicam tendência numérica de menor população nas raízes em determinados tratamentos contendo Boro, isolado ou associado ao Cobre.

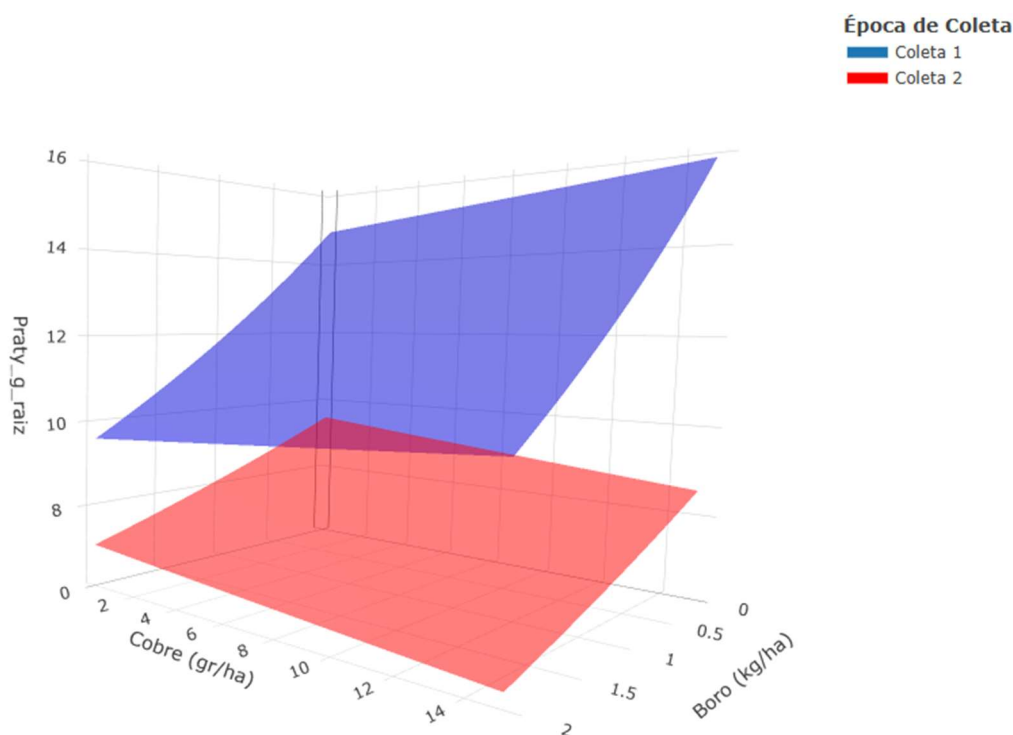


Figura 6. Superfície de resposta estimada para a densidade populacional de *Pratylenchus brachyurus* por grama de raiz, aos 30 e 60 DAE, em função das doses de Boro e Cobre. **Fonte:** Autor (2026)

Esse resultado não deve ser interpretado como equivalência formal ao nematicida químico, pois testes de equivalência exigem metodologia estatística específica e margem de equivalência previamente definida. Além disso, como os tratamentos nutricionais também não diferiram da testemunha, não é possível afirmar efeito direto de controle. Entretanto, dentro do objetivo exploratório deste trabalho, o comportamento numérico observado sugere que Boro e Cobre podem estar associados a variações na dinâmica populacional de *P. brachyurus*, hipótese que deve ser confirmada em novos estudos.

A resposta numérica observada para *P. brachyurus* pode estar relacionada, em hipótese, à maior integridade dos tecidos radiculares e à ativação de mecanismos metabólicos associados à defesa vegetal. O Boro participa da estruturação da parede celular e da estabilidade de

membranas, enquanto o Cobre atua em sistemas enzimáticos ligados a reações de oxidação-redução e ao metabolismo de defesa da planta (MARSCHNER, 2012; TAIZ et al., 2017; GUERRA et al., 2021). Como *P. brachyurus* apresenta hábito endoparasita migrador, deslocando-se pelo córtex radicular e provocando lesões nos tecidos, alterações na resistência estrutural da raiz podem interferir na colonização e multiplicação do nematoide (FERRAZ; BROWN, 2016; OLIVEIRA et al., 2018; MACEDO et al., 2025).

