PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA

PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE SOJA EM FUNÇÃO DO MANEJO FOLIAR COM MAGNÉSIO NA REGIÃO MÉDIO NORTE DO MATO GROSSO

KARINE BUENO

Presidente Prudente - SP

2025

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA

PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE SOJA EM FUNÇÃO DO MANEJO FOLIAR COM MAGNÉSIO NA REGIÃO MÉDIO NORTE DO MATO GROSSO

KARINE BUENO

Dissertação apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração: Produção Vegetal.

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Jéssica Pigatto Barcelos Putti

Coorientador: Prof. Dr. Alexandrius de Moraes Barbosa

Presidente Prudente - SP
2025

Catalogação Internacional de Publicação (CPI)

633.34
B928p

Bueno, Karine
Produtividade de grãos de soja em função de manejo foliar com magnésio na região médio norte de Mato Grosso. / Karine Bueno. -- Presidente Prudente, 2025.
45 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente Prudente, SP, 2025.
Bibliografia.
Orientador: Jéssica Pigatto Barcelos Putti
Coorientador: Alexandrius de Moraes Barbosa

1. Fotossíntese. 2. Glycine max (L.). Merril. 3. Radiação solar. 4. Solos tropicais. I. Título.

Bibliotecária: Sofia da Cunha Gonçalves – CRB 8\10943

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE SOJA EM FUNÇÃO DO MANEJO FOLIAR COM MAGNÉSIO NA REGIÃO MÉDIO NORTE DO MATO GROSSO"
AUTOR(A): KARINE BUENO
ORIENTADOR(A): Profa. Dra. JÉSSICA PIGATTO BARCELOS PUTTI

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em AGRONOMIA
Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. JÉSSICA PIGATTO BARCELOS PUTTI (orientadora)
UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Prof. Dr. MARCELO RAPHAEL VOLF
UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Prof. Dr. KASSIANO FELIPE ROCHA
Grupo GGF Agro / Lucas do Rio Verde (MT)

Data da realização: Presidente Prudente, 28 de março de 2025.

URL do documento: https://www.unoeste.br/ca/cf307188
Assinatura digital do documento: 2814646a22b9ba795b88932696154ef93646d81829613288544056bdf3d7b358

Central de Assinaturas Eletrônicas

Sobre o documento

Assunto: Documento eletrônico
Status do documento: Concluído
Data de criação do documento: 04/04/2025 11:28
Fuso horário: (UTC-03:00) Brasília
Número de assinaturas: 3
Solicitante: KEID RIBEIRO KRUGER (#6086087)

Signatários do documento

JESSICA PIGATTO BARCELOS PUTTI (FUNCIONÁRIO)
jessica.pqb@gmail.com
Recebido em 04/04/2025 11:28
Assinado em 04/04/2025 14:18
Assinatura Interna UNOESTE
Usando endereço IP: 177.131.39.1
ID da assinatura: 4648999

KASSIANO FELIPE ROCHA (SIGNATÁRIO EXTERNO)
kassiano_sh@hotmail.com
Recebido em 04/04/2025 11:28
Assinado em 11/04/2025 14:23
Assinatura Interna UNOESTE
Usando endereço IP: 170.0.40.14
ID da assinatura: 4649000

MARCELO RAPHAEL VOLF (FUNCIONÁRIO)
marcelovolf@unoeste.br
Recebido em 04/04/2025 11:28
Assinado em 04/04/2025 13:08
Assinatura Interna UNOESTE
Usando endereço IP: 216.234.209.12
ID da assinatura: 4649001

URL do documento: https://www.unoeste.br/ca/cf307188
Assinatura digital do documento: 2814646a22b9ba795b88932696154ef93646d81829613288544056bdf3d7b358
UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista
Mantida pela Associação Prudentina de Educação e Cultura - APEC

Utilize o QRCode abaixo para conferir a autenticidade deste documento:

DEDICATÓRIA

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer e louvar a Deus, o Todo-Poderoso, que me concedeu forças, bênçãos, conhecimento e grandes oportunidades, me tornando capaz de realizar essa Dissertação e me permitindo chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha gratidão a todos que contribuíram para a conclusão desta Dissertação de mestrado em Agronomia na Área de concentração: Produção Vegetal, conduzida como um Programa de Pós-Graduação na Universidade do Oeste Paulista (Unoeste). O caminho para conseguir concluir esta dissertação foi repleto de desafios tanto profissionais e pessoais.

