

doi <http://dx.doi.org/10.18265/2447-9187a2022id7531>
ARTIGO ORIGINAL

SUBMETIDO 06/02/2023

APROVADO 30/04/2023

PUBLICADO ON-LINE 17/05/2023

PUBLICADO 10/10/2024

EDITORA ASSOCIADA

Monaliza Mirella de Moraes Andrade Cordeiro

Doses de níquel na cultura da soja em área de transição da Amazônia Legal

 Ariadine Belgo Meiato ^[1]

 Marcus Vinicius Gonçalves Lima ^[2] ✱

 Marcio Osvaldo Lima Magalhães ^[3]

 Roberto Antonio Savelli Martinez ^[4]

 Luiz Henrique da Silva Barros ^[5]

 Adalberto Santi ^[6]

[1] ariadine.meiato@unemat.br

[2] marcus.lima@unemat.br

[3] marciomagalhaes@unemat.br

[4] robertosavelli@unemat.br

[5] luizbarros@gmail.com

[6] adalbertosanti@unemat.br

Departamento de Agronomia,
Universidade do Estado de Mato
Grosso (UNEMAT), Tangará da
Serra, Mato Grosso, Brasil

✱ Autor para correspondência.

RESUMO: A soja é uma das plantas de maior valor econômico do mundo, por isso, pesquisas utilizando adubação são realizadas para aumentar sua produtividade. O níquel é um micronutriente que é comercializado e registrado para o cultivo da soja, sendo o sulfato de níquel uma de suas fontes. Um experimento foi realizado com o objetivo de avaliar o uso de sulfato de níquel, via foliar, na cultura da soja. O experimento foi conduzido em condições de campo, na área experimental da Universidade do Estado de Mato Grosso, campus Tangará da Serra, em blocos casualizados, com seis doses de níquel (0, 46, 92, 138, 184 e 230 g.ha⁻¹) e quatro repetições. Foram determinadas as seguintes variáveis: quantidade de Ni e N absorvido, massa seca, número de nódulos, diâmetro do caule, altura de planta, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, produtividade e peso de mil grãos. Para o teor foliar de níquel absorvido na soja, obteve-se uma resposta linear crescente em relação ao aumento das doses de sulfato de níquel aplicadas. A dose de 228 g.ha⁻¹ aumentou o teor de níquel foliar de 15 para 19,25 g.kg⁻¹, aumentando 28,3% do níquel absorvido. Todas as demais variáveis analisadas não foram influenciadas pela aplicação de doses crescentes de sulfato de níquel. Pode-se concluir que a dose de 230 g.ha⁻¹ de níquel adicionou 28,3% do níquel absorvido nas plantas; mesmo com o aumento do níquel nas folhas, não houve resposta quanto à absorção de nitrogênio nas folhas, número de nódulos, peso dos nódulos, peso da raiz, massa seca da parte aérea e da raiz, diâmetro do caule, altura da planta, altura de inserção da primeira vagem, número de grãos, vagens por planta, peso de mil grãos e produtividade.

Palavras-chave: *Glycine max*; micronutriente; produtividade; sulfato de níquel.

Nickel doses in the soybean crop in the Legal Amazon transition area

ABSTRACT: Soybean is one of the plants with the highest economic value in the world, so research using fertilization is realized to increase its productivity. Nickel is a micronutrient that is commercialized and registered for soybean cultivation, with nickel sulfate being one of its sources. An experiment was carried out with the objective of evaluating the use of nickel sulfate, through foliar application,



in the soybean crop. The experiment was carried out under field conditions, in the experimental area of the State University of Mato Grosso, Tangará da Serra campus, in randomized blocks, with six doses of nickel (0, 46, 92, 138, 184 and 230 g.ha⁻¹) and four replications. The following variables were determined: amount of Ni and N absorbed, dry mass, number of nodules, stem diameter, plant height, height of insertion of the first pod, number of pods per plant, number of grains per pod, yield and weight of a thousand grains. For the foliar content of nickel absorbed in soybean, an increasing linear response was obtained in relation to the increase in the doses of nickel sulfate applied. The dose of 228 g ha⁻¹ increased the leaf nickel content from 15 to 19.25 g.kg⁻¹, increasing 28.3% of the absorbed nickel. All other variables analyzed were not influenced by the application of increasing doses of nickel sulfate. It can be concluded that the dose of 230 g.ha⁻¹ of nickel added 28.3% of the nickel absorbed in the plants; even with the increase of nickel in the leaves, there was no response regarding the absorption of nitrogen in the leaves, number of nodules, nodule weight, root weight, shoot and root dry mass, stem diameter, plant height, height of insertion of the first pod, number of grains, pods per plant and weight of a thousand grains and productivity.

Keywords: *Glycine max*; micronutrient; nickel sulfate; productivity.

1 Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das culturas de maior valor econômico no mundo, sendo a principal fonte de proteína utilizada na formulação de ração animal, e, com menor expressividade, é utilizada na alimentação humana (Rodak, 2014): em sua maior parte é utilizada na agroindústria como matéria-prima de produtos alimentícios e é considerada uma das principais fontes de proteínas e óleos vegetais (Liu *et al.*, 2020).

O Brasil é o maior produtor de soja do mundo, sendo que, na safra 2023/24, a produção estimada foi de 149,4 milhões de toneladas, em 45.530 milhões de hectares de área plantada, com uma estimativa de produtividade média de 3.214 kg ha⁻¹, 10,50% inferior ao recorde de 3.589 kg ha⁻¹ da safra 2022/23 e 7,8% menor que as 162 milhões de toneladas que a Conab estimava no início da safra. O comportamento climático continua como fator preponderante para o resultado final do atual ciclo (CONAB, 2024; SNA, 2024).

A cultura tem importante papel ambiental e socioeconômico, sendo a matéria-prima vegetal mais utilizada na produção de biodiesel; isso levou ao aumento da demanda mundial, diminuindo os estoques e aumentando seu valor no mercado. Diversos trabalhos têm sido realizados na busca de alternativas para aumentar a produção da cultura (Carlim *et al.*, 2019; Martin *et al.*, 2022; Tavares *et al.*, 2021), afirmando que existem diferentes alternativas para satisfazer a demanda mundial de soja. Uma delas seria o aumento da produtividade; para tal, com propósito de atingir a demanda futura e equilibrar o declínio da disponibilidade de terras agricultáveis, há necessidade de mais pesquisas (Carlim *et al.*, 2019).

Levy (2013) afirma que é necessário investir em pesquisas e inovações tecnológicas no manejo nutricional da cultura, pois, com o uso do sistema plantio direto e das variedades transgênicas, os manejos da adubação de soja no país precisam ser melhorados.

De acordo com Masuda (2009), o manejo adequado de micronutrientes é um dos principais fatores que podem aumentar a produtividade da cultura. Staut (2007),

avaliando diferentes resultados experimentais realizados por instituições de pesquisa, constatou grande variedade na resposta da soja à aplicação de produtos contendo micronutrientes via foliar.

Um dos micronutrientes que podem apresentar benefícios para a cultura da soja é o níquel (Ni), por fazer parte da metaloenzima urease, atuando na decomposição do nitrogênio (N) para amônio e CO₂, tendo papel importante no metabolismo do N (Dechen; Nachtigall, 2007). Rodak (2014) afirma que, após a síntese da molécula de ureia (CO[NH₂]²) pela amida arginina sob ação da enzima arginase, a urease desdobra a ureia hidroliticamente em duas moléculas de amônia (NH₃) e dióxido de carbono (CO₂) no tecido vegetal.