Em síntese, os tratamentos nutricionais apresentaram reduções numéricas em algumas variáveis, especialmente naquelas avaliadas nas raízes e nos tratamentos contendo maiores doses de Boro, conforme Tabela 3. Contudo, todas as médias apresentaram a mesma letra, indicando ausência de diferença estatística significativa entre os tratamentos. Além disso, como os tratamentos nutricionais também não diferiram da testemunha, os resultados devem ser interpretados como tendências de resposta, sem comprovação de efeito direto de controle.

Produtividade de grãos e margem líquida financeira

A avaliação final da produtividade de grãos e da margem líquida financeira demonstrou baixos rendimentos em todos os tratamentos, indicando que as condições ambientais limitaram o desempenho produtivo da cultura. Os tratamentos T4 e T16, que apresentaram menores valores numéricos para algumas populações de nematoides, também apresentaram menores produtividades numéricas, com 10,8 e 11,2 sc ha⁻¹, respectivamente. A testemunha apresentou produtividade estimada de 16,0 sc ha⁻¹, enquanto os tratamentos biológico e químico apresentaram 14,3 e 13,5 sc ha⁻¹, respectivamente.

Apesar da ausência de resposta produtiva, esse resultado deve ser interpretado considerando a complexidade das variáveis produtividade de grãos e margem líquida financeira. A produtividade é uma variável influenciada simultaneamente por fatores ambientais, fisiológicos, nutricionais e fitossanitários, enquanto a margem líquida depende não apenas do rendimento obtido, mas também dos custos associados aos tratamentos e às aplicações. Assim, a redução numérica observada em algumas variáveis nematológicas não foi suficiente para promover incremento produtivo ou econômico nas condições avaliadas. Além disso, como essas reduções não foram estatisticamente comprovadas em relação à testemunha, os resultados devem ser interpretados como tendências numéricas, e não como evidência de efeito direto do manejo nutricional sobre a produtividade ou a rentabilidade da cultura.

Tabela 4- Médias marginais estimadas para produtividade de grãos e margem líquida

financeira.

Tratamento	Produtividade de grãos (sc ha⁻¹) *	Margem líquida financeira (R\$ ha⁻¹) *
Testemunha	16,0 ± 2,17 a	1.764,00 ± 239,0 a
Biológico	14,3 ± 2,17 a	1.538,00 ± 239,0 a
Químico	13,5 ± 2,17 a	1.367,00 ± 239,0 a
T16 (Boro 2,0 kg ha ⁻¹ + Cobre 15 g ha ⁻¹)	11,2 ± 2,17 a	1.093,00 ± 239,0 a
T4 (Boro 2,0 kg ha ⁻¹)	10,8 ± 2,17 a	1.069,00 ± 239,0 a

**Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade após ajuste de modelo linear.*

O baixo teto produtivo observado pode estar associado ao déficit hídrico severo ocorrido durante aproximadamente 40 dias do ciclo da cultura, em estádios fenológicos importantes para o crescimento vegetativo e reprodutivo. A restrição hídrica compromete processos fisiológicos fundamentais, como expansão celular, absorção e transporte de nutrientes, condutância estomática, fotossíntese e enchimento de grãos, reduzindo a capacidade da planta de expressar seu potencial produtivo (TAIZ et al., 2017). Além disso, condições de estresse abiótico podem modificar a resposta das plantas ao ataque de patógenos e interferir na expressão dos mecanismos de defesa dependentes do estado nutricional (MARTÍN-CARDOSO et al., 2025).

É possível que as maiores doses de micronutrientes tenham contribuído para maior estresse fisiológico das plantas sob condição de seca, especialmente pela redução do crescimento vegetativo e consequente menor diluição dos nutrientes nos tecidos vegetais. O Boro apresenta faixa relativamente estreita entre deficiência e toxicidade, podendo causar efeitos negativos quando acumulado em excesso nos tecidos vegetais (MARSCHNER, 2012; ABREU-JUNIOR et al., 2025). O Cobre, por sua vez, quando em concentrações elevadas, pode estar associado ao aumento do estresse oxidativo e à formação de espécies reativas de oxigênio, afetando membranas e processos metabólicos celulares (MARSCHNER, 2012; TAIZ et al., 2017).

