REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

APLICAÇÃO FOLIAR DE FORMULAÇÃO CONTENDO NÍQUEL ASSOCIADA A BIOINSUMOS MICROBIOLÓGICOS MODIFICA A NODULAÇÃO E O DESEMPENHO PRODUTIVO DA SOJA

FOLIAR APPLICATION OF A NICKEL-CONTAINING FORMULATION ASSOCIATED WITH MICROBIAL BIOINPUTS MODIFIES SOYBEAN NODULATION AND YIELD PERFORMANCE

LA APLICACIÓN FOLIAR DE UNA FORMULACIÓN QUE CONTIENE NÍQUEL ASOCIADA CON BIOINSUMOS MICROBIANOS MODIFICA LA NODULACIÓN Y EL RENDIMIENTO PRODUCTIVO DE LA SOJA

Erich dos Reis Duarte
Professor Doutor, Universidade do Norte do Paraná – BR
E-mail: Erich.duarte@bol.com.br
Adilson de Oliveira
Engenheiro Agrônomo, Orquidário Shekynah - BR
E-mail: Adilson_oliveira@yahoo.com.br
Aline Vanessa Sauer
Professora Doutora, Universidade Estadual de Ponta Grossa - BR
E-mail: Aline.sauer@uepg.br
Camila Ferreira Miyashiro
Professora Doutora,Universidade – BR
E-mail: Camila.miyashiro@uenp.edu.br
André Luiz Radunz
Professor Doutor, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS - campus Chapecó), Brasil
E-mail: andre.radunz@uffs.edu.br
Marcelo José Ragazzi
Discente do curso de Agronomia Universidade do Norte do Paraná - PR
E-mail: mjragazzi3780@gmail.com

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

Bruno Rafael Vasconcelos

Ligier de Tecnologia de Aplicação – Bandeirantes – Pr.

E-mail: brunorafa.vasconcelos@gmail.com

Pamela Mayara Aparecida Pinheiro

Discente do curso de Agronomia Universidade do Norte do Paraná - PR

E-mail: pamelamayara673@gmail.com

Resumo

A nodulação e o suprimento adequado de micronutrientes e a coorte de microrganismos benéficos desempenham papéis determinantes na eficiência da fixação biológica de nitrogênio em plantas de soja. Este estudo avaliou os efeitos da aplicação foliar de uma formulação multinutriente à base de níquel (Ni), cobalto (Co) e molibdênio (Mo), associada a bioinsumos microbiológicos, sobre o desenvolvimento, a sanidade e a produtividade da cultura. O experimento foi conduzido em campo, durante a safra 2025/2026, em Bandeirantes, Paraná, sob delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 3 × 3 + 1. Foram avaliadas três doses de Root+ Ni (100, 150 e 200 mL ha^{-1}), aplicadas nos estádios V3 e V5, combinadas à ausência de bioinsumo, *Azospirillum brasilense* (Bact-N) ou *Methylobacterium symbioticum* SB23 (Foliar Utrisha N), além de uma testemunha absoluta. As avaliações abrangeram crescimento, estande, nodulação radicular, severidade de doenças foliares, área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), ocorrência de *Euschistus heros*, massa de mil sementes e produtividade de grãos. A altura de plantas e o estande não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. A aplicação da formulação multinutriente reduziu a severidade de *Septoria glycines*. A nodulação variou de 30,75 a 62,50 nódulos por dez plantas, enquanto a produtividade oscilou entre 2.700,12 e 3.892,75 kg ha^{-1}. A análise fatorial identificou interação significativa entre os fatores avaliados para nodulação, massa de mil sementes e produtividade. A combinação de 150 mL ha^{-1} de Root+ Ni com *M. symbioticum* SB23 apresentou a maior produtividade, de 3.892,75 kg ha^{-1}, equivalente a um incremento de 44,2% em relação à testemunha absoluta. Os resultados evidenciam respostas agronômicas dependentes da combinação entre manejo nutricional e tecnologia microbiológica, sem permitir atribuir os ganhos exclusivamente ao Ni.

Palavras-chave: Glycine max; Bioestimulantes; Nutrição vegetal; Sustentabilidade agrícola

Abstract

Nodule formation and the proper supply of micronutrients, along with the group of beneficial microorganisms, play key roles in how efficiently soybean plants fix nitrogen biologically. This study evaluated the effects of different rates of a commercial foliar formulation containing Ni, Co, and Mo (Root+ Ni), applied alone or combined with microbial bioinputs (Bact-N and Foliar Utrisha N containing *Methylobacterium symbioticum* SB23), on nodulation, disease severity, pest density, and yield. The field experiment was conducted during the 2025/2026 season in Bandeirantes, PR, Brazil, in a randomized complete block design with 10 treatments and 4 replications. Treatments comprised a 3 × 3 Factorial design (three Root+ Ni rates: 100, 150, and 200 mL ha^{-1} per application at V3 and V5, corresponding to total seasonal intakes of 3.0, 4.5, and 6.0 g Ni ha^{-1}, combined with three bioinput conditions: without bioinput, with Bact-N, and with Utrisha N) plus an absolute control. Plant height, stand, nodule number, cumulative severity and AUDPC of *Cercospora kikuchii* and *Septoria glycines*, *Euschistus heros* population density (ind. m^{-1}), thousand-seed weight (TSW, 13% moisture), and grain yield (13% moisture) were evaluated. Plant height and stand did not differ among treatments. *S. glycines* severity was reduced by the foliar formulation. Nodule number ranged from 30.75 to 62.50/10 plants, and grain yield from 2,700.12 to 3,892.75 kg ha^{-1}. Factorial analysis revealed significant interaction between rates and microbial technologies for nodulation, TSW, and yield. The highest yield was obtained with Root+ Ni at 150 mL ha^{-1} combined with Foliar Utrisha N (3,892.75 kg ha^{-1}, a 44.2% increase over control).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

Observed responses represent plant performance to the multi-nutrient formulation and bioinputs, preventing direct causal attribution exclusively to nickel.

Keywords: Glycine max; Biostimulants; Plant nutrition; Agricultural sustainability.

Resumen

La nodulación, un buen suministro de micronutrientes y el grupo de microorganismos beneficiosos juegan un papel clave en la eficiencia de la fijación biológica de nitrógeno en las plantas de soja. Este estudio evaluó diferentes dosis de una formulación comercial foliar con Ni, Co y Mo (Root+ Ni), aplicada de forma aislada o asociada con bioinsumos microbianos (Bact-N y Foliar Utrisha N con *Methylobacterium symbioticum* SB23), sobre nodulación, severidad de enfermedades, densidad de plagas y productividad. El experimento se realizó en la campaña 2025/2026, en Bandeirantes, PR, Brasil, en bloques al azar con 10 tratamientos y 4 repeticiones. Los tratamientos se estructuraron en un diseño Factorial 3 × 3 (tres dosis de Root+ Ni: 100, 150 y 200 mL ha^{-1} por aplicación en V3 y V5, equivalente a 3,0; 4,5 y 6,0 g Ni ha^{-1} acumulado, combinadas con tres condiciones microbianas) más un control absoluto. Se evaluaron altura, población, número de nódulos, severidad y AUDPC de *Cercospora kikuchii* y *Septoria glycines*, densidad de *Euschistus heros* (ind. m^{-1}), peso de mil semillas (PMS, al 13% de humedad) y rendimiento de grano (13% u.h.). La altura y la población no difirieron entre tratamientos. La severidad de *S. glycines* se redujo con la formulación foliar. El número de nódulos varió de 30,75 a 62,50/10 plantas, y la productividad de 2.700,12 a 3.892,75 kg ha^{-1}. El análisis factorial reveló interacción significativa entre dosis y bioinsumos para nodulación, PMS y rendimiento. La mayor productividad se obtuvo con Root+ Ni 150 mL ha^{-1} + Foliar Utrisha N (3.892,75 kg ha^{-1}, incremento del 44,2% sobre el control). Los efectos responden a la formulación multinutriente y bioinsumos, sin atribuir causalidad exclusiva al níquel.

Palabras clave: Glycine max; Bioestimulantes; Nutrición vegetal; Sostenibilidad agrícola.

1. Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merr.) apresenta elevada demanda de nitrogênio (N) durante o desenvolvimento e possui capacidade de suprir parte expressiva dessa necessidade por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN). Esse processo ocorre, predominantemente, pela associação simbiótica entre a planta e bactérias diazotróficas do gênero *Bradyrhizobium*, que colonizam as raízes e estabelecem nódulos especializados. Nessas estruturas, a enzima nitrogenase catalisa a redução do nitrogênio atmosférico (N_2) a formas que podem ser incorporadas ao metabolismo nitrogenado vegetal. A eficiência dessa associação constitui um dos fundamentos da sustentabilidade da cultura, pois contribui para reduzir a dependência de fertilizantes nitrogenados minerais e otimizar o aproveitamento dos recursos nutricionais disponíveis (PANDIT; PANTHI; CHILUWAL, 2026).

A contribuição da FBN para o desempenho da soja, entretanto, não pode ser determinada exclusivamente pela presença ou pela quantidade de nódulos radiculares. Embora a nodulação represente um indicador morfológico relevante do

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

estabelecimento da simbiose, sua interpretação funcional depende de fatores como atividade metabólica dos nódulos, disponibilidade de nutrientes, compatibilidade entre os organismos envolvidos, condições edafoclimáticas e características genéticas da cultivar. Consequentemente, maior número de nódulos não implica, necessariamente, maior quantidade de nitrogênio fixado ou maior eficiência da simbiose. Avaliações complementares, incluindo a atividade da nitrogenase, o metabolismo do N e técnicas isotópicas, permitem caracterizar com maior precisão a contribuição efetiva da FBN para a nutrição da planta (MORETTI et al., 2026; OLIVEIRA et al., 2026).

Entre os micronutrientes relacionados ao metabolismo nitrogenado, o níquel (Ni) desempenha função essencial na atividade da urease, enzima responsável pela hidrólise da ureia. Essa função assume relevância fisiológica na soja, uma vez que o metabolismo dos compostos nitrogenados produzidos durante a FBN envolve a formação e a transformação de diferentes moléculas nitrogenadas. Entretanto, a interpretação das respostas agronômicas à adubação foliar com Ni exige atenção à composição dos produtos comerciais empregados. Formulações que associam níquel, cobalto (Co) e molibdênio (Mo) fornecem simultaneamente elementos com funções fisiológicas distintas e complementares. O molibdênio participa da constituição do cofator da nitrogenase, enquanto o cobalto desempenha funções importantes no metabolismo microbiano associado à simbiose. Assim, quando esses elementos são aplicados conjuntamente, as respostas observadas devem ser interpretadas como efeitos do manejo multinutriente, não sendo possível atribuí-las exclusivamente ao Ni sem um delineamento experimental que permita separar os efeitos individuais dos componentes da formulação.

Paralelamente ao manejo nutricional, os bioinsumos microbiológicos têm despertado interesse como ferramentas complementares para o desenvolvimento vegetal e o aprimoramento da eficiência de utilização dos nutrientes. Produtos contendo microrganismos selecionados, como *Azospirillum brasilense*, e tecnologias baseadas em bactérias metilotróficas, como *Methylobacterium symbioticum*, apresentam propostas de uso que incluem a promoção do crescimento e o favorecimento da nutrição nitrogenada. Contudo, a magnitude e a consistência das respostas dependem

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

das características do microrganismo, da forma de aplicação, das condições ambientais e da interação com o sistema de cultivo. Por essa razão, a associação entre formulações multinutrientes à base de Co, Mo e Ni e tecnologias microbiológicas deve ser avaliada experimentalmente, considerando tanto os efeitos dos fatores isolados quanto suas possíveis interações.