Estendo minha mais profunda gratidão à minha orientadora e meu coorientador, Prof.ª Dr.ª Jéssica Pigatto Barcelos Putti e Prof. Dr. Alexandrius de Moraes Barbosa, por seus apoios inabaláveis e críticas perspicazes ao longo dessa minha jornada dentro da pesquisa. Seus profundos comprometimentos acadêmicos e atenção meticulosa aos detalhes moldaram significativamente esta dissertação. Agradeço o incentivo durante toda essa caminhada que tiveram comigo tendo paciência e dividindo seus conhecimentos para que eu pudesse ampliar os meus.

Agradeço a minha família que em muitos momentos sempre estiveram de apoiando e me dando forças para continuar com os estudos. Esta Dissertação é um reflexo do apoio inabalável e do amor sem limites que recebi dos meus pais e meus irmãos durante esta desafiadora busca acadêmica.

Agradeço também aos meus colegas e amigos de profissão Josicléia Huffner Arruda e Natã Santana dos Santos, pela profunda gratidão que sinto por toda a sabedoria, paciência, apoio e ajuda que tiveram comigo dentro desta jornada.

Estendo também a minha gratidão a GGF Agro, onde me disponibilizou a área experimental e todos os recursos necessários para a realização deste projeto a campo.

RESUMO

Produtividade de grãos de soja em função do manejo foliar com magnésio na região médio norte do Mato Grosso

As práticas de manejo nutricional são essenciais para garantir a sustentabilidade da agricultura em agroecossistemas tropicais. Nesse cenário, o presente projeto propõe um estudo para investigar o potencial da aplicação foliar do macronutriente magnésio (Mg) em plantas de soja para superar restrições edafoclimáticas, como a baixa radiação solar. Considerando as funções cruciais desempenhadas pelo Mg no aparato fotossintético das plantas, consequentemente no crescimento e produtividade das plantas. Sete tratamentos foram testados, constituídos de doses de Mg (0 (controle), 104, 312, 520, 832, 1.040 e 1.248 g de Mg ha^{-1}) aplicadas via foliar, utilizando o produto líquido Mag-8® (Ubyfol) como fonte de Mg. Os tratamentos foram conduzidos na safra 2023/24 em duas áreas experimentais, localizadas em Lucas do Rio Verde e Santa Rita do Trivelato, Mato Grosso, em delineamento em bloco casualizados, com cinco repetições. Foram avaliados o status nutricional de Mg e N nas folhas e grãos, e os componentes de produtividade. Os dados obtidos foram submetidos a testes de normalidade e análise de variância e, quando significativos, submetidos à análise de regressão utilizando o software estatístico Sisvar. De maneira geral, os resultados foram diferentes entre as duas áreas estudadas. A área de Lucas do Rio Verde tenha apresentado diferenças nos componentes de produção, essas não se traduziram em produtividade. Já a área de Santa Rita do Trivelato não apresentou efeito sobre os componentes de produção e de produtividade. As condições climáticas durante a pesquisa foram atípicas, não ocorrendo a baixa incidência de radiação solar esperadas para essa época na região, o que impediu o teste da hipótese. Apesar disso, aplicação foliar de Mg trouxe benefícios para as variáveis avaliadas, e mesmo a dose máxima praticada, de 1.248 g de Mg ha^{-1}, não apresentou efeitos de fitotoxidez, demonstrando o potencial para a prática. Novos estudos deverão ser realizados com doses maiores e em condições típicas das invernadas do Mato Grosso.

Palavras-chave: fotossíntese; *Glycine max* (L). Merril; macronutriente; produtividade; radiação solar; solos tropicais.