Segundo Epstein e Bloom (2006), a deficiência de níquel impede a ação da urease, levando ao acúmulo de ureia, o que causa manchas necróticas nas folhas. O níquel também tem relação com a fixação simbiótica do N, pois aumenta a atividade da hidrogenase em bacteroides isolados dos nódulos (Klucas *et al.*, 1983).

Ureta *et al.* (2005) afirmam que o baixo nível de níquel nos solos agrícolas pode limitar a atividade da hidrogenase simbiótica de *Rhizobium leguminosarum*, porém poucas informações foram produzidas sobre a absorção e a assimilação do níquel, portanto são fundamentais pesquisas para o conhecimento científico, já que há no mercado brasileiro a comercialização de fontes de níquel como sulfato, nitrato e cloreto e um crescente uso desse produto em adubação foliar, mesmo sem pesquisas e embasamento científico suficiente para justificar o uso (Alovisi *et al.*, 2011).

Levy (2013) afirma que, apesar de o micronutriente estar à venda no mercado, na legislação do Brasil, há escassas informações sobre doses, formas de realização das aplicações e a resposta das plantas em solos brasileiros para verificar a importância do Ni na cultura da soja. Por isso, objetivou-se, com este trabalho, determinar a melhor dose de níquel na adubação via foliar para a cultura da soja.

Nas seções posteriores deste artigo, será relatada uma fundamentação teórica basilar, que engloba a importância da adubação na cultura da soja, com ênfase no uso de níquel (seção 2). Seguem-se a descrição da metodologia empregada na avaliação da cultura da soja (seção 3) e os resultados das variáveis analisadas (seção 4). Por fim, na seção 5, são apresentadas as considerações finais indicadas após as análises dos resultados obtidos.

2 Adubação com níquel na cultura da soja

O suprimento adequado de nutrientes via adubação é uma das principais práticas de manejo realizadas para a conservação e o prolongamento da produtividade das plantas; e a soja consome, aproximadamente, um terço de todo o fertilizante comercializado no Brasil (Cunha; Casarin; Prochnow, 2010).

O intenso uso das áreas agrícolas e a constante busca pelo aumento da produtividade podem gerar o esgotamento dos micronutrientes, como níquel (Ni) e molibdênio (Mo), e dos elementos benéficos, como cobalto (Co), nos solos, pois, mesmo exigidos em pequenas quantidades, sua não reposição pode ocasionar sua deficiência; a aplicação desses elementos tem acontecido de maneira comumente empírica, por falta de informações sobre exigências nutricionais e disponibilidade nos solos; destaca-se, também, que as cultivares de soja atuais são mais exigentes nutricionalmente e, dessa forma, requerem cada vez mais atenção no manejo da adubação (Rodak, 2014).

O níquel é o 25º elemento em maior abundância na crosta terrestre, e sua concentração é de 0,018%. Isso significa que ele é duas vezes mais abundante que o cobre (Cu), substituindo o ferro (Fe) em formulações minerais contendo enxofre (S) – por exemplo, na pirita – e também substituindo o magnésio (Mg) em formulações minerais de compostos silicatados (Mattiazzo-Prezotto, 1994).

Na década de 1980, o níquel foi considerado micronutriente por Brown, Welch e Cary (1987). De acordo com Kabata-Pendias e Pendias (2001), o níquel pode ser encontrado no solo da seguinte forma: 58% na forma residual; 12% ligado à matéria orgânica; 15% associado a óxidos de Fe e manganês (Mn); 9% na forma trocável; 6% na forma solúvel.

A essencialidade do Ni está ligada à sua participação na metaloenzima urease, que catalisa a degradação da ureia em dióxido de carbono e amônia (Dixon *et al.*, 1980). A partir desse conhecimento, esse elemento passou a ser considerado importante para o metabolismo do nitrogênio nas plantas.

O Ni encontrado na solução do solo, em sua maioria, é encontrado na forma $Ni(H_2O)_6^{2+}$, e a sua atividade está intimamente relacionada ao aumento ou diminuição do pH da solução do solo e às ligações orgânicas e inorgânicas, por exemplo, nos sulfatos, hidróxidos e ácidos orgânicos na fase sólida do solo nos coloides; o Ni geralmente é encontrado na forma inorgânica, formando, assim, complexos com óxidos de Fe e alumínio (Al) (Uren, 1992).

Sua deficiência inibe a atividade da urease, o que ocasiona o acúmulo de ureia nas folhas e acarreta o surgimento de manchas necróticas, impedindo e interferindo no desenvolvimento da cultura e, em casos de maior severidade, provocando a morte das plantas (Dechen; Nachtigall, 2007).

A deficiência de Ni tem grandes efeitos sobre o crescimento das plantas, e seu metabolismo, além do metabolismo do N, inclui também efeitos a respeito da absorção de ferro. Pesquisas preliminares também apontam que o Ni pode ter um papel importante na síntese de fitoalexinas e na resistência da planta a doenças (Brown; Welch; Madison, 1990).

Quando há sintomas, a deficiência de Ni é visualizada com as pontas das folhas novas apresentando manchas escuras e arredondadas e uma aparência retorcida, parecida com a de uma orelha do rato – nome dado ao sintoma nas plantas (Wood; Reilly; Nyczepir, 2004).

A fitotoxicidade do Ni é o resultado da sua ação no fotossistema, provocando distúrbios no ciclo de Calvin e inibição do transporte elétrico por causa das grandes quantidades de ATP e NADPH acumuladas pela ineficiência das reações de escuro (Krupa *et al.*, 1993).

Segundo Berton *et al.* (2006), nos primeiros estágios de fitotoxicidade de níquel, os sintomas não ficam muito visíveis, fazendo com que haja dificuldade para visualizar esses sintomas e caracterizá-los; porém, com maiores doses de Ni, há uma facilidade maior de visualizar a toxidade, produzindo sintomas de clorose nas folhas das plantas. Todavia, são sintomas bem semelhantes aos da carência de Fe; já nas plantas dicotiledôneas, surgem manchas cloróticas entre as nervuras das folhas, sendo bem parecidas com os sintomas de deficiência de Mn.

São poucos os trabalhos desenvolvidos no Brasil que se referem à importância do Ni na cultura da soja, apesar de esse micronutriente já estar inserido no mercado e na legislação brasileira de fertilizantes. Ainda são quase inexistentes as informações sobre doses, formas de aplicação e informações relacionadas às respostas das plantas à sua aplicação; são escassas para a recomendação do uso agrícola (Levy, 2013).