Evidências obtidas em condições de campo reforçam a necessidade de considerar essa variabilidade. Delfim, Moreira e Moraes (2025) relataram diferenças nas respostas da soja à aplicação foliar de Ni em relação à concentração de N e à produtividade, indicando que os resultados podem variar entre cultivares e safras. Moretti et al. (2026), por sua vez, investigaram respostas associadas ao suprimento desse micronutriente e destacaram a importância da adequação das doses, uma vez que concentrações excessivas podem comprometer processos biológicos relacionados à nodulação e ao desempenho da cultura. Adicionalmente, a eficiência das tecnologias microbiológicas pode variar em função de fatores como condições edafoclimáticas, textura do solo, sistema de manejo e genótipo (BARBOSA et al., 2021). Em conjunto, essas evidências indicam que a avaliação de estratégias nutricionais e microbiológicas deve considerar as particularidades do ambiente de cultivo e as possíveis respostas decorrentes da combinação entre tecnologias.

Apesar dos avanços na compreensão das funções dos micronutrientes e dos bioinsumos na cultura da soja, permanece relevante ampliar as avaliações conduzidas em condições reais de campo, especialmente aquelas que investigam a aplicação conjunta de formulações multinutrientes e tecnologias microbiológicas. A análise integrada da nodulação, dos componentes de rendimento, da sanidade vegetal e da produtividade pode contribuir para identificar respostas agronômicas associadas a diferentes estratégias de manejo. Para isso, o emprego de delineamentos fatoriais permite investigar os efeitos dos fatores experimentais e verificar se a resposta a uma determinada dose nutricional depende da tecnologia microbiológica utilizada.

Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de diferentes doses da formulação foliar comercial Root+ Ni, constituída por Co (10%),

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

Mo (10%) e Ni (1,5%), aplicadas nos estádios vegetativos V3 e V5, isoladamente ou em associação com os bioinsumos Bact-N, à base de *Azospirillum brasilense*, e Foliar Utrisha N, contendo *Methylobacterium symbioticum* SB23. Foram investigadas as respostas relacionadas à nodulação radicular, à severidade de doenças foliares, à ocorrência de pragas, à massa de mil sementes e à produtividade de grãos de soja na região Norte do Paraná. A hipótese experimental estabeleceu que as respostas agronômicas da cultura variariam em função das doses da formulação multinutriente e de sua associação com os bioinsumos, podendo ocorrer interações entre esses fatores.

2. Revisão da Literatura

2.1 Dinâmica da Fixação Biológica de Nitrogênio e Nodulação em Soja

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) constitui um processo fundamental para a nutrição nitrogenada da soja (*Glycine max* (L.) Merr.), permitindo que a cultura utilize o nitrogênio atmosférico por meio de uma associação simbiótica com bactérias diazotróficas, principalmente do gênero *Bradyrhizobium*. Após o reconhecimento entre os organismos envolvidos, ocorre a infecção dos tecidos radiculares e a formação de nódulos, estruturas especializadas que proporcionam condições para o estabelecimento da simbiose. No interior desses órgãos, a nitrogenase catalisa a redução do N_2 atmosférico, possibilitando sua incorporação ao metabolismo nitrogenado da planta. Em sistemas de produção bem estabelecidos, esse mecanismo pode suprir parcela substancial da demanda de nitrogênio da cultura e reduzir a necessidade de fertilizantes nitrogenados minerais. O estabelecimento e a manutenção da simbiose dependem da compatibilidade entre a cultivar e as estirpes bacterianas, da disponibilidade de nutrientes e das condições ambientais. A formação dos nódulos envolve processos coordenados de sinalização entre a planta hospedeira e as bactérias, infecção radicular, diferenciação celular e desenvolvimento de estruturas capazes de sustentar a atividade simbiótica. Entretanto, a ocorrência de nodulação não assegura, isoladamente, elevada eficiência da FBN, uma vez que a contribuição efetiva do processo também depende da atividade metabólica dos

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

nódulos e da disponibilidade de fotoassimilados para sustentar a fixação de nitrogênio (PANDIT; PANTHI; CHILUWAL, 2026).

A avaliação da nodulação representa, portanto, uma ferramenta importante para caracterizar a resposta da soja às práticas de manejo. O número e a massa dos nódulos fornecem informações sobre o desenvolvimento da associação simbiótica, mas não quantificam diretamente a quantidade de nitrogênio fixado. Para interpretar adequadamente a eficiência do processo, esses indicadores devem ser considerados em conjunto com variáveis fisiológicas e nutricionais, como a atividade da nitrogenase, o acúmulo de nitrogênio na parte aérea e nos grãos e, quando disponíveis, estimativas da contribuição do nitrogênio atmosférico para a nutrição vegetal. Essa distinção é especialmente relevante em experimentos que avaliam tecnologias nutricionais e microbiológicas, pois alterações na nodulação não implicam necessariamente respostas proporcionais na produtividade.

As condições ambientais também podem modificar a atividade simbiótica. A deficiência hídrica, por exemplo, compromete processos fisiológicos da planta e pode reduzir a eficiência da FBN, enquanto características do solo e a disponibilidade de nutrientes interferem no estabelecimento e na manutenção da simbiose. Dessa forma, a resposta da soja à inoculação ou à aplicação de insumos complementares deve ser interpretada considerando o ambiente de cultivo e as condições experimentais. Estratégias que combinam inoculação, manejo nutricional e seleção de microrganismos podem contribuir para a estabilidade do processo, mas sua eficácia precisa ser demonstrada por avaliações conduzidas em condições representativas do sistema de produção (MENDES et al., 2022).

Nesse contexto, a investigação da nodulação em associação com diferentes doses de formulações multinutrientes e bioinsumos microbiológicos permite examinar possíveis alterações no desenvolvimento da simbiose e sua relação com o desempenho agronômico da cultura. Contudo, quando o experimento não inclui medidas diretas da atividade da nitrogenase ou da quantidade de nitrogênio derivado da atmosfera, as conclusões devem se restringir às variáveis efetivamente mensuradas. Assim, a

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

contagem de nódulos deve ser interpretada como indicador morfológico da resposta simbiótica, e não como comprovação isolada de aumento da fixação biológica de nitrogênio.

2.2 Micronutrientes na Simbiose e metabolismo nitrogenado

O Ni é requerido pelas plantas em concentrações muito baixas e possui função particularmente relacionada à urease, enzima responsável pela hidrólise da ureia. Essa relação estabelece um vínculo fisiológico essencial, no qual a concentração adequada do micronutriente otimiza o metabolismo nitrogenado.

A assimilação eficiente do N fixado biologicamente exige o funcionamento integrado de enzimas que dependem de micronutrientes específicos. O Mo integra o cofator molibdênio (FeMo-co) da nitrogenase, enquanto o Co é constituinte da cobalamina (vitamina B12), necessária à síntese de leghemoglobina nos nódulos. O níquel (Ni) atua como cofator da urease, prevenindo o acúmulo tóxico de ureia nos tecidos vegetais e assegurando a reciclagem eficiente do nitrogênio em aminoácidos. Desse modo, a aplicação foliar combinada desses micronutrientes (Co, Mo e Ni) promove uma suplementação direta e imediata durante as fases vegetativas críticas da cultura. Estudos de Moretti et al. (2026), Oliveira et al. (2026) e Delfim et al. (2025) confirmam a sensibilidade da cultura às doses de Ni, evidenciando que níveis adequados favorecem o metabolismo nitrogenado, enquanto doses excessivas ou desbalanceadas podem comprometer a sobrevivência bacteriana e diminuir o rendimento da cultura. Ressalta-se que esses trabalhos empregaram fontes específicas, vias de aplicação e faixas de dosagem distintas, sendo indispensável interpretar os resultados em função da formulação e das condições experimentais específicas. A aplicação foliar também apresenta respostas dependentes das condições experimentais. Delfim, Moreira e Moraes (2025), em avaliações em campo com distintas cultivares de soja, demonstraram que a adubação foliar com Ni alterou o teor de nitrogênio e, sob condições específicas, a produtividade da cultura, embora com variações significativas entre safras. Tal comportamento reforça que a eficiência

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

do produto Root+ Ni está condicionada a fatores genéticos e ambientais, desaconselhando a adoção de uma recomendação única de dose.

Recentemente, Oliveira et al. (2026) aprofundaram essa discussão ao demonstrarem que o fornecimento de Ni — por meio de diferentes fontes e vias de aplicação — modula enzimas-chave como nitrogenase, urease e nitrato redutase, alterando os metabólitos nitrogenados e a eficiência da FBN. Tais achados corroboram que a resposta da soja à adubação com Co, Mo e Ni é multifacetada, de modo que métricas isoladas de rendimento ou nodulação não esgotam a compreensão de seu complexo mecanismo de ação.

2.3 Tecnologias microbiológicas e a performance da cultura da soja

Os bioinsumos microbiológicos atuam por vias diversas. Inoculantes contendo bactérias diazotróficas e solubilizadoras otimizam a rizosfera, enquanto inoculantes foliares como *Methylobacterium symbioticum* (cepa SB23) colonizam a filosfera. *M. symbioticum* utiliza o metanol emitido pelos estômatos como fonte de carbono e fixa N_2 atmosférico diretamente nas folhas, disponibilizando íons amônio para o metabolismo da planta hospedeira. A meta-análise conduzida por Barbosa et al. (2021) destaca que a resposta aos bioinsumos é condicionada por fatores edafoclimáticos, cultivar e manejo nutricional.

Esse resultado é particularmente relevante para estudos conduzidos em condições de campo, que demonstram que o desempenho de tecnologias microbiológicas não deve ser considerado independente do ambiente.

A resposta pode ser modificada por características do solo, regime hídrico, sistema de cultivo, cultivar e condições climáticas. No presente estudo, Bact-N e Foliar Utrisha N foram avaliados em associação com diferentes doses da formulação multinutriente Root+ Ni. Entretanto, como a composição microbiológica, a concentração dos microrganismos e outros parâmetros específicos das formulações não foram apresentados na metodologia, não é apropriado atribuir aos produtos mecanismos fisiológicos específicos que não tenham sido determinados experimentalmente.

2.4 Associação entre Ni e tecnologias microbiológicas

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

A associação entre micronutrientes e tecnologias microbiológicas pode apresentar respostas agronômicas distintas daquelas observadas quando os componentes são aplicados isoladamente. Entretanto, a maior produtividade em um tratamento combinado não é suficiente para demonstrar sinergismo. O experimento foi conduzido em delineamento fatorial 3 X 3 + 1 adicional, constituído pela combinação de três doses da formulação multinutriente Root+ e três condições microbiológicas, acrescido de uma testemunha absoluta.