Entretanto, como o presente estudo não avaliou diretamente análise foliar, atividade enzimática, acúmulo de Boro e Cobre nos tecidos ou sintomas fisiológicos de fitotoxicidade, essa interpretação deve ser considerada uma hipótese explicativa. Ainda assim, os resultados reforçam que a redução numérica da população de nematoides nem sempre se traduz

imediatamente em aumento de produtividade, especialmente sob condições ambientais limitantes.

Dessa forma, os resultados obtidos sugerem que o manejo nutricional com Boro e Cobre pode estar associado a variações numéricas na dinâmica populacional de *H. glycines* e *P. brachyurus*, principalmente aos 60 DAE. No entanto, a ausência de diferença estatística significativa em relação à testemunha impede afirmar efeito direto de controle ou redução populacional consistente. Assim, a inserção desses micronutrientes em programas de manejo integrado de fitonematoides deve ser considerada como hipótese agrônômica a ser validada em novos estudos, com doses intermediárias, maior número de ambientes, avaliação do estado nutricional das plantas e mensuração de parâmetros fisiológicos e radiculares.

CONCLUSÃO

Nas condições específicas em que o presente trabalho foi conduzido, caracterizadas por pressão inicial de inóculo e déficit hídrico prolongado durante aproximadamente 40 dias do ciclo da cultura, o manejo nutricional com Boro e Cobre esteve associado a variações numéricas na dinâmica populacional de *Heterodera glycines* e *Pratylenchus brachyurus* na cultura da soja.

Os tratamentos contendo Boro, especialmente na dose de 2,0 kg ha⁻¹, isolado ou associado ao Cobre, apresentaram reduções numéricas em algumas variáveis nematológicas avaliadas nas raízes. Entretanto, essas reduções não diferiram estatisticamente da testemunha, o que impede afirmar efeito direto de controle sobre as populações de *H. glycines* e *P. brachyurus*. Assim, os resultados devem ser interpretados como tendência de resposta ao manejo nutricional, e não como comprovação de eficiência ou equivalência em relação aos padrões químico e biológico.

A ausência de incremento produtivo demonstra que a redução numérica das populações de nematoides não se traduziu em aumento de produtividade ou margem líquida no presente estudo. Esse resultado pode estar associado às condições ambientais limitantes, especialmente ao déficit hídrico severo, bem como à possível intensificação do estresse fisiológico das plantas submetidas às maiores doses de micronutrientes.

Dessa forma, os resultados sugerem que Boro e Cobre podem estar associados a variações numéricas na dinâmica populacional de fitonematoides, mas sua utilização como ferramenta complementar no manejo integrado deve ser validada em novos estudos.

Recomenda-se a realização de experimentos com doses intermediárias, maior número de ambientes, avaliação do estado nutricional das plantas e mensuração de parâmetros fisiológicos e radiculares, a fim de confirmar a viabilidade agronômica e econômica dessa estratégia.