ABSTRACT

Soybean yield as a function of magnesium foliar management in the mid-northern region of Mato Grosso

Nutritional management practices are essential to guarantee the sustainability of agriculture in tropical agroecosystems. In this scenario, this project proposes a study to investigate the potential of foliar application of the macronutrient magnesium (Mg) to soya plants to overcome edaphoclimatic restrictions, such as soil fertiliser supplementation and low solar radiation. Considering the crucial roles played by Mg in the photosynthetic apparatus of plants, consequently in plant growth and productivity. Seven treatments were tested, consisting of foliar-applied Mg doses, (0 (control), 104, 312, 520, 832, 1.040 e 1.248 g de Mg ha^{-1}) using the liquid product Mag-8® (Ubyfol) as the Mg source. The treatments were carried out in the 2023/24 harvest in two experimental areas, located in Lucas do Rio Verde and Santa Rita do Trivelato, Mato Grosso, in a randomised block design, with five replications. The nutritional status of Mg in the plant (foliar concentrations), in the soil and grains (available levels) and yield components were assessed. The data obtained was subjected to normality tests and analysis of variance and, when significant, regression analysis using Sisvar statistical software. The data obtained in response to the foliar application of Mg differed between the two areas studied. The Lucas do Rio Verde area showed differences in production components, but these did not translate into productivity. The Santa Rita do Trivelato area had no impact on production components and productivity. The Santa Rita do Trivelato area, on the other hand, had no effect on production components. The weather conditions during the research were atypical, with the low incidence of solar radiation expected for this time of year in the region not occurring, which prevented the hypothesis from being tested. Despite this, foliar application of Mg brought benefits for the variables evaluated, and even the maximum dose practiced, 1,248 g of Mg ha-1, showed no phytotoxicity effects, demonstrating the potential for the practice. Further studies should be carried out with higher doses and in conditions typical of wintering areas in Mato Grosso.

Keywords: photosynthesis; *Glycine max* (L). Merril; macronutrient; soybean yield; tropical soils.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Área experimental de Lucas do Rio Verde-MT..... 21

Figura 2 — Área experimental de Santa Rita do Trivelato-MT..... 22

Figura 3 — Precipitação (mm), temperatura média (Tméd), máxima (Tmáx) e mínima (Tmín) do ar diária durante o período experimental. Lucas do Rio Verde-MT..... 23

Figura 4 — Precipitação (mm), temperatura média (Tméd), máxima (Tmáx) e mínima (Tmín) do ar diária durante o período experimental. Santa Rita do Trivelato..... 23

Figura 5 — Radiação solar global histórica (2010 a 2024) e da safra 2023/24..... 24

Figura 6 — Resultados do teor de magnésio (Mg) na folha, em relação a dose de Mg aplicada na área de Lucas do Rio Verde-MT. *Relação entre o teor de magnésio (Mg) nas folhas e as diferentes doses de magnésio aplicadas na forma de Mag-8® (Ubyfol) *L/ha´1= Litros por hectares..... 29

Figura 7 — Resultados de número de vagens por planta, em relação a dose de Mg na Lucas do Rio Verde-MT. *Relação entre o número de vagens obtidos e as diferentes doses de magnésio aplicadas na forma de Mag-8® (Ubyfol) *L/ha´1= Litros por hectares..... 30

Figura 8 — Resultados de número de vagens de um grão, em relação a dose de Mg na área de Lucas do Rio Verde-MT.*Relação entre o número de vagens de um grão obtidos e as diferentes doses de magnésio aplicadas na forma de Mag-8® (Ubyfol) *L/ha´1= Litros por hectares..... 31

Figura 9 — Resultados de número de vagens de dois grãos, em relação a dose de Mg na área de Lucas do Rio Verde.*Relação entre o número de vagens de dois grãos obtidos e as diferentes doses de magnésio aplicadas na forma de Mag-8® (Ubyfol) *L/ha´1= Litros por hectares..... 31

Figura 10 — Resultados de número de vagens de três grãos, em relação a dose de Mg na área de Lucas do Rio Verde -MT.*Relação

entre o número de vagens de três grãos obtidos e as diferentes doses de magnésio aplicadas na forma de Mag-8® (Ubyfol) *L/ha´1= Litros por hectares..... 32

Figura 11 — Resultados de número de vagens de quatro grãos, em relação a dose de Mg na área de Lucas do Rio Verde-MT. *Relação entre o número de vagens de quatro grãos obtidos e as diferentes doses de magnésio aplicadas na forma de Mag-8® (Ubyfol) *L/ha´1= Litros por hectares..... 32

Figura 12 — Resultados do teor de magnésio (Mg) no grão, em relação a dose de Mg aplicada na área de Santa Rita do Trivelato-MT. *Relação entre o teor de magnésio (Mg) nas folhas e as diferentes doses de magnésio aplicadas na forma de Mag-8® (Ubyfol) *L/ha´1= Litros por hectares..... 34