O arranjo fatorial permitiu avaliar os efeitos principais das doses da formulação multinutriente Root+ Ni e dos bioinsumos, bem como a interação estatística entre a nutrição foliar multinutriente e os bioinsumos microbiológicos. Essa distinção é especialmente importante diante da literatura recente sobre níquel. Moretti et al. (2026) demonstraram que a resposta ao micronutriente apresenta faixa de eficiência dependente da dose, enquanto Barbosa et al. (2025) ressaltaram que o sucesso de estratégias combinadas depende diretamente da sintonia entre as faixas ótimas de adubação e a viabilidade das estirpes microbiológicas empregadas.

2.5 Relação entre nodulação, componentes de rendimento e produtividade

A produtividade de grãos constitui uma variável agronômica integrada, determinada pela interação dinâmica entre o estabelecimento e a manutenção da população de plantas, o crescimento vegetativo, a formação e retenção das estruturas reprodutivas, a definição do número de grãos e sua capacidade de enchimento, além da disponibilidade de água e nutrientes e da ocorrência de estresses bióticos e abióticos ao longo do ciclo. Dessa forma, o rendimento final não resulta da atuação isolada de um único componente fisiológico, mas da integração de processos que ocorrem em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura (MORETTI et al., 2026).

Nesse contexto, embora a nodulação seja um importante indicador da interação simbiótica entre a soja e bactérias fixadoras de N, o aumento do número de nódulos não implica, necessariamente, maior eficiência da fixação biológica de nitrogênio (FBN) ou incremento proporcional da produtividade. A capacidade dos nódulos de contribuir efetivamente para o suprimento de N depende não apenas de sua formação

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

e abundância, mas também de sua atividade fisiológica, longevidade, disponibilidade de fotoassimilados e condições ambientais. Assim, um tratamento pode promover maior nodulação sem produzir o maior rendimento de grãos quando outros fatores determinantes da produtividade permanecem limitantes. Essa dissociação evidencia a natureza multicomponente do rendimento e reforça a necessidade de interpretar a nodulação conjuntamente com os componentes de produção e o desempenho agronômico da cultura (OLIVEIRA et al., 2026).

Essa distinção é particularmente relevante para a interpretação dos resultados do presente estudo, uma vez que o tratamento que promoveu o maior número de nódulos não foi o mesmo que resultou na maior produtividade de grãos. A análise conjunta dessas variáveis permite interpretar a resposta agronômica de forma integrada, evitando a atribuição de relações causais diretas entre nodulação, eficiência da FBN e produtividade que não foram isoladamente mensuradas no experimento. Dessa forma, os resultados indicam uma associação consistente entre os tratamentos e as variáveis avaliadas, mas ressalvam que o incremento na nodulação, por si só, não pode ser isoladamente apontado como o fator causal exclusivo do aumento da produtividade.

2.6 A resposta dependente da dose

Respostas biológicas ao fornecimento exógeno de micronutrientes obedecem a curvas de resposta estritas, nas quais margens estreitas delimitam limiares de deficiência, suficiência ou fitotoxidez. No que tange ao níquel, investigações contemporâneas demonstram que concentrações ótimas potencializam o metabolismo nitrogenado e a fixação biológica de nitrogênio (FBN), ao passo que excessos iônicos deprimem a sobrevivência diazotrófica, a arquitetura nodular e a capacidade produtiva do vegetal (MORETTI et al., 2026).

Tal premissa corrobora a premissa de que a eficácia da mistura contendo cobalto, molibdênio e níquel está estritamente condicionada à dosagem empregada e às particularidades do ambiente de cultivo.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

Essa ponderação mostra-se imperativa para a compreensão dos dados obtidos neste ensaio. A estabilização ou ausência de ganhos adicionais de rendimento sob as maiores concentrações da formulação multinutriente Root+ Ni, quando integrada a bioinsumos, não traduz inércia agronômica, mas sinaliza a existência de faixas ótimas de resposta e saturação fisiológica. Desse modo, constata-se que incrementos quantitativos na adubação foliar não geram retornos lineares ou proporcionais na produtividade quando associados a tecnologias microbiológicas, sublinhando a necessidade de sintonia fina entre a dosagem de micronutrientes, o consórcio biológico e as exigências varietais.

2.7 Lacuna científica

Investigações recentes apontam que a adição de níquel modula vias do metabolismo nitrogenado, os padrões nodulares e o rendimento da soja, embora revelem marcada sensibilidade à dosagem aplicada e à variabilidade microclimática (DELFIM; MOREIRA; MORAES, 2025; MORETTI et al., 2026; OLIVEIRA et al., 2026). Simultaneamente, insumos de natureza microbiológica demonstram capacidade de impactar o desenvolvimento e a produtividade da cultura, muito embora a consistência e a expressão dessas respostas dependam visceralmente de condicionantes edafoclimáticos, genéticos e do manejo adotado no sistema produtivo (BARBOSA et al., 2021).

Nesse cenário, subsiste a necessidade de mensurar as respostas agronômicas decorrentes da sinergia entre diferentes concentrações de Ni e distintas tecnologias microbiológicas em ambiente de cultivo real, em especial quando o foco recai sobre o rendimento final de grãos e quando a fixação biológica de nitrogênio não é titulada de forma direta.

Partindo dessas premissas, este trabalho visa a agregar evidências empíricas acerca do comportamento da soja submetida ao fornecimento isolado ou combinado da formulação multinutriente Root+ Ni com os bioinsumos Bact-N e Foliar Utrisha N, analisando em conjunto o perfil nodular, os atributos vegetativos, o quadro fitossanitário, a massa de mil sementes e a produtividade de grãos.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

3. Metodologia

3.1 Local, período e condições experimentais

O experimento foi conduzido no período de 10 de outubro de 2025 a 25 de março de 2026, no Bio Soluções Centro de Pesquisa, em Bandeirantes, PR (latitude 23°06'S, longitude 50°22'O, altitude 440 m). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférrico de textura argilosa. Utilizou-se a cultivar de soja TMG2165 Ipro, semeada em 10 de outubro de 2025, com emergência constatada em 17 de outubro de 2025. O semeio foi realizado no espaçamento interfilas de 0,45 m, visando à obtenção de uma população final de 266.667 plantas ha^{-1} (densidade de 12 plantas m^{-1}). O ciclo experimental compreendeu o período de 10 de outubro de 2025 a 30 de março de 2026, data em que se procedeu à colheita final. A análise química do solo da área experimental (-0 20 cm) revelou pH ($CaCl_2$) = 5,5; matéria orgânica = 28,0 g dm^{-3}; P (Mehlich-1) = 8,0 mg dm^{-3}; K^+ = 0,30 cmol_c dm^{-3}; Ca^{2+} = 3,10 cmol_c dm^{-3}; Mg^{2+} = 0,90 cmol_c dm^{-3}; H+Al = 2,90 cmol_c dm^{-3}; CTC = 7,20 cmol_c dm^{-3}; V% = 60%. Os teores iniciais de micronutrientes no solo foram: Fe = 18,5 mg dm^{-3}; Mn = 12,1 mg dm^{-3}; Zn = 1,8 mg dm^{-3}; Cu = 2,4 mg dm^{-3}; B = 0,35 mg dm^{-3}; Mo = 0,08 mg dm^{-3}; Co = 0,05 mg dm^{-3}; Ni = 0,42 mg dm^{-3}.

A adubação de base consistiu na aplicação no sulco de semeadura de 300 kg ha^{-1} da formulação NPK 00-20-20. Não foi aplicado nitrogênio mineral. As sementes da cultivar TMG 2165 IPRO (Grupo de Maturação Relativa 6.5, hábito indeterminado) foram tratadas com fungicida + inseticida de base (Fipronil + Piraclostrobina + Tiofanato-metílico) e inoculadas previamente com *Bradyrhizobium japonicum* (estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080, na dose comercial de 2×10^6 UFC/semente) (MORETTI et al., 2019).

A semeadura ocorreu em 10/10/2025, com emergência em 17/10/2025. O estande final visado foi de 266,667 plantas ha^{-1} (12 plantas m^{-1} em espaçamento de 0,45 m). Esses dados caracterizam as condições edáficas sob as quais os tratamentos foram avaliados.

3.2 Delineamento e tratamentos experimentais

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

O delineamento foi em blocos casualizados (DBC) com 4 repetições. As parcelas mediram 2,0 × 7,0 m (14,0 m²), contendo 4 linhas de cultivo espaçadas de 0,45 m. A área útil compreendeu as duas linhas centrais, desprezando-se 1,0 m em cada extremidade (área útil de 4,5 m² por parcela).

Os tratamentos foram estruturados em um esquema **fatorial 3 × 3 + 1 adicional**:

- **Fator 1** (Doses da formulação comercial multinutriente Root+ Ni): 100, 150 e 200 mL ha^{-1} por aplicação.
- **Fator 2** (Tecnologias/Bioinsumos microbiológicos): Sem bioinsumo (apenas multinutriente Root+ Ni), Bact-N (500 mL ha^{-1}) e Foliar Utrisha N (333 g ha^{-1}).
- **Tratamento Adicional:** Testemunha absoluta sem aplicação foliar nutricional ou de bioinsumos.

Composição detalhada dos produtos comerciais:

1. **Root+ Ni:** Formulação fluida Co-Mo-Ni contendo 100 g L^{-1} de Co (10%), 100 g L^{-1} de Mo (10%) e 15 g L^{-1} de Ni (1,5% m/v).
2. **Bact-N:** Inoculante microbiológico líquido contendo bactérias diazotróficas/promotoras de crescimento (*Azospirillum brasilense*, estirpes Ab-V5 e Ab-V6, concentração mínima garantida de 2,0 × 10^8 UFC mL^{-1}; dose comercial – 500 mL/ha; Fabricante: Bio Soluções; Lote: 2025/09).
3. **Foliar Utrisha N:** Inoculante microbiológico solúvel contendo *Methylobacterium symbioticum* (estirpe SB23, concentração mínima de 3,0 × 10^7 UFC g^{-1}; dose comercial 330 g/ha; Fabricante: Corteva Agriscience; Lote: UT2025-08).

As aplicações ocorreram em dois estádios vegetativos: **V3** (16/11/2025, segunda folha trifoliolada desenvolvida) e **V5** (01/12/2025, quinta folha trifoliolada desenvolvida).

A **Tabela 1** detalha os aportes nutricionais por aplicação e o aporte sazonal acumulado (V3 + V5).

3.3 Cultivar e semeadura

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

Foi utilizada a cultivar TMG 2165 IPRO, de grupo de maturação relativa 6,5, hábito de crescimento indeterminado e ciclo aproximado de 120 a 125 dias para a região Norte do Paraná. A semeadura foi realizada em 10/10/2025, com população estimada de 266.667 plantas ha^{-1} e densidade de 12 plantas m^{-1}. O croqui da área experimental é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos experimentais, doses comerciais e aportes sazonais acumulados de Ni, Co e Mo na cultura da soja. Bandeirantes, PR, safra 2025/2026.