3 Material e métodos

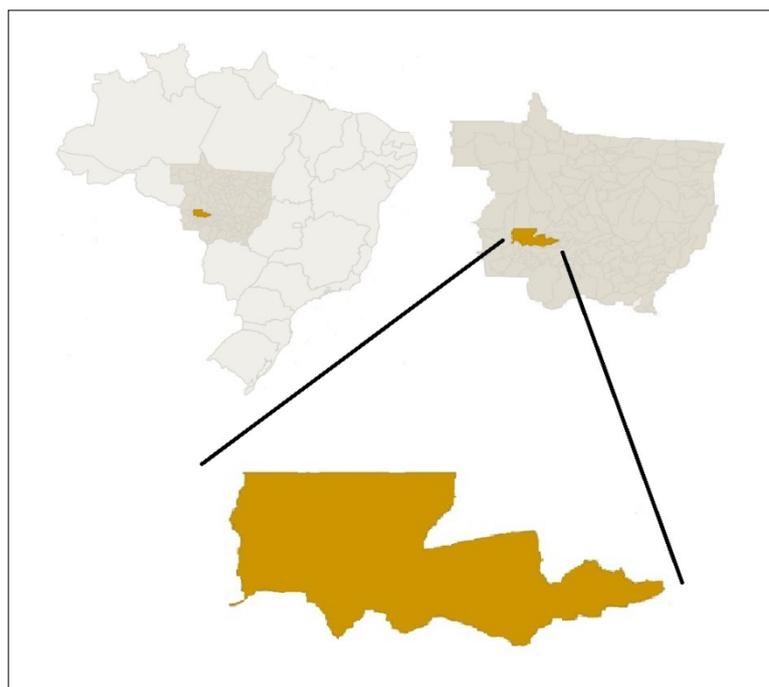
O experimento foi realizado na área da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), localizada na rodovia MT-358, Km 07, Jardim Aeroporto, município de Tangará da Serra, estado de Mato Grosso (MT), com as respectivas coordenadas geográficas: Latitude 14°38'46"S; Longitude 57°25'30"O; e 440 m de altitude (Figura 1).

O solo local é classificado como Latossolo Vermelho (Andrade, 2019). O clima é caracterizado por índices pluviométricos de precipitação média anual de 1.815 mm e temperatura média anual de 25 °C (Dallacort *et al.*, 2011).

Figura 1 ►

Local do experimento:
UNEMAT, Campus Tangará
da Serra, estado de
Mato Grosso, Brasil.

Fonte: elaborado pelos autores



O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com 6 tratamentos e 4 repetições, sendo as parcelas compostas por 6 linhas de plantio, em espaçamento de 0,45 m, com 15 plantas por metro linear e comprimento de 6 m (16,2 m²). A área total do ensaio foi de 388,80 m², com área útil para as avaliações de 4 linhas centrais de cada parcela com comprimento de 4 m (7,20 m²).

A adubação do níquel foi realizada via foliar, pulverizando 20 dias após a emergência da cultura, quando as plantas entraram no estágio vegetativo (V3) de acordo com Alovisi *et al.* (2011).

A fonte de níquel utilizada neste trabalho foi NiSO₄ (sulfato de níquel), sendo que 1 mol de NiSO₄ corresponde a 154,75 g, contendo 58,69 g de níquel.

Os tratamentos foram divididos em seis doses de níquel por hectare, sendo elas 0, 46, 92, 138, 184 e 230 g.ha⁻¹, utilizando um pulverizador costal de pressão constante à base de CO₂. As doses utilizadas do sulfato de níquel estão representadas na Tabela 1 (próxima página).

Tabela 1 ▶

Tratamentos utilizados na adubação da cultura da soja com doses de sulfato de níquel e quantidade de níquel em cada dose.
Fonte: dados da pesquisa

| Tratamentos | Níquel (g) | NiSO ₄ (g ha ⁻¹) |
|-------------|------------|---|
| T1 | 0 | 0 |
| T2 | 46 | 121 |
| T3 | 92 | 243 |
| T4 | 138 | 364 |
| T5 | 184 | 485 |
| T6 | 230 | 606 |

Tabela 2 ▼

Características físico-químicas da amostra do solo utilizado no trabalho.
Fonte: dados da pesquisa

A correção do pH e dos nutrientes foi realizada conforme as necessidades e interpretação da análise do solo do local, com auxílio do manual de correção do solo e adubação escrito por Sousa e Lobato (2004), conforme as necessidades e a interpretação da análise do solo do local descrita na Tabela 2. Foi realizada a calagem em torno de 80 dias antes da semeadura, utilizando uma dose de 2,84 toneladas por hectare de calcário tipo filler dolomítico com PRNT de 103%.

| pH H ₂ O | Al ³⁺ | H ⁺ +Al ³⁺ | Ca ²⁺ +Mg ²⁺ | Ca ²⁺ | K ⁺ | P |
|---------------------------------|---|----------------------------------|------------------------------------|------------------|----------------|---------------------|
| | ----- cmol _c .dm ⁻³ ----- | | | | | mg dm ⁻³ |
| 4,8 | 0,75 | 5,28 | 0,56 | 0,35 | 0,05 | 0,8 |
| MO g dm ⁻³ | CTC cmol _c dm ⁻³ | | V (%) | Areia | Silte | Argila |
| 23,4 | 5,89 | | 10,36 | 273 | 137 | 590 |
| Zn | Cu | Fe | Mn | B | S | |
| ----- mg.dm ⁻³ ----- | | | | | | |
| 5,7 | 2,5 | 81 | 32,5 | 0,41 | 19,3 | |

A adubação de correção foi por meio do sulco de plantio; a dose de P₂O₅ foi de 200 kg por hectare e a de K₂O, de 100 kg por hectare, sendo a dose de K₂O parcelada em 50% na semeadura e 50% em cobertura a lançar com a planta em estágio vegetativo V6, conforme Silva e Lazarini (2014).

A cultivar de soja utilizada para o trabalho foi a CZ 58B28 IPRO, da empresa BASF, de ciclo médio, de crescimento determinado e grupo de maturação 8.2. As sementes foram previamente tratadas com inseticida de contato e ingestão e com fungicida de ação protetora; em seguida, receberam o inoculante. A inoculação foi realizada com o produtor comercial RHIZOTROP, inoculante à base das bactérias *Bradyrhizobium*, da empresa BIOTROP, utilizando a dose recomendada pela bula do produto. A inoculação foi realizada à sombra, e as sementes foram deixadas para secar entre 20 e 30 minutos protegidas do sol e do calor excessivo (Zilli; Campo; Hungria, 2010).

Tanto o tratamento de sementes como as inoculações foram realizadas em sacos plásticos, utilizando-se um quilo de semente, em doses recomendadas pela bula dos produtos, agitando por 4 minutos para um melhor recobrimento das sementes (Tavares *et al.*, 2014). A semeadura foi realizada por meio de bicicleta semeadora manual para grãos graúdos da marca KNAPIK.

Foram realizados monitoramento e amostragem de insetos, pragas e de doenças, e os tratamentos fitossanitários (fungicidas e inseticidas) ocorreram utilizando Imidacopride (250 g.L^{-1}) e Difenoconazol (250 g.L^{-1}) nas doses recomendadas pelos fabricantes e com níveis de controle descritos em literaturas.

Para analisar o teor de Ni (NiA) e N (NA) absorvidos por via foliar (mg.kg^{-1}), foi retirado o terceiro trifólio no estágio de florescimento completo, a partir da base de 20 plantas por repetição (Malavolta; Vitti; Oliveira, 1997). As folhas foram lavadas e secas com papel toalha, após isso foram colocadas em sacos de papel para serem secas em estufa de circulação forçada de ar a $65 \text{ }^\circ\text{C}$, até alcançar o peso constante. Posteriormente essas foram moídas em um moinho tipo Wiley e reservadas, para posteriormente se obter o extrato nítrico-perclórico e se determinar os teores de Ni absorvidos (NiA) por espectrofotometria de absorção atômica.