REFERÊNCIAS

- ABREU-JUNIOR, C. H.; ROCHA, J. R.; BARROS, T. H. S.; MOREIRA, G. R.; REZENDE, V. P.; CAGLIARI, V. N. S.; ROCHA JUNIOR, C.; COELHO, A. D.; BOARETTO, R. M.; CAPRA, G. F.; NOGUEIRA, T. A. R.; JANI, A. D.; LAVRES JUNIOR, J. Unfolding boron dynamics at the scale of soil-water-fertilizer-crop systems in the tropics: from soil availability to plant requirements. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 82, p. 1-11, 2025. DOI: 10.1590/1678-992X-2023-0294.
- ALI, M.; AZEEM, F.; ABBAS, A.; JOYIA, F.; LI, H.; DABABAT, A. Insights into the plant response to nematode invasion and modulation of host defense by plant-parasitic nematodes. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 15, 2024.
- APROSOJA-MS. Nematóide: praga custa R\$ 35 bilhões ao agronegócio. Campo Grande: **Associação dos Produtores de Soja de Mato Grosso do Sul**, 2015. Disponível em: <https://www.aprosojams.org.br/nematóide-praga-custa-r-35-bilhoes-ao-agronegocio>. Acesso em: 18 jun. 2026.
- CEPEA; ABIOVE. CEPEA/ABIOVE: com safra recorde e avanço do processamento, PIB da cadeia da soja e do biodiesel deve ter forte expansão em 2025. São Paulo: **ABIOVE**, 21 jul. 2025. Disponível em: <https://abiove.org.br/cepea-abiove-com-safra-recorde-e-avanco-do-processamento-pib-da-cadeia-da-soja-e-do-biodiesel-deve-ter-forte-expansao-em-2025/>. Acesso em: 18 jun. 2026.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2024/25: 12º levantamento. Brasília, DF: **CONAB**, set. 2025. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/12o-levantamento-safra-2024-25/e-book_boletim-de-safras-12o-levantamento_2025.pdf. Acesso em: 18 jun. 2026.
- COOLEN, W. A.; D'HERDE, C. J. **A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue**. Ghent: State Agricultural Research Centre, 1972.
- COUTINHO, C.; ZAMBIASI, T. C. Nematóides causam perdas bilionárias. **Campo & Negócios**, 4 nov. 2024. Disponível em: <https://campoenegocios.com/nematoides-causam-perdas-bilionarias/>. Acesso em: 18 jun. 2026.
- DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul: APS Press, 2007.

- DESMEDT, W.; MANGELINCKX, S.; KYNDT, T.; VANHOLME, B. A phytochemical perspective on plant defense against nematodes. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 11, article 602079, 2020.
- FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. **Nematologia de plantas: fundamentos e importância**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2016.
- FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.
- GOOGLE EARTH. Imagem de satélite da área experimental localizada em Urutaí-GO. **Google Earth**, 2026. Disponível em: <https://earth.google.com/web/>. Acesso em: 18 jun. 2026.
- GUERRA, A. M.; ZAMBOLIM, L.; RODRIGUES, F. A. Micronutrients and plant disease resistance: a review. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 44, n. 15, p. 2311-2325, 2021.
- GUPTA, R.; MFARREJ, M. F. B.; ELNOUR, R. O.; HASHEM, M.; AHMAD, F. Defence response of host plants for cyst nematode: a review on parasitism and defence. **Journal of King Saud University - Science**, Riyadh, v. 35, n. 7, article 102829, 2023. DOI: 10.1016/j.jksus.2023.102829.
- HUBER, D. M.; RÖMHELD, V.; WEINMANN, M. Relationship between nutrition, plant diseases and pests. In: MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2012.
- JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, Beltsville, v. 48, p. 692, 1964.
- MACEDO, L. B.; TEIXEIRA, R. A.; FARIA, D. R.; GARCIA, K. A. B.; MARQUES, E.; ROCHA, M. R. Effect of herbicides on *Pratylenchus brachyurus* in conventional and transgenic soybean cultivars. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 17, e20252035, 2025. DOI: 10.18406/2316-1817v17nunico20252035.
- MACHADO, A. C. Z.; SILVA, S. A.; FERRAZ, L. C. C. B. **Métodos em nematologia agrícola**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2019.
- MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2012.
- MARTÍN-CARDOSO, H.; SAN SEGUNDO, B. Impact of nutrient stress on plant disease resistance. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 26, n. 4, article 1780, 2025. DOI: 10.3390/ijms26041780.
- OLIVEIRA, C. M. G.; MONTEIRO, A. R.; SILVA, J. F. V. Desafios no manejo de nematoides

- no Cerrado brasileiro. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 42, p. 10-25, 2018.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024.
- SEED NEWS. Valor do mercado de nematicidas decuplica em oito safras. **Seed News**, 15 jun. 2023. Disponível em: <https://seednews.com.br/linha-verde/2249-valor-do-mercado-de-nematicidas-decuplica-em-oito-safras>. Acesso em: 18 jun. 2026.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TRIPATHI, R.; TEWARI, R.; SINGH, K. P.; KESWANI, C.; MINKINA, T.; SRIVASTAVA, A. K.; DE CORATO, U.; SANSINENEA, E. Plant mineral nutrition and disease resistance: a significant linkage for sustainable crop protection. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 13, article 883970, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.883970.