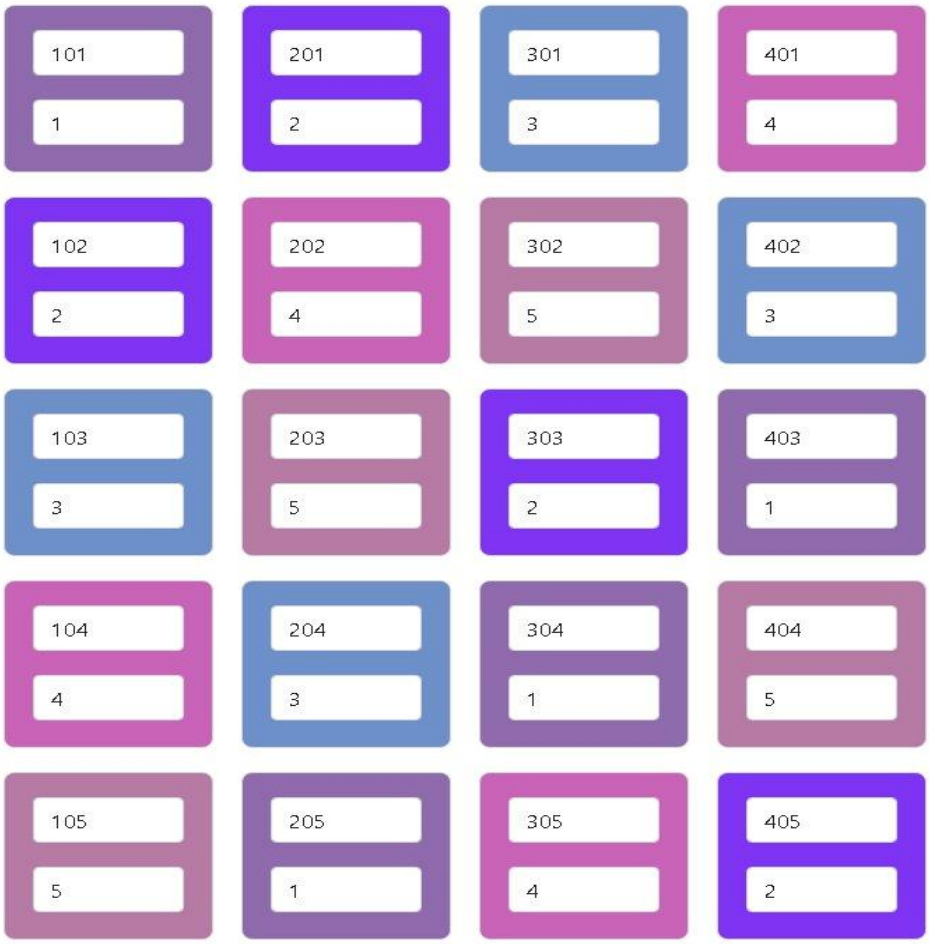
Trat.	Descrição do Tratamento	Dose Comercial por Aplicação (V3 e V5)	Aporte por Aplicação (g ha^{-1}) [Ni / Co / Mo]	Aporte Sazonal Acumulado Total (g ha^{-1}) [Ni / Co / Mo]
1	Testemunha Absoluta	0	0,0 / 0,0 / 0,0	0,0 / 0,0 / 0,0
2	Root+ Ni (Dose 100)	100 mL ha^{-1}	1,50 / 10,0 / 10,0	**3,00 / 20,0 / 20,0**
3	Root+ Ni (Dose 150)	150 mL ha^{-1}	2,25 / 15,0 / 15,0	**4,50 / 30,0 / 30,0**
4	Root+ Ni (Dose 200)	200 mL ha^{-1}	3,00 / 20,0 / 20,0	**6,00 / 40,0 / 40,0**
5	Root+ Ni (100) + Bact-N	100 mL + 500 mL ha^{-1}	1,50 / 10,0 / 10,0	**3,00 / 20,0 / 20,0**
6	Root+ Ni (150) + Bact-N	150 mL + 500 mL ha^{-1}	2,25 / 15,0 / 15,0	**4,50 / 30,0 / 30,0**
7	Root+ Ni (200) + Bact-N	200 mL + 500 mL ha^{-1}	3,00 / 20,0 / 20,0	**6,00 / 40,0 / 40,0**
8	Root+ Ni (100) + Utrisha N	100 mL + 333 g ha^{-1}	1,50 / 10,0 / 10,0	**3,00 / 20,0 / 20,0**
9	Root+ Ni (150) + Utrisha N	150 mL + 333 g ha^{-1}	2,25 / 15,0 / 15,0	**4,50 / 30,0 / 30,0**
10	Root+ Ni (200) + Utrisha N	200 mL + 333 g ha^{-1}	3,00 / 20,0 / 20,0	**6,00 / 40,0 / 40,0**

Fonte: Autores.

Figura 1. Croqui da área experimental. Bio Soluções Centro de Pesquisa – PR, safra 2025/2026. O delineamento experimental foi organizado em blocos ao acaso, contendo parcelas delimitadas e bordaduras para minimizar efeitos de contaminação lateral. Cada parcela corresponde a uma unidade de aplicação destinada às avaliações, conduzidas na safra de 2025/2026.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37



Fonte: Autores

3.4 Tratamentos experimentais

Os tratamentos experimentais totalizaram dez combinações operacionais, envolvendo uma testemunha absoluta (sem aplicação) e a aplicação foliar de bioestimulantes e fertilizantes especiais (Tabela 2).

Todos os tratamentos com insumos foram realizados por aplicação foliar nas datas de 16/11/2025 e 01/12/2025, respeitando o intervalo de 15 dias entre os manejos. (estádio vegetativo da cultura).

Tabela 2. Tratamentos experimentais avaliados na cultura da soja. Bio Soluções Centro de Pesquisa – PR, safra 2025/2026.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

Tratamento	Composição	Época
1	Testemunha	—
2	Root+ Ni (100 mL ha^{-1})	V3 + V5
3	Root+ Ni (150 mL ha^{-1})	V3 + V5
4	Root+ Ni (200 mL ha^{-1})	V3 + V5
5	Root+ Ni (100 mL ha^{-1}) + Bact-N (500 mL ha^{-1})	V3 + V5
6	Root+ Ni (150 mL ha^{-1}) + Bact-N (500 mL ha^{-1})	V3 + V5
7	Root+ Ni (200 mL ha^{-1}) + Bact-N (500 mL ha^{-1})	V3 + V5
8	Root+ Ni (100 mL ha^{-1}) + Foliar Utrisha N (333 g ha^{-1})	V3 + V5
9	Root+ Ni (150 mL ha^{-1}) + Foliar Utrisha N (333 g ha^{-1})	V3 + V5
10	Root+ Ni (200 mL ha^{-1}) + Foliar Utrisha N (333 g ha^{-1})	V3 + V5

Fonte: Autores

V3: segunda folha trifoliolada completamente desenvolvida;

V5: quinta folha trifoliolada completamente desenvolvida.

3.5 Aplicação dos tratamentos

As aplicações foliares foram realizadas nas datas de 16/11/2025 e 01/12/2025, respeitando o intervalo de 15 dias entre os manejos. As caldas foram preparadas imediatamente antes da pulverização, utilizando água limpa com pH ajustado para 6,2 e temperatura de 22 °C. A ordem de adição no tanque seguiu o protocolo de compatibilidade: 1º Água; 2º Formatação em pó/solúvel (Utrisha N, quando aplicável); 3º Formulação líquida nutricional (Multinutriente Root+ Ni); 4º Inoculante líquido (Bact-N, quando aplicável).

O procedimento foi pulverizado imediatamente após o preparo utilizando-se de pulverizador costal pressurizado por CO_2, equipado com barra de 2,0 m e 4 pontas de pulverização de indução de ar tipo 110.02 a 50 cm acima do dossel da cultura, regulado para vazão contínua com volume de calda de 100 L ha^{-1}, pressão de 4,0 bar, velocidade de avanço de 7,0 km h^{-1}. No momento da pulverização, as condições ambientais registradas foram: temperatura do ar de 28 °C, umidade relativa do ar de 55%, velocidade do vento de 7 km h^{-1} e nebulosidade estimada em 45%, garantindo a estabilidade operacional da calda e a ausência de precipitação pluvial posterior que pudesse comprometer a absorção foliar. As condições meteorológicas no momento das aplicações foram monitoradas com anemômetro e psicrômetro digitais:

- **V3 (16/11/2025, 08h30):** Temp. 26 °C; UR 62%; Vento 4,2 km h^{-1}.
- **V5 (01/12/2025, 08h00):** Temp. 27 °C; UR 58%; Vento 5,0 km h^{-1}.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

3.6 Avaliações agronômicas, fitossanitárias e de nodulação.

As avaliações fitossanitárias foram realizadas separadamente para *Cercospora* spp., *Septoria* spp. e *Euschistus heros*, utilizando procedimentos específicos para cada agente, descritos a seguir.

3.6.1 Severidade de *Cercospora* spp.

A severidade do crestamento foliar de Cercospora (*Cercospora kikuchii*) foi quantificada em 10 plantas amostradas aleatoriamente por parcela, avaliando-se sete folíolos por planta, perfazendo o total de 70 folíolos por unidade experimental. As avaliações foram iniciadas no estádio reprodutivo R1, em plantas previamente submetidas aos tratamentos no estádio vegetativo V5. Realizou-se uma avaliação fitossanitária, aos 90 dias após a aplicação dos tratamentos (DAA), estimando-se visualmente a porcentagem de área foliar lesionada com o auxílio da escala diagramática desenvolvida por Martins et al. (2004), a qual estabelece os níveis de referência de 2,4; 15,2; 25,9; 40,5 e 66,6% de severidade para padrões de sintomas agregados e aleatórios (Figura 1).

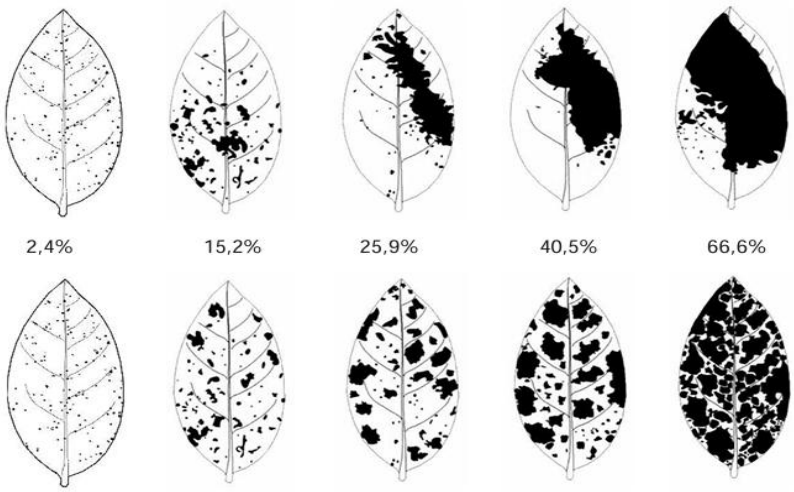
3.6.2 Severidade de *Septoria spp.*

A severidade de *Septoria* spp. foi avaliada em 10 plantas por parcela, mediante a análise de cinco folíolos por planta, selecionados no terço médio das plantas nas linhas centrais da parcela. A severidade foi estimada visualmente considerando a porcentagem da área foliar visivelmente afetada, com base na mesma escala diagramática (Figura 2). Foi realizada uma avaliação durante o período fitossanitário, no intervalo de aproximadamente 90 dias após as aplicações. (MARTINS *et al. 2004)*

Figura 2. Escala diagramática para avaliação da severidade de doenças de final de ciclo (*Cercospora kikuchii* e *Septoria glycines*) em folíolos de soja (*Glycine max* L. Merrill), apresentando os níveis de referência de 2,4; 15,2; 25,9; 40,5 e 66,6% de área foliar lesionada sob padrões de distribuição de sintomas agregados (painel superior) e aleatórios (painel inferior).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37



Fonte: Adaptado de Martins *et al*. (2004).