O teor de N absorvido (NA) foi determinado através do método Kjeldahl, sendo a amostra colocada em uma solução de ácido sulfúrico concentrado sob aquecimento. A solução obtida foi então alcalinizada com hidróxido de sódio concentrado, sendo a amônia produzida nessa etapa destilada em equipamento específico e captada por uma solução de ácido bórico, que finalmente foi titulada com ácido de concentração conhecida e padronizada, segundo metodologia descrita por Vieira *et al.* (2016).

Quatro plantas ao acaso das linhas centrais foram coletadas em R1 com auxílio de um enxadão e secas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de $65 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 horas. Foram determinadas a massa seca da parte aérea (MSA) e da raiz (MSR) em gramas, com auxílio de balança de precisão com duas casas decimais.

A avaliação do número de nódulos (NN) por planta foi realizada em R1; foram coletadas, com auxílio de um enxadão, quatro plantas escolhidas ao acaso em cada parcela. As raízes foram lavadas e foi determinado o peso das raízes (PR), e posteriormente avaliado o peso dos nódulos (PN) e contados os nódulos das raízes segundo Sousa e Lobato (2004).

Para determinação das características agrônômicas, conforme o método preconizado por Sousa e Lobato (2004), 10 plantas foram coletadas por ocasião da colheita, dentro da área útil de cada parcela, sendo identificadas e levadas para as seguintes avaliações:

- a) Altura de planta (AP): medindo-se a distância entre o colo e o ápice da haste principal com o auxílio de uma trena;
- b) Altura de inserção da primeira vagem (AIPV): medindo-se a distância entre o colo da planta e a inserção da primeira vagem com o auxílio de uma trena;
- c) Diâmetro de caule (DC): o diâmetro de caule foi determinado com auxílio de um paquímetro (centímetros e milímetros), iniciando na altura do nó cotiledonar, em sentido oposto à inserção deste;
- d) Número de vagens por planta (NVG): destacando-se e contando-se todas as vagens das plantas que apresentaram grãos e dividindo-se pelo número de plantas amostradas;
- e) Número de vagens com grãos (NGV): contando o número de vagens com 1 grão, 2 grãos, 3 grãos e 4 grãos das plantas amostradas;
- f) Produtividade de grãos (Produtividade): foram coletadas as plantas das 4 linhas centrais com 4 m na área útil de cada parcela, as quais, após secagem ao sol por 5 dias, foram trilhadas mecanicamente através de bateadeira de grãos mecânica desenvolvida pela empresa MAQUIMA; logo após, os grãos foram pesados.

Após a pesagem, foi determinado o grau de umidade dos grãos com aparelho medidor de umidade de grãos da empresa Mini Gac, e então transformados os dados obtidos em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (13% de umidade em base úmida) para determinação do peso de mil grãos (PMG): este foi obtido pela pesagem, com uso de balança de precisão, de 8 amostras de 100 grãos para cada parcela, e feito teste de umidade dessas amostras para ser corrigido o peso para 13% de umidade; logo após isso, foi feita a média do peso dessas oito amostras de cada tratamento para se obter o peso de mil grãos.

Os dados foram inicialmente submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade; em seguida, procedeu-se à análise de variância e, havendo significância, foi realizada a análise de regressão. O modelo significativo de maior ordem e coeficiente de correlação (R^2) foi selecionado para expressar o comportamento. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa computacional SISVAR (Ferreira, 2011).

4 Resultados e discussões

Na Tabela 3 é apresentada a análise de variância do desempenho da cultura de soja sob doses de níquel. Foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) para a quantidade de níquel absorvido (NiA) pelas plantas de soja quando submetidas a doses crescentes de níquel. Não foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) para as variáveis nitrogênio absorvido (NA), número de nódulos (NN), peso de nódulos (PN), peso da raiz (PR), massa seca da parte aérea (MSA), massa seca da parte radicular (MSR), diâmetro do caule (DC), altura da planta (AP), altura da inserção da primeira vagem (AIPV), número de vagens com 1 grão (NV1G), número de vagens com 2 grãos (NV2G), número de vagens com 3 grãos (NV3G), número de vagens com 4 grãos (NV4G), número de vagens por planta (NVP), peso de mil grãos (PMG) e estimativa de produtividade de soja adubada com diferentes doses de níquel.

Tabela 3 ▼

Análise de variância do desempenho da cultura da soja sob diferentes doses de níquel.
Fonte: dados da pesquisa

| Fonte de variação | GL | NiA | NA | NN | PN | PR | MSA | MSR | DC | AP | AIPV | NV1G | NV2G | NV3G | NV4G | NVP | PMG | PROD |
|-------------------|----|---------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|
| Doses de Ni | 5 | 8,400 | 0,058 | 209,751 | 0,864 | 3,380 | 1,384 | 0,450 | 0,026 | 20,115 | 3,899 | 1,586 | 18,464 | 7,671 | 0,127 | 265,176 | 20,205 | 163800,974 |
| Bloco | 3 | 1,222 | 0,115 | 112,857 | 2,134 | 4,824 | 4,301 | 1,919 | 0,071 | 36,387 | 3,565 | 11,498 | 98,560 | 41,747 | 0,487 | 182,333 | 27,057 | 740534,113 |
| Reg. Lin. | 1 | 30,228* | 0,143 ^{ms} | 361,430 ^{ms} | 0,683 ^{ms} | 0,002 ^{ms} | 0,000 ^{ms} | 1,124 ^{ms} | 0,006 ^{ms} | 21,729 ^{ms} | 0,273 ^{ms} | 0,212 ^{ms} | 10,686 ^{ms} | 2,286 ^{ms} | 0,000 ^{ms} | 237,728 ^{ms} | 29,947 ^{ms} | 71566,125 ^{ms} |
| Reg. Quad. | 1 | 3,241 ^{ms} | 0,000 ^{ms} | 10,593 ^{ms} | 1,376 ^{ms} | 2,453 ^{ms} | 4,757 ^{ms} | 0,037 ^{ms} | 0,003 ^{ms} | 10,466 ^{ms} | 3,440 ^{ms} | 5,736 ^{ms} | 45,247 ^{ms} | 0,617 ^{ms} | 0,043 ^{ms} | 123,129 ^{ms} | 2,228 ^{ms} | 488667,907 ^{ms} |
| CV (%) | - | 11,10 | 4,47 | 25,98 | 21,53 | 20,16 | 23,03 | 4,29 | 27,93 | 12,76 | 6,78 | 18,00 | 23,02 | 4,13 | 7,48 | 4,89 | 3,40 | 15,46 |
| Média | - | 16,50 | 2,86 | 46,28 | 4,64 | 7,22 | 8,66 | 2,22 | 0,85 | 96,86 | 16,48 | 9,67 | 28,24 | 25,71 | 2,07 | 70,70 | 148,13 | 3502,14 |

* Significativo ($p < 0,05$) pelo teste F de probabilidade; Reg. Lin. – Regressão Linear; Reg. Quad. – Regressão Quadrática; CV (%) – Coeficiente de variação; GL – Graus de Liberdade; NiA – Níquel absorvido; NA – Nitrogênio absorvido; NN – Número de nódulos; PN – Peso de nódulos; PR – Peso da raiz; MSA – Massa seca da parte aérea; MSR – Massa seca da parte radicular; DC – Diâmetro do caule; AP – Altura da planta; AIPV – Altura da inserção da primeira vagem; NV1G – número de vagens com 1 grão; NV2G – número de vagens com 2 grãos; NV3G – número de vagens com 3 grãos; NV4G – número de vagens com 4 grãos; NVP – número de vagens por planta; PMG – Peso de mil grãos; PROD – Produtividade.