Figura 13 — Resultados do teor de magnésio (Mg) na folha, em relação a dose de magnésio aplicada na área Santa Rita do Trivelato-MT. *Relação entre o teor de magnésio (Mg) nos grãos e as diferentes doses de magnésio aplicadas na forma de Mag-8® (Ubyfol) *L/ha´1= Litros por hectares..... 35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Caracterização dos ambientes edafoclimáticos de Lucas do Rio Verde (1) e Santa Rita do Trivelato (2) localizadas no estado do Mato Grosso, Brasil, onde serão conduzidos os experimentos, antes da correção do solo e adubação..... 25

Tabela 2 — Análise de Variância para os caracteres de Peso de mil sementes (PMS), Stand, número de vagens, número de vagens de um grão, número de vagens de dois grãos, número de vagens de três grãos, número de vagens de quatro grãos, peso trifólio, teor de magnésio (Mg), teor de nitrogênio (N) e produtividade na área de Lucas do Rio Verde-MT..... 28

Tabela 3 — Análise de Variância para os caracteres de Peso de mil sementes (PMS), Stand, número de vagens, número de vagens de um grão, número de vagens de dois grãos, número de vagens de três grãos, número de vagens de quatro grãos, peso trifólio, teor de magnésio (Mg), teor de nitrogênio (N) e produtividade na área de Santa Rita do Trivelato..... 33

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**12**
2	**REVISÃO DE LITERATURA**	**14**
2.1	**Cultura da soja**	**14**
2.2	**Cultivo da soja em ambientes edafoclimáticos tropicais**	**15**
2.3	**Função do magnésio nas plantas**	**16**
2.4	**Fontes de magnésio para aplicação via foliar**	**17**
2.5	**Aplicação foliar de Magnésio na cultura da soja em solos corrigidos**	**18**
3	**HIPÓTESE**	**19**
4	**OBJETIVO**	**20**
4.1	**Objetivos específicos**	**20**
5	**MATERIAL E MÉTODOS**	**21**
5.1	**Delineamento experimental**	**21**
5.2	**Caracterização da área experimental**	**22**
5.3	**Condução do experimento**	**26**
5.4	**Parâmetros avaliados**	**26**
5.4.1	Status nutricional de magnésio e nitrogênio na planta	26
5.4.2	Parâmetros de desenvolvimento e componentes de produção	26
5.5	**Análise estatística**	**27**
6	**RESULTADOS**	**28**
6.1	**Resposta da adubação foliar de Mg em Lucas do Rio Verde**	**28**
6.1.1	Status nutricional de magnésio e nitrogênio na planta	28
6.1.2	Parâmetros de desenvolvimento e componentes de produção	29
6.2	**Resposta da adubação foliar de Mg em Santa Rita do Trivelato**	**33**
6.2.1	Status nutricional de magnésio e nitrogênio na planta	33
7	**DISCUSSÃO**	**36**
8	**CONCLUSÃO**	**40**
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	**41**

1 INTRODUÇÃO

A soja (Glycine max L.) destaca-se como uma das principais culturas agrícolas mundiais, desempenhando um papel essencial na economia e na segurança alimentar global. No Brasil, país que ocupa posição de liderança na produção e exportação desse grão, o estado de Mato Grosso sobressai-se como o maior produtor nacional. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), na safra 2024/2025, o Brasil atingiu uma produção recorde de 322,47 milhões de toneladas de grãos, sendo que Mato Grosso contribuiu com aproximadamente 30% desse total, consolidando-se como protagonista no cenário agrícola nacional.

Entretanto, a produtividade da soja em Mato Grosso enfrenta desafios decorrentes de condições climáticas adversas, como as invernadas — períodos prolongados de nebulosidade e precipitação que reduzem a incidência de radiação solar. Essas condições podem limitar a eficiência fotossintética das plantas, resultando em potenciais perdas de rendimento. Nessas situações, a disponibilidade adequada de magnésio (Mg) torna-se crucial, pois este macronutriente desempenha papel fundamental na composição da clorofila e na ativação de enzimas relacionadas ao metabolismo fotossintético.