3.6.3 População de *Euschistus heros*

A densidade populacional do percevejo-marrom (*Euschistus heros*) foi monitorada pelo método do pano de batida, conforme procedimento utilizado para amostragem de percevejos em soja (SOUSA et al., 2020). As avaliações foram iniciadas no estádio R2. Em cada parcela experimental, foram estabelecidos cinco pontos de amostragem, distribuídos nas três linhas centrais, sendo avaliada uma área de 1,0 m² por ponto. Em cada ponto, foram realizadas quatro batidas consecutivas, com posterior contagem dos indivíduos de *E. heros*. As amostragens foram conduzidas no período matutino (entre 08h00 e 10h00), contabilizando-se conjuntamente os espécimes adultos e ninfas do terceiro ao quinto ínstar. Realizaram-se quatro avaliações consecutivas ao longo do ciclo, com intervalos aproximados de 15 dias. Contabilizaram-se ninfas de 3º a 5º ínstares e adultos. A densidade populacional média acumulada foi expressa em indivíduos por metro linear (ind. m^{-1}), e não como incidência percentual.

3.7 Variáveis avaliadas

Aos noventa dias decorridos da primeira pulverização (90 DA1A), procederam-se às mensurações experimentais nas duas fileiras centrais pertencentes a cada unidade amostral, abrangendo as seguintes determinações:

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

- **Altura de plantas:** mensurada no dossel central (10 plantas por parcela), mensurando-se a distância linear (cm) compreendida entre a base do caule rente ao solo e o ápice do ramo principal.
- **Contagem de nódulos radiculares:** retiraram-se dez indivíduos por parcela na camada de 0 a 20 cm de profundidade com o uso de pá amostradora. Na sequência, efetuou-se a remoção mecânica do solo excedente, seguida de lavagem cautelosa do sistema radicular sob fluxo contínuo de água corrente, finalizando com o destaque manual e a contagem individualizada dos nódulos presentes.

A atividade nodular foi determinada por meio de corte transversal dos nódulos com bisturi, sendo considerados ativos aqueles que apresentaram coloração interna róseo-avermelhada, característica associada à presença de leghemoglobina, enquanto a contagem total correspondeu ao número de nódulos independentemente de sua coloração interna (NGOSONG et al, 2022); estande, determinado pela contagem de plantas nas linhas centrais, expresso em plantas por metro de fileira; massa de mil sementes; produtividade de grãos, determinada pela colheita da área útil de cada parcela e convertida para kg ha^{-1}; e severidade de Cercospora spp. e Septoria spp. (%), e densidade populacional de percevejo-marrom (Euschistus heros, expressa em indivíduos por pano de batida).

3.8 Análise estatística

Os pressupostos de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias foram previamente testados e confirmados pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene ($p > 0,05$), respectivamente.

A análise estatística seguiu a estrutura de um delineamento em blocos casualizados com tratamentos dispostos em arranjo fatorial 3 x 3 + 1 adicional, composto por:

- Fator 1 (Doses de Multinutriente Root+ Ni): 100, 150 e 200 mL ha^{-1} por aplicação.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

- Fator 2 (Tecnologias/Bioinsumos microbiológicos): Sem bioinsumo (apenas Multinutriente Root+ Ni), Bact-N (500 mL ha^{-1}) e Foliar Utrisha N (333 g ha^{-1}).
- Tratamento Adicional: Testemunha Absoluta (sem aplicação foliar).

Os dados dos 9 tratamentos do esquema fatorial foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) fatorial 3 x 3. Avaliou-se a significância dos efeitos principais dos fatores (*Dose* e *Bioinsumo*) e da interação $F_{Dose\ x\ Bioinsumo}$.

Quando a interação $F_{Dose\ x\ Bioinsumo}$ foi significativa ($p < 0,05$), procedeu-se ao desdobramento dos efeitos simples por meio do teste de comparação múltipla de Tukey a 5 % de probabilidade (Doses dentro de cada Bioinsumo e Bioinsumos dentro de cada Dose). Na ausência de interação significativa ($p \geq 0,05$), os efeitos principais foram comparados isoladamente por Tukey ($p < 0,05$).

Para comparar individualmente os 9 tratamentos do arranjo fatorial contra a Testemunha Absoluta (Tratamento Adicional / Controle), aplicou-se o teste de comparação múltipla de Dunnett a 5% de probabilidade ($\alpha = 0,05$). Todas as análises foram executadas no software R (versão 4.3.2) utilizando os pacotes lme4, agricolae e multcomp.

3.9 Uso de ferramentas digitais e inteligência artificial

Durante a elaboração deste manuscrito, foram utilizadas ferramentas digitais e recursos de inteligência artificial como apoio à tradução, revisão linguística e organização das referências bibliográficas. O Google Tradutor foi utilizado como recurso auxiliar na tradução de trechos para os idiomas inglês e espanhol, enquanto o Bibcitation foi empregado para auxiliar na organização e formatação das citações e referências bibliográficas. Todo o conteúdo produzido ou processado por essas ferramentas foi revisado e validado pelos autores, que permanecem integralmente responsáveis pela precisão, interpretação, originalidade e integridade das informações apresentadas no manuscrito.

4. Resultados e Discussão

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

Tabela 3. Quadro de resumo da Análise de Variância (ANOVA) fatorial 3 x 3 para Altura, Estande, Número de Nódulos, Massa de Mil Sementes (PMS) e Produtividade de Grãos na cultura da soja. Bandeirantes, PR, safra 2025/2026.

Variável	Efeito Principal: Dose ($F_{2;27}$)	Efeito Principal: Bioinsumo ($F_{2;27}$)	Interação: Dose × Bioinsumo ($F_{4;27}$)	C.V. (%)
Altura de plantas (cm)	$0,84^{ns}$ (p = 0,442)	$0,31^{ns}$ (p = 0,736)	$0,25^{ns}$ (p = 0,907)	8,03
Estande (plantas m^{-1})	$0,18^{ns}$ (p = 0,836)	$0,00^{ns}$ (p = 1,000)	$0,00^{ns}$ (p = 1,000)	7,06
Nódulos (nº / 10 plantas)	$12,45^{**}$ (p < 0,001)	$18,32^{**}$ (p < 0,001)	**$14,88^{**}$ (p < 0,001)**	4,98
PMS (g)	$18,62^{**}$ (p < 0,001)	$45,10^{**}$ (p < 0,001)	**$5,74^{**}$ (p = 0,002)**	3,34
Produtividade (kg ha^{-1})	$124,15^{**}$ (p < 0,001)	$312,40^{**}$ (p < 0,001)	**$48,92^{**}$ (p < 0,001)**	1,84

Fonte: Autores

Nota: Significativo a 1% de probabilidade (p < 0,01); ^{ns} não significativo (p ≥ 0,05). C.V.: Coeficiente de Variação Experimental.

4.1 Altura de plantas e estande

A altura das plantas e o estande populacional não apresentaram variações significativas ($p > 0,05$) nem na análise fatorial nem na comparação com a testemunha absoluta (Tabela 4). A altura variou de 86,25 a 97,50 cm, enquanto no estande final variou entre 10,75 e 11,25 plantas m^{-1}. A elevada uniformidade populacional (C.V. de 7,06% no estande) confirma que a população de plantas não influenciou as variações de produtividade. (ANDRADE *et al*., 2020). (Tabela 4).

Tabela 4. Altura de plantas de soja (*Glycine max* L. Merr.) em resposta à aplicação foliar de diferentes doses da formulação comercial Root+ Ni isolada ou associada aos bioinsumos microbiológicos Bact-N e Foliar Utrisha N. Bandeirantes, PR, safra 2025/2026.

Tratamento	Dose	Altura (cm)
1 – Testemunha	0,00	95,25 a
2 – Root+ Ni	100 mL/ha	97,50 a
3 – Root+ Ni	150 mL/ha	92,00 a
4 – Root+ Ni	200 mL/ha	86,25 a
5 – Root+ Ni + Bact-N	100 + 500 mL/ha	90,00 a
6 – Root+ Ni + Bact-N	150 + 500 mL/ha	86,25 a
7 – Root+ Ni + Bact-N	200 + 500 mL/ha	87,50 a
8 – Root+ Ni + Utrisha N	100 mL + 333 g/ha	90,00 a
9 – Root+ Ni + Utrisha N	150 mL + 333 g/ha	86,25 a
10 – Root+ Ni + Utrisha N	200 mL + 333 g/ha	90,00 a
C.V. (%)		8,03
D.M.S.		17,61

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

Fonte: Autores

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey HSD (α = 0,05). Valores apresentados são médias de quatro repetições (n = 4) ± erro padrão. CV = coeficiente de variação; DMS = diferença mínima significativa (α = 0,05). As análises foram realizadas em R (versão 4.3.2) — pacotes lme4, agricolae e multcomp. Teste de normalidade dos resíduos: Shapiro-Wilk; homogeneidade de variâncias: Levene.

A ausência de diferença estatística indica que as aplicações de Multinutriente Root+ Ni, isoladamente ou associadas aos bioinsumos, não modificaram significativamente o crescimento longitudinal das plantas nas condições avaliadas. A amplitude observada entre os tratamentos permaneceu dentro da diferença necessária para caracterizar separação estatística, indicando que os efeitos observados posteriormente sobre nodulação, massa de sementes e produtividade não foram acompanhados por alteração generalizada da altura das plantas.

O estande também não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, variando de 10,75 a 11,25 plantas m^{-1}, com coeficiente de variação de 7,06% (Tabela 5).

Tabela 5. Avaliação de Stand Plantas metro linear 12 Plantas 90 dias após a primeira aplicação (DA1A). Cultivar TMG2165 Ipro. Bio Soluções Centro de Pesquisa - PR, 2025/2026.

Tratamento	Dose	90 DA1A
1 – Testemunha	0,00	10,75 a
2 – Root+ Ni	100 mL/ha	11,25 a
3 – Root+ Ni	150 mL/ha	10,75 a
4 – Root+ Ni	200 mL/ha	10,75 a
5 – Root+ Ni + Bact-N	100 + 500 mL/ha	10,75 a
6 – Root+ Ni + Bact-N	150 + 500 mL/ha	10,75 a
7 – Root+ Ni + Bact-N	200 + 500 mL/ha	10,75 a
8 – Root+ Ni + Utrisha N	100 mL + 333 g/ha	10,75 a
9 – Root+ Ni + Utrisha N	150 mL + 333 g/ha	10,75 a
10 – Root+ Ni + Utrisha N	200 mL + 333 g/ha	10,75 a
C.V. (%)		7,06
D.M.S.		1,85

Fonte: Autores.