Os primeiros relatos sobre o efeito do Ni em plantas foram publicados há quase 90 anos, quando Arnon (1937) cultivou cevada em solução nutritiva e observou aumento da produção de massa na presença de Ni. Diferentemente do presente trabalho, Roach e Barclay (1946) obtiveram acréscimo na produção de trigo, batata, e na produção de vagens de fava com aplicação de Ni via pulverizações foliares. O Ni é um componente importante do metabolismo do nitrogênio em plantas e também é um componente da metaloenzima urease, que catalisa a conversão da ureia em dióxido de carbono e amônia (Dixon *et al.*, 1975). No presente trabalho não foi observada diferença significativa no acúmulo de nitrogênio na parte aérea da soja com o aumento de doses de sulfato de níquel na cultura da soja.

Rodak (2014) afirma que a aplicação de doses de sulfato de níquel não resultou em efeito significativo na concentração de N foliar nas plantas de soja, cultivadas em dois tipos de solos (franco arenoso e muito argiloso), o que corrobora os resultados encontrados neste trabalho, que, mesmo com o aumento das doses de níquel, não constatou maior absorção de N pelas folhas, considerando-se que o trabalho foi implantado em uma área com solo de textura argilosa.

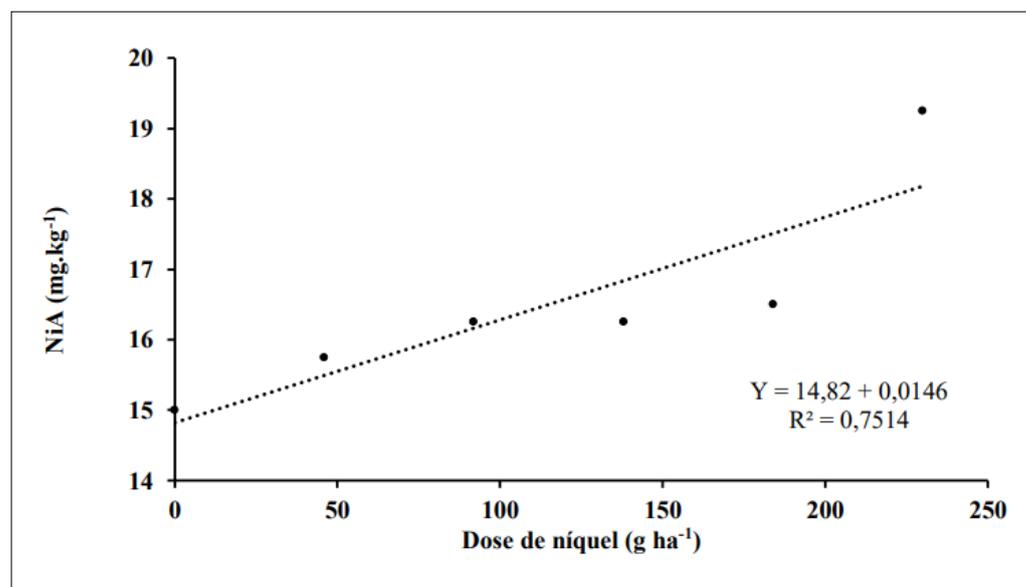
Corroborando os resultados encontrados neste trabalho, os dados obtidos para os teores de macronutrientes foliares, no trabalho de Nocchi *et al.* (2020), demonstraram que a aplicação de doses de níquel, usando como fonte sulfato de níquel, também não proporcionou alterações significativas nas concentrações foliares de N.

Na Figura 2, é apresentada a taxa de níquel absorvido (NiA) (mg.kg^{-1}) de plantas de soja submetidas a adubação foliar com doses de sulfato de níquel. Foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) para as doses de sulfato de níquel em relação à NiA. Foi observado efeito linear crescente na absorção de níquel pelas plantas de soja quando submetidas a doses de sulfato de níquel. O fornecimento de 228 g.ha^{-1} de níquel foliar aumentou 28,33% nos níveis de níquel absorvido em plantas de soja, que passou de 15 mg.kg^{-1} para $19,25 \text{ mg.kg}^{-1}$, indicando assim um aumento linear no níquel absorvido com as doses aplicadas.

Figura 2 ►

Níquel absorvido (NiA) (mg.kg^{-1}) em plantas de soja em função da adubação com doses de níquel.

Fonte: dados da pesquisa



O teor de níquel nas folhas das plantas varia de $0,1$ a 5 mg.kg^{-1} , dependendo da espécie, do estágio de maturidade fisiológica na época da realização da amostragem, da parte da planta, do teor de níquel no solo, da acidez do solo, entre outros fatores (Kabata-Pendias; Pendias, 2001). A partir dessa citação, é possível visualizar que as folhas das parcelas do presente trabalho que receberam 0 g.ha^{-1} (testemunha) já continham três vezes mais que o valor médio de níquel nas folhas das plantas; sendo assim, as doses aplicadas não surtiram efeito nas características agrônômicas.

A quantidade de níquel presente nas folhas das parcelas que não receberam aplicação via foliar, usando o sulfato de níquel como fonte, estava três vezes maior do que o teor máximo adequado para as plantas; constata-se, assim, que esse elemento já estava presente no solo. Com as doses de níquel aplicadas via foliar, não se pôde observar os efeitos benéficos nas características agrônômicas avaliadas.

Ressalta-se uma grande dificuldade de encontrar laboratórios no Brasil que determinem a presença de Ni no solo, o que dificulta a execução de pesquisas. Sugere-se a execução de mais trabalhos para avaliar possíveis efeitos benéficos do Ni em solos que apresentem baixa concentração desse nutriente.

No trabalho realizado por Alovisei *et al.* (2011), a adubação com 132 g.ha⁻¹ de níquel via foliar quadruplicou o teor de Ni foliar, que passou de 0,1 para 8,3 mg.kg⁻¹, indicando, assim, que houve um aumento de absorção de níquel associado ao aumento das doses aplicadas.

A maior dose do presente trabalho é de 600 g.ha⁻¹, sendo ela 1,7 vez maior que a do autor acima, tendo como características o aumento linear e paralelo das doses de sulfato de níquel e a absorção de níquel pelas folhas e não influenciando em nenhuma outra característica agrônômica.

De acordo com Levy (2013), o Ni na forma solúvel é rapidamente absorvido pelas raízes e apresenta grande mobilidade na planta, o que justifica os resultados encontrados neste trabalho: devido a sua alta mobilidade e rápida absorção, maiores doses corresponderam a uma maior absorção. As doses de até 182 g de níquel não apresentaram diferença significativa.

O sulfato de níquel é comercializado para adubação via foliar mesmo sem muitos estudos. De acordo com Alovisei *et al.* (2011), a utilização de doses de sulfato de níquel na cultura da soja para adubação não teve nenhuma influência nas características agrônômicas – não houve nenhuma mudança na produção de grãos e na produção de vagem –, não interferindo, assim, na produção.

Levy (2013) afirma que, além de aumentar a produção, a aplicação de Ni pode promover maior germinação, ciclos mais longos e resistência a doenças. Entretanto, no presente trabalho, os números de grãos e vagens e a produtividade das plantas de soja não foram afetados quando aplicadas, via foliar, doses crescentes de sulfato de níquel.

Em trabalho realizado por Nocchi *et al.* (2020), avaliando a nutrição e a produtividade do algodoeiro em função de doses de níquel, os autores constataram que a produtividade do algodoeiro para fibras e caroço não foi afetada pelo aumento das doses de níquel, no entanto, para massa de 20 capulhos, doses acima de 200 g.ha⁻¹ se mostraram prejudiciais.

Alovisei *et al.* (2011), estudando a eficácia do uso da adubação com sulfato de níquel, com aplicação via foliar, na cultura da soja, com doses variando de 0 a 132 g.ha⁻¹ de sulfato de Ni, observaram que, embora a aplicação foliar do sulfato de níquel aumente consideravelmente os teores de Ni nas folhas de soja, tal aplicação não teve efeito na produtividade da cultura, fazendo com que não haja diferença na produtividade, número de vagens por planta e número de grãos por vagens em decorrência das diferentes doses.

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios de níquel absorvido (NiA), nitrogênio absorvido (NA), número de nódulos (NN), peso de nódulos (PN), peso da raiz (PR), massa seca da parte aérea (MSA), massa seca da parte radicular (MSR), diâmetro do caule (DC), altura da planta (AP), altura da inserção da primeira vagem (AIPV), número de vagens por planta (NVP), número de vagens com 1 grão (NV1G), número de vagens com 2 grãos (NV2G), número de vagens com 3 grãos (NV3G), número de vagens com 4 grãos (NV4G), peso de mil grãos (PMG) e estimativa de produtividade de soja adubada com diferentes doses de níquel.

Tabela 4 ▶

Desempenho da cultura da soja sob diferentes doses de níquel.

Fonte: dados da pesquisa

| Variável | Doses de Ni (g.ha ⁻¹) | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 0 | 46 | 92 | 138 | 184 | 230 |
| NiA (mg.kg ⁻¹) | 15,00 | 15,75 | 16,25 | 16,25 | 16,50 | 19,25 |
| NA (%) | 2,93 | 2,83 | 2,85 | 2,93 | 2,80 | 2,83 |
| NN (n°) | 39,54 | 49,42 | 38,98 | 42,46 | 57,46 | 49,92 |
| PN (g) | 3,83 | 4,86 | 5,19 | 4,46 | 4,75 | 4,75 |
| PR (g) | 7,05 | 7,32 | 6,18 | 8,77 | 7,53 | 6,45 |
| MSA (g) | 7,85 | 9,21 | 9,00 | 9,31 | 8,32 | 8,30 |
| MSR(g) | 1,91 | 1,97 | 2,37 | 2,30 | 2,00 | 2,79 |
| DC (cm) | 0,78 | 1,10 | 0,74 | 0,78 | 0,84 | 0,87 |
| AP (cm) | 93,00 | 99,55 | 95,95 | 97,58 | 96,93 | 98,15 |
| AIPV (cm) | 15,32 | 17,40 | 17,16 | 15,55 | 17,38 | 16,10 |
| NV1G | 9,08 | 10,18 | 9,83 | 10,58 | 9,45 | 8,98 |
| NV2G | 25,18 | 28,95 | 27,85 | 31,80 | 27,90 | 27,75 |
| NV3G | 27,03 | 25,48 | 23,73 | 27,50 | 25,65 | 24,90 |
| NV4G | 2,00 | 2,08 | 2,08 | 2,35 | 1,80 | 2,13 |
| NVP (n°) | 83,28 | 66,68 | 63,48 | 72,23 | 74,80 | 63,75 |
| PMG (g) | 146,80 | 147,53 | 147,75 | 145,54 | 152,04 | 149,11 |
| Produtividade (kg.ha ⁻¹) | 3166,67 | 3677,08 | 3491,32 | 3652,77 | 3651,39 | 3373,61 |

Legenda: NiA – Níquel absorvido; NA – Nitrogênio absorvido; NN – Número de nódulos; PN – Peso de nódulos; PR – Peso da raiz; MSA – Massa seca da parte aérea; MSR – Massa seca da parte radicular; DC – Diâmetro do caule; AP – Altura da planta; AIPV – Altura da inserção da primeira vagem; NV1G – número de vagens com 1 grão; NV2G – número de vagens com 2 grãos; NV3G – número de vagens com 3 grãos; NV4G – número de vagens com 4 grãos; NVP – número de vagens por planta; PMG – Peso de mil grãos.

De acordo com Brown, Welch e Cary (1987), o fornecimento de níquel para a cultura da cevada aumenta linearmente a germinação à medida que se aumentam as doses. Quando o níquel é fornecido para a planta mãe, esse nutriente atua em três gerações favorecendo uma maior germinação, diferente das plantas que não recebem doses de níquel, fazendo assim com que o níquel influencie diretamente na germinação nas novas gerações de cevada.

Albuquerque (2020) ressalta que, embora o Ni seja considerado um microelemento essencial, em altas concentrações pode gerar toxicidade, levando a alterações deletérias nas plantas. A literatura ainda ressalta que altas concentrações de Ni no solo alteram os processos fisiológicos das plantas, ocasionando o aparecimento de clorose e necrose nas folhas (Seregin; Kozhevnikova, 2006; Shahzad *et al.*, 2018). Kabata-Pendias e Pendias (2001) afirmam ainda que um dos efeitos tóxicos do Ni pode estar relacionado a lesões nos tecidos, que fazem com que haja um retardamento do crescimento das plantas e clorose.

Alovisi *et al.* (2011) afirmam que doses acima de 88 g.ha⁻¹ de sulfato de níquel podem ter causado uma pequena toxidez, apesar de não ter sido expressado nenhum sintoma visual. A dose aplicada por esse autor está na faixa entre as doses de 120 g.ha⁻¹ e 240 g.ha⁻¹, aplicadas no presente trabalho.

Cinco dias após a aplicação das doses, foi observado que, nas doses entre 0 e 184 g.ha⁻¹ de níquel, não houve nenhuma fitotoxicidade aparente, entretanto, na dose contendo 230 g.ha⁻¹ de níquel, houve o efeito de necrose nas folhas superiores (Figura 3).

Figura 3 ▶

Fitotoxidade encontrada nas folhas de soja após a aplicação de doses de 230 g.ha⁻¹ de níquel.
Fonte: arquivo dos autores



O aparecimento de necroses e cloroses nas plantas na presença de altas concentrações de Ni pode ocorrer devido à redução da absorção dos íons Mg²⁺ e Fe²⁺, em consequência da inibição da biossíntese de clorofila (Kamran *et al.*, 2016). O dano causado na membrana foliar e no equilíbrio do citoplasma das células vegetais afeta a sua funcionalidade, sendo esta a principal consequência da toxicidade por Ni (Saad *et al.*, 2016).