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey HSD (α = 0,05). Valores apresentados são médias de quatro repetições (n = 4) ± erro padrão. CV = coeficiente de variação; DMS = diferença mínima significativa (α = 0,05). As análises foram realizadas em R (versão 4.3.2) — pacotes lme4, agricolae e multcomp. Teste de normalidade dos resíduos: Shapiro-Wilk; homogeneidade de variâncias: Levene. Legenda das épocas: A: V3 segunda folha trifoliolada completamente desenvolvida + V5.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

A pequena amplitude entre as médias indica elevada uniformidade da população avaliada. Essa uniformidade é relevante para a interpretação da produtividade, uma vez que reduz a possibilidade de que diferenças na população de plantas tenham constituído a principal causa das diferenças observadas no rendimento de grãos.

4.2 Nodulação

Aos 90 DA1A, foram arrancadas 10 plantas consecutivas na área útil de cada parcela utilizando pá de corte a 0–20 cm de profundidade. Os blocos de solo contendo raízes foram lavados suavemente sobre uma peneira de 2 mm. Os nódulos foram destacados, contados e classificados visualmente quanto ao diâmetro (> 2 mm) e à atividade (presença de hemoglobina avermelhada em corte transversal realizado com bisturi). Apresenta-se o número total de nódulos funcionais por 10 plantas. (Tabela 6).

Tabela 6. Desdobramento da Interação Fatorial 3 x 3 e Comparação de Dunnett para o Número de nódulos por 10 plantas aos 90 DA1A. Cultivar TMG 2165 IPRO. Bio Soluções Centro de Pesquisa – PR, 2025/2026.

Tecnologías microbiológicas (Bioinsumos)	**Dose 100 mL ha⁻¹**	**Dose 150 mL ha⁻¹**	**Dose 200 mL ha⁻¹**	**Média Fator Bioinsumo**
Sem Bioinsumo (Root+ Ni isolado)	43,75 c B *	52,50 b B *	61,25 a A *	**52,5**
Bact-N (500 mL ha⁻¹)	62,50 a A *	55,25 b B *	53,75 b B *	**57,17**
Foliar Utrisha N (333 g ha⁻¹)	61,00 a A *	55,25 b B *	59,00 a A *	**58,42**
Média Fator Dose	**55,75**	**54,33**	**58**	—
Testemunha Absoluta (Controle - Dose 0)			**30,75** (Média de referência para o Teste de Dunnett)	

Fonte: Autores

Nota: Para o desdobramento do arranjo fatorial 3 × 3 (Tukey a 5%): Letras minúsculas distintas na mesma linha comparam doses detro de cada bioinsumo. Letras maiúsculas distintas na mesma coluna comparam Bioinsumos dentro de cada Dose.
* Diferença estatisticamente significativa em relação à Testemunha Absoluta pelo Teste de Dunnett ($p < 0,05$)

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

Entre os tratamentos com Multinutriente Root+ Ni isolado, observou-se aumento progressivo da nodulação com a dose, passando de 43,75 nódulos por 10 plantas, na dose de 100 mL ha^{-1}, para 52,50 e 61,25 nódulos nas doses de 150 e 200 mL ha^{-1}, respectivamente. Nas associações com Bact-N, entretanto, a maior média foi obtida com 100 mL ha^{-1} de Multinutriente Root+ Ni, alcançando 62,50 nódulos por 10 plantas. Com 150 e 200 mL ha^{-1}, as médias foram de 55,25 e 53,75 nódulos, respectivamente. Para a associação com Foliar Utrisha N, foram observados 61,00; 55,25 e 59,00 nódulos para 100, 150 e 200 mL ha^{-1} de Multinutriente Root+ Ni, respectivamente.

A resposta observada é compatível com a literatura que demonstra que o Ni pode modificar processos relacionados ao metabolismo nitrogenado e à interação da soja com *Bradyrhizobium*. Moretti et al. (2026) demonstraram que a resposta à formulação multinutriente (Co-Mo-Ni) depende da dose e que níveis elevados podem reduzir a viabilidade bacteriana e a nodulação. Portanto, o comportamento não linear observado nas associações com Bact-N e Foliar Utrisha N é biologicamente plausível, embora o presente experimento não permita identificar o mecanismo responsável pela resposta.

A diferença máxima entre a testemunha e o tratamento de maior nodulação correspondeu a aproximadamente 103%. Entretanto, esse aumento deve ser interpretado como alteração na nodulação, e não como aumento quantitativamente comprovado da FBN. A atividade da nitrogenase, a quantidade de N_2 fixado e a contribuição do N atmosférico para o acúmulo de N na planta não foram determinadas. Estudos recentes que avaliaram diretamente nitrogenase, metabolismo nitrogenado e indicadores isotópicos demonstram a importância dessa distinção (OLIVEIRA et al., 2026).

Assim, os resultados sustentam a hipótese de que as combinações avaliadas modificaram a nodulação da soja, mas não permitem afirmar que o aumento do número de nódulos tenha representado aumento proporcional da FBN.

4.3 Severidade de Cercospora spp.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

Não foram observadas variações estatisticamente perceptíveis para a severidade de *Cercospora* spp. entre os tratamentos avaliados. O quadro fitossanitário revelou amplitude média oscilando entre 5,75% e 11,25%, sob um coeficiente de variação de 30,35% e valor de diferença mínima significativa estabelecido em 5,57 pontos percentuais (Tabela 7).

Tabela 7. Severidade de Cercospora spp. (%) aos 90 DA1A. Cultivar TMG 2165 IPRO. Bio Soluções Centro de Pesquisa – PR, 2025/2026.

Tratamento	Dose	Cercospora (%)
1 – Testemunha	0,00	11,25 a
2 – Root+ Ni	100 mL/ha	7,75 a
3 – Root+ Ni	150 mL/ha	7,75 a
4 – Root+ Ni	200 mL/ha	7,00 a
5 – Root+ Ni + Bact-N	100 + 500 mL/ha	6,50 a
6 – Root+ Ni + Bact-N	150 + 500 mL/ha	7,00 a
7 – Root+ Ni + Bact-N	200 + 500 mL/ha	7,75 a
8 – Root+ Ni + Utrisha N	100 mL + 333 g/ha	7,75 a
9 – Root+ Ni + Utrisha N	150 mL + 333 g/ha	7,00 a
10 – Root+ Ni + Utrisha N	200 mL + 333 g/ha	5,75 a
C.V. (%)		30,35
D.M.S.		5,57

Fonte: Autores

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey HSD (α = 0,05). Valores apresentados são médias de quatro repetições (n = 4) ± erro padrão. CV = coeficiente de variação; DMS = diferença mínima significativa (α = 0,05). As análises foram realizadas em R (versão 4.3.2) — pacotes lme4, agricolae e multcomp. Teste de normalidade dos resíduos: Shapiro-Wilk; homogeneidade de variâncias: Levene.

Embora numericamente o menor valor tenha sido observado no tratamento Multinutriente Root+ Ni 200 mL ha^{-1} + Foliar Utrisha N, a média obtida inseriu-se no mesmo agrupamento estatístico verificado para a testemunha e para as demais combinações experimentais. Desse modo, as informações empíricas coletadas não comprovam impacto estatisticamente mensurável das tecnologias testadas sobre a incidência de *Cercospora* spp. nas condições em que o ensaio foi conduzido.

Mostra-se inadequado associar a ausência de divergências significativas a eventuais mecanismos de defesa ou postular que o níquel e os bioinsumos tenham desempenhado papel supressivo sobre o fungo fitopatogênico, visto que o escopo metodológico do estudo não abrangeu mensurações bioquímicas ou moleculares de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

resistência. Consequentemente, a interpretação dos dados deve ater-se estritamente ao comportamento estatístico evidenciado nas análises.

4.4 Severidade de Septoria spp.

Identificou-se diferença estatística marcante para a severidade de *Septoria* spp. entre as parcelas experimentais. O tratamento controle acusou média de 11,25%, ao passo que os manejos integrados com a formulação multinutriente Root + Ni exibiram patamares situados na faixa de 5,00% a 7,75%, integrando conjuntamente a faixa inferior de agrupamento estatístico (Tabela 8).

Tabela 8. Severidade de Septoria spp. (%) Aos 90 DA1A. Cultivar TMG 2165 IPRO. Bio Soluções Centro de Pesquisa – PR, 2025/2026**.**

Tratamento	Dose	Septoria (%)
1 – Testemunha	0,00	11,25 a
2 – Root+ Ni	100 mL/ha	7,75 b
3 – Root+ Ni	150 mL/ha	7,25 b
4 – Root+ Ni	200 mL/ha	7,00 b
5 – Root+ Ni + Bact-N	100 + 500 mL/ha	7,00 b
6 – Root+ Ni + Bact-N	150 + 500 mL/ha	7,00 b
7 – Root+ Ni + Bact-N	200 + 500 mL/ha	7,00 b
8 – Root+ Ni + Utrisha N	100 mL + 333 g/ha	7,00 b
9 – Root+ Ni + Utrisha N	150 mL + 333 g/ha	7,00 b
10 – Root+ Ni + Utrisha N	200 mL + 333 g/ha	5,00 b
C.V. (%)		21,82
D.M.S.		3,89

Fonte: Autores

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey HSD (α = 0,05). Valores apresentados são médias de quatro repetições (n = 4) ± erro padrão. CV = coeficiente de variação; DMS = diferença mínima significativa (α = 0,05). As análises foram realizadas em R (versão 4.3.2) — pacotes lme4, agricolae e multcomp. Teste de normalidade dos resíduos: Shapiro-Wilk; homogeneidade de variâncias: Levene.

A menor severidade, de 5,00%, foi observada no tratamento Multinutriente Root+ Ni 200 mL ha^{-1} + Foliar Utrisha N, correspondendo à redução numérica de aproximadamente 55,6% em relação à testemunha. Entretanto, esse tratamento não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos contendo Multinutriente Root+ Ni. Portanto, a interpretação mais robusta é que a presença de Multinutriente Root+ Ni esteve associada à redução da severidade de *Septoria* spp. em relação à testemunha, e não que a maior dose associada a Foliar Utrisha N tenha sido especificamente superior aos demais tratamentos.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

A diferença de resposta entre *Cercospora* spp. e *Septoria* spp. demonstra que as tecnologias avaliadas não produziram efeito uniforme sobre as duas doenças. Como não foram avaliados mecanismos de resistência, atividade enzimática ou alterações bioquímicas, não é possível estabelecer o mecanismo responsável pela redução observada.

4.5 Percevejo-marrom (*Euschistus heros*)

A quantificação da densidade populacional de ninfas (3º ao 5º ínstar) e adultos do percevejo-marrom (*Euschistus heros*) realizada aos 90 dias após a primeira aplicação (DA1A) não revelou efeitos significativos para os fatores Doses de Multinutriente Root+ Ni, Bioinsumos ou para a interação x Bioinsumo ($p > 0,05$; Tabela 9).