Por meios diretos e indiretos, a atividade fotossintética das plantas pode ser comprometida na presença do Ni (Albuquerque, 2020); sendo assim, os efeitos negativos nas plantas podem ser visíveis numa concentração muito alta ou imperceptíveis em doses mais baixas (Seregin; Ivanov, 2001).

A necrose nas folhas pode diminuir drasticamente a atividade fotossintética; essa redução ocorre através do bloqueio da síntese de clorofila, redução das atividades enzimáticas do ciclo de Calvin, deficiência de CO₂ devido ao fechamento estomático, redução do tamanho e número de cloroplastos – esses são alguns dos efeitos das altas concentrações de Ni (Seregin; Kozhevnikova, 2006).

Em altas concentrações, o Ni tem influência direta na anatomia e estrutura das plantas; o seu crescimento em altura e a produção de massa seca são estagnados na presença dessas altas concentrações (Shahzad *et al.*, 2018). Estudos efetuados com altas concentrações de níquel vêm mostrando efeitos prejudiciais na estrutura foliar, na espessura dos mesófilos, no tamanho dos feixes condutores e vasculares e na plasticidade das paredes celulares (Seregin; Kozhevnikova, 2006; Shahzad *et al.*, 2018).

Neste trabalho, mesmo com os efeitos de clorose e posterior necrose, visíveis no terço superior das folhas após aplicação da maior dose de níquel (230 g.ha⁻¹) (Figura 3), a aplicação de doses de níquel na cultura da soja não prejudicou a expressão das características agrônômicas.

5 Conclusões

A dose de 230 g.ha⁻¹ de níquel acrescentou 28,3% em níquel absorvido nas plantas, porém, mesmo havendo um acréscimo de níquel nas folhas, não houve resposta na absorção de nitrogênio nas folhas, número de nódulos, peso dos nódulos, peso das raízes, massa seca da parte aérea e radicular, diâmetro do caule, altura de planta,

altura de inserção da primeira vagem, número de grãos, vagens por planta, peso de mil grãos e produtividade.

A dose de 230 g.ha⁻¹ de níquel pode provocar clorose e posterior necrose em folhas de soja cinco dias após a aplicação nas plantas, mas não influencia as características agronômicas.

Alguns trabalhos apresentam informações sobre a ação do Ni nas plantas, porém mais estudos acerca da temática devem ser realizados, especialmente no que concerne a absorção, transporte, translocação e acúmulo de Ni em diferentes culturas.

Agradecimento

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Instituto Federal de Rondônia (IFRO) pela liberação de verba e concessão de bolsa estudantil. À Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) pela liberação da área na qual foi conduzido o experimento.

Financiamento

Projeto financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pelo Instituto Federal de Rondônia (IFRO).

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Contribuições ao artigo

MEIATO, A. B.: concepção ou desenho do estudo/pesquisa; revisão final com participação crítica e intelectual no manuscrito. **LIMA, M. V. G.; MAGALHÃES, M. O. L.; MARTINEZ, R. A. S.; SANTI, A:** análise e/ou interpretação dos dados; revisão final com participação crítica e intelectual no manuscrito. **BARROS, L. H. S.:** análise e/ou interpretação dos dados. Todos os autores participaram da escrita, discussão, leitura e aprovação da versão final do artigo.

Referências

ALBUQUERQUE, Y. A. P. **Potencial remediador do extrato das folhas de *Eugenia punicifolia* (Kunth) DC. (Myrtaceae) sobre o desenvolvimento de plântulas de *Lactuca sativa* L. expostas ao sulfato de níquel.** 2020. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, 2020. Disponível em: https://ww2.pgpv.ufrpe.br/sites/default/files/testes-dissertacoes/dissertacao_1.pdf. Acesso em: 4 fev. 2023.

ALOVISI, A. M. T.; MAGRI, J.; DUTRA, J. E.; MAGRI, E.; SANTOS, M. J. G.; ALOVISI, A. A. Adubação foliar com sulfato de níquel na cultura da soja. **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 15, n. 2, p. 25-32, 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/260/26024358003.pdf>. Acesso em: 1 fev. 2023.

ANDRADE, J. A. **Levantamento das classes de solos presentes no campus da UNEMAT- Tangará da Serra - MT**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade do Estado de Mato Grosso, Tangará da Serra, 2019.

ARNON, D. I. Ammonium and nitrate nitrogen nutrition of barley at different seasons in relation to hydrogen-ion concentration, manganese, copper, and oxygen supply. **Soil Science**, v. 44, n. 2, p. 91-121, 1937. Disponível em: https://journals.lww.com/soilsci/citation/1937/08000/ammonium_and_nitrate_nitrogen_nutrition_of_barley.1.aspx. Acesso em: 18 set. 2024.

BERTON, R. S.; PIRES, A. M. M.; ANDRADE, S. A. L.; ABREU, C. A.; AMBROSANO, E. J.; SILVEIRA, A. P. D. Toxicidade de níquel em plantas de feijão e efeitos sobre a microbiota do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 8, p. 1305-1312, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000800014>.

BROWN, P. H.; WELCH, R. M.; CARY, E. E. Nickel: a micronutrient essential for higher plants. **Plant Physiology**, v. 85, n. 3, p. 801-803, 1987. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.85.3.801>.

BROWN, P. H.; WELCH, R. M.; MADISON, J. T. Effect of nickel deficiency on soluble anion, amino acid, and nitrogen levels in barley. **Plant and Soil**, v. 125, n. 1, p. 19-27, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00010740>.

CARLIM, E. L.; MEERT, L.; REIS, B.; ALLEMAN, L. E. Fertilization with nickel and molybdenum in soybean: effect on agronomic characteristics and grain quality. **Terra Latinoamericana**, v. 37, n. 3, p. 217-222, 2019. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i3.379>.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safra de grãos 2023/2024 está estimada em 294,1 milhões de toneladas**. Brasília, 11 abr. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5478-safra-de-graos-2023-2024-esta-estimada-em-294-1-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 6 out. 2024.

CUNHA, J. F.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**, n. 130, p. 1-11, 2010. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/CB94A790AA6AB82683257A90000C0822/\\$FILE/Page1-11-130.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/CB94A790AA6AB82683257A90000C0822/$FILE/Page1-11-130.pdf). Acesso em: 7 maio 2023.

DALLACORT, R.; MARTINS, J. A.; INOUE, M. H.; FREITAS, P. S. L.; COLETTI, A. J. Distribuição das chuvas no município de Tangará da Serra, médio norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 193-200, 2011. DOI: <https://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.5838>.

DECHEN A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. III, p. 91-132.

DIXON, N. E.; GAZZOLA, C.; BLAKELEY, R. L.; ZERNER, B. Jack bean urease (EC 3.5.1.5). A metalloenzyme. A simple biological role for nickel? **Journal of the American Chemical Society**, v. 97, n. 14, p. 4131-4133, 1975. DOI: <https://doi.org/10.1021/ja00847a045>.

DIXON, N. E.; HINDS, J. A.; FIELLY, A. K.; GAZZOLA, C.; WINZOR, D. J.; BLAKELEY, R. L.; ZERNER, B. Jack bean urease (EC 3.5.1.5). IV. The molecular size and the mechanism of inhibition by hydroxamic acids. Spectrophotometric titration of enzymes with reversible inhibitors. **Canadian Journal of Biochemistry**, v. 58, n. 12, p. 1234-1323, 1980. DOI: <https://doi.org/10.1139/o80-180>.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Piracicaba: Editora Planta, 2006.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3rd. ed. Boca Raton: CRC Press, 2001.

KAMRAN, M. A.; EQANI, S. A. M. A. S.; BIBI, S.; XU, R.-K.; AMNA; MONIS, M. F. H.; KATSOYIANNIS, A.; BOKHARI, H.; CHAUDHARY, H. J. Bioaccumulation of nickel by *E. sativa* and role of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) under nickel stress. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 126, p. 256-263, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.01.002>.

KLUCAS, R. V.; HANUS, F. J.; RUSSELL, S. A.; EVANS, H. J. Nickel: a micronutrient element for hydrogen-dependent growth of *Rhizobium japonicum* and for expression of urease activity in soybean leaves. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)**, v. 80, n. 8, p. 2253-2257, 1983. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.80.8.2253>.

KRUPA, Z.; SIEDLECKA, A.; MAKSYMIEC, W.; BASZYNSKI, T. *In vivo* response of photosynthetic apparatus of *Phaseolus vulgaris* L. to nickel toxicity. **Journal of Plant Physiology**, v. 142, n. 6, p. 664-668, 1993. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)80899-0](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)80899-0).

LEVY, C. C. B. **Níquel em soja: doses e formas de aplicação**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2013. Disponível em: https://www.iac.sp.gov.br/areadoinstitutoposgraduacao/repositorio/storage/teses_dissertacoes/pb1206411.pdf. Acesso em: 9 jul. 2022.

LIU, S.; ZHANG, M.; FENG, F.; TIAN, Z. Toward a “green revolution” for soybean. **Molecular Plant**, v. 13, n. 5, p. 688-697, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molp.2020.03.002>.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MARTIN, T. N.; CORRÊA, A. R.; LUDWIG, R. L.; VEY, R. T. Fontes alternativas de adubação na cultura da soja. **Revista Vivências**, v. 18, n. 37, p. 245-261, 2022. DOI: <https://doi.org/10.31512/vivencias.v18i37.429>.

MASUDA, T. **Produção mundial**. Rondonópolis: Fundação MT, 2009. 45 p. (Boletim de Pesquisa de Soja, 13).

MATTIAZZO-PREZOTTO, M. E. **Comportamento de cobre, cádmio, crômio, níquel e zinco adicionados a solos com clima tropical em diferentes valores de pH**. 1994. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

NOCCHI, R. C. F.; FURLANI JUNIOR, E.; VIEIRA, N. C. S.; PAIXÃO, A. P.; SILVA, D. B.; MELERO, M. M.; PEREIRA, M. S. Nutrição e produtividade do algodoeiro em função de doses de níquel e regulador de crescimento. **Revista Cultura Agrônômica**, v. 29, n. 1, p. 130-142, 2020. DOI: <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2020v29n1p130-142>.

ROACH, W. A.; BARCLAY, C. Nickel and multiple trace element deficiencies in agricultural crops. **Nature**, v. 157, n. 3995, p. 696, 1946. DOI: <https://doi.org/10.1038/157696a0>.

RODAK, B. W. **Níquel em solos e na cultura de soja**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/35135>. Acesso em: 10 dez. 2022.

SAAD, R.; KOBALISSI, A.; ROBIN, C.; ECHEVARRIA, G.; BENIZRI, E. Nitrogen fixation and growth of *Lens culinaris* as affected by nickel availability: a pre-requisite for optimization of agromining. **Environmental and Experimental Botany**, v. 131, p. 1-9, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.06.010>.

SEREGIN, I. V.; IVANOV, V. B. Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 48, n. 4, p. 523-544, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1016719901147>.

SEREGIN, I. V.; KOZHEVNIKOVA, A. D. Physiological role of nickel and its toxic effects on higher plants. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 53, n. 2, p. 257-277, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1021443706020178>.

SHAHZAD, B.; TANVEER, M.; REHMAN, A.; CHEEMA, S. A.; FAHAD, S.; REHMAN, S.; SHARMA, A. Nickel; whether toxic or essential for plants and environment: a review. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 132, p. 641-651, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.014>.

SILVA, A. F.; LAZARINI, E. Doses e épocas de aplicação de potássio na cultura da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 179-192, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n1p179>.

SNA – SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA. **DATAGRO Grãos: Projeção da safra 2023/24 de soja do Brasil é reduzida para 146,3 mi de t**. Brasília, 3 abr. 2024. Disponível em: <https://sna.agr.br/datagro-graos-projecao-da-safra-2023-24-de-soja-do-brasil-e-reduzida-para-1463-mi-de-t/>. Acesso em: 6 out. 2024.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/555355/cerrado-correcao-do-solo-e-adubacao>. Acesso em: 7 maio 2023.

STAUT, L. A. **Adubação foliar com nutrientes na cultura da soja**. Artigo de divulgação na mídia. Brasília, DF: Embrapa Agropecuária Oeste; Infoteca-E, 2007. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/254238/1/Adubacaofoliar.pdf>. Acesso em: 7 maio 2023.

TAVARES, I. M.; OLIVEIRA, J. F.; MOTA, J. H.; TEIXEIRA, I. R. Efeito da adubação foliar com ferro na cultura da soja. **Tecnia**, v. 6, n. 1, p. 50-60, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ifg.edu.br/tecnica/issue/view/v6n1/v6n2>. Acesso em: 7 maio 2023.

TAVARES, L. C.; MENDONÇA, A.; ZANATTA, Z.; BRUNES, A.; VILLELA, F. Efeito de fungicidas e inseticidas via tratamento de sementes sobre o desenvolvimento inicial da soja. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 1400-1409, 2014. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/2764>. Acesso em: 7 maio 2023.

UREN, N. C. Forms, reactions, and availability of nickel in soils. **Advances in Agronomy**, v. 48, p. 141-203, 1992. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60937-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60937-2).

URETA, A. C.; IMPERIAL, J.; RUIZ-ARGÜESO, T.; PALACIOS, J. M. *Rhizobium leguminosarum* biovar viciae symbiotic hydrogenase activity and processing are limited by the level of nickel in agricultural soils. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 71, n. 11, p. 7603-7606, 2005. DOI: <https://dx.doi.org/10.1128/AEM.71.11.7603-7606.2005>.

VIEIRA, A. F.; CASTAGNARA, D. D.; DAL ZOTTO, C. S. M.; FRAPORTI, L.; MALAGUEZ, E. G.; HOCH, G. C. **Metodologias para determinação de nitrogênio**. In: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UNIPAMPA, 8., 2016, Uruguaiana. **Anais [...]**. Uruguaiana: UNIPAMPA, 2016. p. 27-38. Disponível em: <https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/91099>. Acesso em: 5 mar. 2022.

WOOD, B. W.; REILLY, C. C.; NYCZEPIR, A. P. Mouse-ear of pecan: II. Influence of nutrient applications. **HortScience**, v. 39, n. 1, p. 95-100, 2004. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.1.95>.

ZILLI, J. E.; CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M. Eficácia da inoculação de *Bradyrhizobium* em pré-semeadura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 3, p. 335-338, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000300015>.