Tabela 9. Densidade populacional média de percevejo-marrom (*Euschistus heros* — ind./pano de batida) aos 90 DA1A na cultivar de soja TMG 2165 IPRO. Bio Soluções Centro de Pesquisa, PR, safra 2025/2026

Tratamento	Dose	Percevejo	
		Ninfa 3º ao 5º instar	Adulto
1 – Testemunha	0	1,50 ± 1,29^{ns}	2,50 ± 1,29^{ns}
2 – Root+ Ni	100 mL/ha^{-1}	2,00 ± 1,41^{ns}	2,50 ± 1,73^{ns}
3 – Root+ Ni	150 mL ha^{-1}	1,50 ± 1,29^{ns}	2,00 ± 0,82^{ns}
4 – Root+ Ni	200 mL ha^{-1}	2,00 ± 1,15^{ns}	3,00 ± 1,83^{ns}
5 – Root+ Ni + Bact-N	100 + 500 mL ha^{-1}	2,00 ± 0,82^{ns}	2,75 ± 2,22^{ns}
6 – Root+ Ni + Bact-N	150 + 500 mL ha^{-1}	1,50 ± 1,73^{ns}	1,75 ± 0,96^{ns}
7 – Root+ Ni + Bact-N	200 + 500 mL ha^{-1}	2,25 ± 1,26^{ns}	2,50 ± 1,29^{ns}
8 – Root+ Ni + Utrisha N	100 mL + 333 g ha^{-1}	1,75 ± 1,50^{ns}	2,00 ± 2,16^{ns}
9 – Root+ Ni + Utrisha N	150 mL + 333 g ha^{-1}	1,75 ± 0,96^{ns}	2,25 ± 1,89^{ns}
10 – Root+ Ni + Utrisha N	200 mL + 333 g ha^{-1}	1,50 ± 1,29^{ns}	2,75 ± 0,96^{ns}
Efeito do Fator Dose ($F_{2;27}$)	—	0,18^{ns} ($p = 0,836$)	0,35^{ns} ($p = 0,708$)
Efeito do Fator Bioinsumo ($F_{2;27}$)	—	0,24^{ns} ($p = 0,788$)	0,42^{ns} ($p = 0,661$)
Interação Dose × Bioinsumo ($F_{4;27}$)	—	0,31^{ns} ($p = 0,869$)	0,28^{ns} ($p = 0,889$)
Contraste Dunnett vs Testemunha	—	F = 0,15^{ns} ($p = 0,998$)	F = 0,22^{ns} ($p = 0,991$)
C.V. (%)	—	22,45	28,12

Fonte: Autores

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

Nota: Valores representam média ± desvio padrão (n = 4) expressos em indivíduos por pano de batida. ^{ns} Não significativo pelo teste F da ANOVA a 5% de probabilidade (p > 0,05). Devido à ausência de significância estatística na ANOVA global e no Teste de Dunnett, não foram aplicadas letras de agrupamento de comparação múltipla.

A densidade de ninfas variou de 1,50 ± 1,29 a 2,25 ± 1,26 ind./pano de batida, enquanto a população de adultos oscilou entre 1,75 ± 0,96 e 3,00 ± 1,83 ind./pano de batida (Tabela 9). O teste de Dunnett (α = 0,05) indicou que nenhum dos tratamentos contendo a formulação multinutriente isolada ou associada aos bioinsumos diferiu estatisticamente da Testemunha Absoluta (p > 0,05; Tabela 9).

A ausência de alteração na dinâmica populacional do percevejo-marrom confirma a neutralidade entomológica do fertilizante foliar (Co-Mo-Ni) e dos inoculantes microbiológicos (*Azospirillum brasilense* e *Methylobacterium symbioticum*). Esse comportamento é fisiologicamente esperado, uma vez que bioestimulantes e nutrientes foliares não possuem modo de ação inseticida nem alteram de forma detectável a atratividade ou a palatabilidade dos tecidos vegetais para hemípteros fitófagos nas doses recomendadas.

A densidade de percevejo-marrom não apresentou variação significativa entre os tratamentos, confirmando a neutralidade entomológica das aplicações foliares.

4.6 Massa de 1000 sementes

Verificou-se variação estatisticamente significativa para a massa de 1000 sementes (PMS) entre os tratamentos avaliados, acompanhada de um coeficiente de variação de 3,34% e de uma diferença mínima significativa (DMS) fixada em 15,29 g. Enquanto o tratamento testemunha registrou 148,25 g, as parcelas submetidas aos manejos experimentais oscilaram na faixa de 175,00 g a 200,75 g (Tabela 10)

Tabela 10. Desdobramento da Interação Fatorial 3 x 3 e Comparação de Dunnett para Massa de mil sementes (g) aos 90 DA1A. Cultivar TMG 2165 IPRO. Bio Soluções Centro de Pesquisa – PR, 2025/2026.

Tecnologias microbiológicas (Bioinsumos)	**Dose 100 mL ha^{-1}**	**Dose 150 mL ha^{-1}**	**Dose 200 mL ha^{-1}**	**Média Fator Bioinsumo**
Sem Bioinsumos (Root+ Ni isolado)	175,00 b B *	188,25 a B *	188,50 a B *	**183,92**

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

Bact-N (500 mL ha⁻¹)	190,75 b A *	192,00 b A *	199,50 a A *	**194,08**
Foliar Utrisha N (333 g ha⁻¹)	199,25 a A *	198,75 a A *	200,75 a A *	**199,58**
Média Fator Dose	**188,33**	**193**	**196,25**	—
Testemunha Absoluta (Controle - Dose 0)			**148,25** (Média de referência para o Teste de Dunnett)	

Fonte: Autores

Nota: *Para o desdobramento do arranjo fatorial 3 × 3 (Tukey a 5%): Letras minúsculas distintas na mesma linha comparam doses dentro de cada bioinsumo. Letras maiúsculas distintas na mesma coluna comparam Bioinsumos dentro de cada Dose.*
* Diferença estatisticamente significativa em relação à Testemunha Absoluta pelo Teste de Dunnett ($p < 0,05$)

O tratamento Multinutriente Root+ Ni 100 mL ha⁻¹ apresentou 175,00 g, enquanto as doses de 150 e 200 mL ha⁻¹ apresentaram 188,25 e 188,50 g, respectivamente. Nas associações com Bact-N, os valores foram 190,75; 192,00 e 199,50 g, respectivamente. Com Foliar Utrisha N, foram observados 199,25; 198,75 e 200,75 g.

Os maiores registros de massa de mil sementes concentraram-se nas parcelas vinculadas aos bioinsumos. O ápice numérico, situado em 200,75 g, traduziu-se em um acréscimo aproximado de 35,4% frente ao grupo controle.

Tal comportamento atesta que os manejos testados modularam de forma efetiva este importante atributo físico do rendimento. Contudo, adverte-se que o ganho na massa individual dos grãos não pode ser tomado isoladamente como comprovação direta de maior fixação biológica de nitrogênio ou de taxas fotossintéticas superiores, visto que tais parâmetros metabólicos não integraram o escopo de mensurações diretas do experimento. A produtividade é uma característica integrada e depende da interação entre diversos componentes de rendimento.

A resposta observada também deve ser interpretada em conjunto com a literatura sobre Ni. Delfim, Moreira e Moraes (2025) demonstraram que a aplicação foliar de Ni pode modificar características relacionadas ao N e à produtividade da soja, mas que a magnitude da resposta depende da cultivar e do ambiente. Portanto, o resultado obtido neste experimento constitui evidência de resposta agronômica nas condições

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

avaliadas, não uma demonstração de efeito universal do Ni sobre a massa de sementes.

4.7 Produtividade de grãos

Por intermédio da Análise de Variância, constatou-se interação estatística expressiva entre as dosagens da formulação multinutriente Root+ Ni e os manejos microbiológicos no que tange à produtividade de grãos ($F_{4;27} = 48,92$; $p < 0,001$; Tabela 3). Ademais, mediante a aplicação do Teste de Dunnett ($p = 0,05$), apurou-se que a totalidade dos nove tratamentos integrantes do esquema fatorial registrou patamares produtivos estatisticamente superiores aos verificados para a Testemunha Absoluta (2.700,12 kg ha^{-1}).

A partir do desdobramento dos efeitos simples por meio do teste de Tukey ($p < 0,05$), evidenciou-se que, sob a condição de ausência de bioinsumos (aplicação isolada de Root + Ni), a elevação das doses induziu aumentos gradativos e ascendentes na produtividade, registrando-se 2.944,12 kg ha^{-1} (100 mL ha^{-1}), 3.088,25 kg ha^{-1} (150 mL ha^{-1}) e 3.196,00 kg ha^{-1} (200 mL ha^{-1}) (Tabela 11).

Tabela 11. Desdobramento da Interação Fatorial 3 x 3 e Comparação Dunnett para Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) aos 90 DA1A. Cultivar TMG 2165 IPRO. Bio Soluções Centro de Pesquisa – PR, 2025/2026.

Tecnologías microbiológicas (Bioinsumos)	**Dose 100 mL ha^{-1}**	**Dose 150 mL ha^{-1}**	**Dose 200 mL ha^{-1}**	**Média Fator Bioinsumo**
Sem Bioinsumo (Root+ Ni isolado)	2.944,12 c C *	3.088,25 b C *	3.196,00 a C *	**3.076,12**
Bact-N (500 mL ha^{-1})	3.326,70 c B *	3.792,75 a B *	3.647,50 b B *	**3.588,98**
Foliar Utrisha N (333 g ha^{-1})	3.605,57 b A *	3.892,75 a A *	3.672,10 b A *	**3.723,47**
Média Fator Dose	**3.292,13**	**3.591,25**	**3.505,20**	—
Testemunha Absoluta (Controle - Dose 0)			**2.700,12** (Média de referência para o Teste de Dunnett)	

Fonte: Autores

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

Nota: *Para o desdobramento do arranjo fatorial 3 × 3 (Tukey a 5%): Letras minúsculas distintas na mesma linha comparam doses dentro de cada bioinsumo. Letras maiúsculas distintas na mesma coluna comparam bioinsumos dentro de cada dose.*
* Diferença com significância estatística comparativamente à Testemunha Absoluta mediante o Teste de Dunnett ($p < 0,05$)

Em contrapartida, sob a condição de coinoculação com os bioinsumos microbiológicos, o padrão de resposta deixou de exibir linearidade frente às dosagens aplicadas. Tanto no consórcio com o *Bact-N* quanto na associação ao *Foliar Utrisha N*, o ápice do rendimento produtivo concentrou-se na concentração intermediária de 150 mL ha^{-1} (alcançando 3.792,75 kg ha^{-1} e 3.892,75 kg ha^{-1}, respectivamente), registrando-se retração estatisticamente expressiva na produtividade com a subsequente elevação do insumo para 200 mL ha^{-1} (Tabela 10).

Ao confrontar os bioinsumos dentro de cada patamar de concentração da formulação multinutriente Root+ Ni, constatou-se que a coinoculação com o *Foliar Utrisha N* assegurou os mais elevados rendimentos absolutos em todas as três dosagens avaliadas, distanciando-se com significância estatística tanto da administração exclusiva do multinutriente quanto do tratamento com *Bact-N* nas respectivas concentrações de 100 e 150 mL ha^{-1} (Tabela 10). O tratamento Multinutriente Root+ Ni na dose de 150 mL ha^{-1} associado ao Foliar Utrisha N proporcionou o máximo rendimento do experimento (3.892,75 kg ha^{-1}), representando um ganho de 44,2% sobre a Testemunha Absoluta.

4.8 Relação entre nodulação, massa de sementes e produtividade

A análise conjunta das variáveis evidencia uma dissociação importante entre nodulação e produtividade. O maior número de nódulos foi observado no tratamento Multinutriente Root+ Ni 100 mL ha^{-1} + Bact-N, com 62,50 nódulos por 10 plantas, enquanto a maior produtividade ocorreu com Multinutriente Root+ Ni 150 mL ha^{-1} + Foliar Utrisha N, com 3.892,75 kg ha^{-1}.

Esse resultado demonstra que o número de nódulos não apresentou correspondência direta com o rendimento de grãos. A interpretação é coerente com a literatura recente, segundo a qual a nodulação deve ser diferenciada da eficiência efetiva da FBN.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

Moretti et al. (2026) demonstraram que alterações na nodulação podem ocorrer juntamente com modificações na atividade relacionada à FBN, enquanto Oliveira et al. (2026) reforçaram a necessidade de indicadores fisiológicos e isotópicos para caracterizar a contribuição efetiva do processo.

Assim, o maior número de nódulos observado no tratamento com Bact-N não pode ser utilizado para afirmar que esse tratamento apresentou maior FBN. O resultado demonstra apenas que a tecnologia associada à dose de 100 mL ha^{-1} de Multinutriente Root+ Ni proporcionou maior número de nódulos nas condições avaliadas.

4.9 Resposta dependente da dose e da tecnologia associada

Os resultados revelaram comportamento dependente da combinação entre dose de multinutriente Root+ Ni e a tecnologia microbiológica. Quando aplicado isoladamente, o aumento da dose de multinutriente Root+ Ni de 100 para 200 mL ha^{-1} esteve associado a aumento progressivo da produtividade. Entretanto, nas associações com Bact-N e Foliar Utrisha N, a maior produtividade foi obtida na dose intermediária de 150 mL ha^{-1}.

Tal comportamento alinha-se aos achados recentes descritos na literatura científica acerca da aplicação combinada de cobalto, molibdênio e níquel na cultura da soja. Moretti et al. (2026) constataram que concentrações elevadas do micronutriente podem deprimir a sobrevivência das estirpes de *Bradyrhizobium*, a arquitetura nodular e o rendimento agronômico, ao passo que Delfim, Moreira e Moraes (2025) pontuaram que a magnitude da resposta à formulação Root + Ni é condicionada pelas características genéticas da cultivar e pelas variações do microclima.

Contudo, ressalva-se que a estagnação produtiva observada na maior dosagem não pode ser atribuída conclusivamente a episódios de fitotoxidez, visto que o delineamento experimental não abrangeu a quantificação dos teores foliares dos elementos metálicos, a inspeção visual de sintomas tóxicos ou a mensuração de variáveis fisiológicas específicas.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

4.10 Síntese integrada dos resultados

Uma vez que a formulação multinutriente Root+ Ni fornece simultaneamente cobalto (Co) e molibdênio (Mo) — elementos vitais para a síntese de leghemoglobina e para a atividade do complexo nitrogenase —, os efeitos observados não podem ser atribuídos de forma causal única e exclusiva ao níquel.

Tomando-se em conjunto o espectro de variáveis analisadas, constata-se que os manejos aplicados induziram comportamentos contrastantes sobre o desenvolvimento vegetativo, o perfil nodular, a fitossanidade, o peso de grãos e o rendimento final. A estatura de plantas e o estande populacional mantiveram-se estatisticamente inalterados, o que evidencia a ausência de perturbações ou modificações mensuráveis nessas feições biométricas em decorrência dos tratamentos. A contagem de nódulos radiculares exibiu ampla variação, oscilando de 30,75 unidades por dez plantas no grupo controle até o pico de 62,50 nódulos na combinação de Root + Ni (100 mL ha^{-1}) com *Bact-N*. Contudo, esse incremento nodular não se converteu proporcionalmente na maior produtividade de grãos, confirmando que o número absoluto de nódulos não constitui métrica isolada suficiente para diagnosticar a eficácia da FBN ou o rendimento da cultura.

No âmbito fitossanitário, a severidade associada a *Cercospora* spp. não registrou variações estatísticas entre as parcelas. Por sua vez, a ocorrência de *Septoria* spp. revelou-se significativamente atenuada nas plantas tratadas com a formulação multinutriente Root+ Ni em comparação à testemunha.

A massa de mil sementes aumentou significativamente, alcançando 200,75 g no tratamento multinutriente Root+ Ni 200 mL ha^{-1} + Foliar Utrisha N. A produtividade apresentou a resposta mais expressiva, atingindo 3.892,75 kg ha^{-1} com multinutriente Root+ Ni 150 mL ha^{-1} + Foliar Utrisha N 333 g ha^{-1}, correspondente a incremento de aproximadamente 44,2% em relação à testemunha.

Em conjunto, os resultados demonstram que as combinações avaliadas produziram respostas agronômicas diferenciadas, especialmente sobre nodulação, massa de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

sementes e produtividade. Entretanto, não permitem concluir que houve aumento direto da FBN, sinergismo entre Co-Mo-Ni e bioinsumos ou atuação de mecanismos fisiológicos específicos, pois essas características não foram diretamente mensuradas.

A principal contribuição do experimento consiste, portanto, na identificação de respostas agronômicas diferenciadas à dose de multinutriente Root+ Ni e à sua associação com as tecnologias microbiológicas avaliadas, com destaque para multinutriente Root+ Ni 150 mL ha^{-1} + Foliar Utrisha N 333 g ha^{-1} como tratamento de maior produtividade nas condições experimentais.

Declaração de Financiamento e Conflito de Interesses

- **Financiamento:** O presente trabalho foi custeado com recursos próprios dos autores e apoio logístico de infraestrutura do Bio Soluções Centro de Pesquisa.
- **Conflito de Interesses:** Os produtos comerciais testados foram adquiridos no mercado local ou fornecidos para fins estritamente experimentais. Os autores declaram não possuir vínculos empregatícios, contratuais ou interesses comerciais com as empresas fabricantes (Bio Soluções, Corteva Agriscience ou registrantes das marcas) que possam ter influenciado o desenho experimental, a análise estatística, a interpretação dos dados ou a redação deste manuscrito.

5. Conclusão

A adubação foliar com a formulação multinutriente Root+ Ni — de forma isolada ou em consórcio com os bioinsumos *Bact-N* e *Foliar Utrisha N* — proporcionou ganhos expressivos na nodulação radicular, no peso de mil sementes e no rendimento de grãos na cultivar de soja TMG 2165 IPRO. Embora a biometria vegetativa (estatura e estande populacional) tenha permanecido inalterada, os dados atestam reflexos agronômicos consistentes advindos da integração entre a micronutrição mineral e os inoculantes microbiológicos. O patamar produtivo máximo alcançou 3.892,75 kg ha^{-1} sob a combinação de 150 mL ha^{-1} do fertilizante com o Foliar Utrisha N (333 g ha^{-1}),

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

o que representou um incremento de 44,2% em relação ao controle não tratado. Embora a Análise de Variância tenha confirmado interação estatística significativa entre as dosagens da formulação e as tecnologias biológicas, a caracterização de eventual sinergismo fisiológico específico exige a validação complementar de rotas metabólicas e enzimáticas.

Sob o ponto de vista prático, o manejo integrado com tais insumos desponta como uma alternativa promissora e sustentável para a nutrição da cultura. Ressalva-se, contudo, que por se tratar de um experimento conduzido em ambiente único, durante uma só safra e com um único genótipo, as conclusões obtidas possuem caráter indicativo, não devendo ser tomadas como recomendações técnicas definitivas. Ademais, dada a ausência de mensurações diretas da fixação biológica de nitrogênio (atividade da nitrogenase, acúmulo total de N ou população rizosférica de *Bradyrhizobium*), as variações de nodulação e rendimento observadas não autorizam inferir, por si sós, ganho de eficiência do processo simbiótico.

Investigações futuras devem focar na validação desses tratamentos em cenários edafoclimáticos plurais, safras distintas e com múltiplos genótipos, associando a modelagem fatorial à quantificação direta dos indicadores da FBN para fundamentar prescrições agronômicas definitivas e seguras para o setor produtivo.

Referências

ANDRADE, Christiano Lima Lobo de; SILVA, Alessandro Guerra da; BRAZ, Guilherme Braga Pereira; *et al*. PERFORMANCE OF SOYBEANS WITH THE APPLICATION OF GLYPHOSATE FORMULATIONS IN BIOSTIMULANT ASSOCIATION. Revista Caatinga, p. 371–383, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n210rc>.

BARBOSA, Julierme Zimmer; HUNGRIA, Mariangela; SENA, João Victor da Silva; PÖGGERE, Giovana Clarice; REIS, André Rodrigues dos; CORRÊA, Rodrigo Studart. Meta-analysis reveals benefits of co-inoculation of soybean with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* spp. in Brazil. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v. 163, p. 103913, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103913.

DELFIM, Jorge; MOREIRA, Adônis; MORAES, Larissa A. C. Nickel application influences nitrogen concentration, yield, and grain quality of soybean. *Crop, Forage &*

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 23/10/2026 - **Accepted:** xx/0x/2026
Vol: 13.22
DOI: 10.66104/9v8f9v21
Pages: 1-37

Turfgrass Management, Madison, p. 1-12, v. 11, n. 2, 2025. DOI: https://doi.org/10.1002/cft2.70068.

MARTINS, M. C. *et al.* Escala diagramática para a quantificação da severidade das doenças de final de ciclo em soja. Fitopatologia Brasileira, Brasília, DF, v. 29, n. 2, p. 179–185, 2004. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-41582004000200009.

MORETTI, Luiz Gustavo; CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa; NOGUEIRA, Marco Antonio; BOSSOLANI, João William; PORTUGAL, José Roberto; HUNGRIA, Mariangela. Nickel treatment of soybean seeds: evaluating optimal levels for *Bradyrhizobium* spp. survival, nitrogen fixation, physiological traits and grain yield. *Frontiers in Plant Science*, Lausanne, v. 16, p. 1-18, 2026. DOI: https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1656956.

MORETTI, Luiz Gustavo; CRUSCIOL, Carlos A. C.; KURAMAE, Eiko E.; *et al*. Effects of growth-promoting bacteria on soybean root activity, plant development, and yield. Agronomy Journal, p. 418–428, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/agj2.20010>.

NGOSONG, Christopher; TATAH, Blaise Nangsingnyuy; OLOUGOU, Marie Noela Enyoe; *et al*. Inoculating plant growth-promoting bacteria and arbuscular mycorrhiza fungi modulates rhizosphere acid phosphatase and nodulation activities and enhance the productivity of soybean (Glycine max). Frontiers in Plant Science, p. 1–17, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.934339>.

OLIVEIRA, Jessica Bezerra de; VAN DER ENT, Antony; ALVES, Fernanda Viginotti et al. Nickel supplementation for enhanced soybean growth: a micrometric-to-nanometric investigation of biological nitrogen fixation and metabolism. *ACS Omega*, Washington, DC, v. 11, n. 17, p. 25297–25316, 2026. DOI: https://doi.org/10.1021/acsomega.5c10937.

PANDIT, Manish; PANTHI, Surekha; CHILUWAL, Anuj. Biological nitrogen fixation in soybean: mechanisms, benefits, sustainability, and future prospects. *Agronomy*, Basel, v. 16, n. 10, p. 946, 2026. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy16100946.

SOUZA, Leandro Aparecido de; BARBOSA, José Carlos; FRAGA, Diego Felisbino; *et al*. Dinâmica populacional de Euschistus heros em cultivares de soja de diferentes ciclos de desenvolvimento. Agrarian, p. 309–322, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v13i49.9168>.