Esse macro elemento desempenha um papel essencial na estrutura da clorofila e atua como ativador enzimático em diversos processos vitais para as plantas. Ele é um cofator em quase todas as enzimas fosforilativas, facilitando a transferência de energia entre o ATP, o ADP e as moléculas enzimáticas. Essa transferência de energia é crucial para a fotossíntese, respiração, síntese de compostos orgânicos, absorção iônica e trabalho mecânico, além de contribuir para o desenvolvimento e a expansão das raízes (Malavolta; Vitti; Oliveira, 1997).

Em solos tropicais, caracterizados por altos níveis de intemperismo e baixa disponibilidade de alguns nutrientes, a suplementação via aplicação foliar de Mg surge como uma alternativa promissora para mitigar os efeitos da baixa radiação solar sobre a soja. Considerando que esse macronutriente pode melhorar a eficiência fotossintética das plantas, sua aplicação foliar pode representar uma estratégia viável para minimizar os impactos negativos das condições climáticas adversas, contribuindo para a manutenção da produtividade em diferentes localidades. Essa prática visa não apenas mitigar os problemas decorrentes da deficiência de macro e micronutrientes, mas também fornecer nutrientes específicos para cada fase do desenvolvimento da

cultura, considerando que a disponibilidade desses elementos no solo pode estar reduzida (Vieira *et al*., 2022).

Em solos que são previamente corrigidos de acidez e a fertilidade de base, o uso da aplicação foliar de Mg pode ser uma prática complementar eficaz, onde irá suprir deficiências do nutriente ao longo do ciclo da cultura. Em situações como períodos de estresse hídricos ou em solos arenosos com alta lixiviação a disponibilidade de nutriente pode ser limitada, mesmo com o uso da adubação via solo (Lopes; Guilherme, 2016b).

Diante desse contexto, a presente dissertação busca investigar a hipótese de que a aplicação foliar de Mg no cultivo da soja em solos corrigidos poderá mitigar os efeitos das condições climáticas adversas de baixa incidência de radiação solar. Para tanto, serão analisados os efeitos com diferentes doses de magnésio foliar dessa prática sobre variáveis agronômicas da cultura, com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento de estratégias nutricionais mais eficientes no manejo da cultura da soja em áreas corrigidas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura da soja

A soja é uma planta herbácea, da classe Rosideae, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Papilonoideae, gênero *Glycine* e espécie *Glycine max*, tem como centro de origem de cultivo a região asiática, norte da China, a partir do cruzamento de duas espécies de soja selvagem, inicialmente rasteira e cultivada as margens dos rios, introduzida provavelmente no período de 1.500 a 1.027 a.C., indicando que esta cultura pode ter sido uma das espécies mais antigas cultivadas pelo homem, onde, a partir de então, foram melhoradas e domesticadas (Reenberg; Fenger, 2011).

A soja é a leguminosa cultivada de maior relevância global. O alto teor de proteína de seus grãos representa parte nutricional importante da dieta de humanos e animais, incluindo o óleo e farelo de soja, além da produção de biodiesel e do provimento de matéria-prima para amplas aplicações industriais (Reenberg; Fenger, 2011). Embora a soja tenha sido introduzida no Brasil no final do século XIX, seu plantio comercial expressivo só ocorreu a partir da década de 1960; hoje o país é o maior produtor de soja produzindo em torno de 154 milhões de toneladas em uma área de 44 milhões de hectares, que corresponde a cerca de 42% da produção mundial (CONAB, 2023; USDA, 2023). Nacionalmente, o Mato Grosso (MT) destaca-se como o maior estado produtor de soja, na safra 2022/23, apresentou uma produção de 45 milhões de toneladas em uma área de cultivo de 12 milhões de hectares, ou seja, correspondendo a aproximadamente 30% da produção e área cultivadas dessa leguminosa no país (CONAB, 2023).

O complexo produtivo da soja é de suma relevância, principalmente para o desenvolvimento do país. A sua contribuição é expressiva para um superávit na balança comercial brasileira. Além de possuir vital importância, considerando-se os seus diversos usos, seja nas questões econômicas, geração de empregos, além do acréscimo de valor por meio da soja industrializada (Cattelan; Dall'agnol, 2018).

Tendo em vista a necessidade por abordagens mais sustentáveis de práticas agrícolas, aliado a necessidade de produção de alimentos e a ampla extensão territorial em que se cultiva a soja, está leguminosa está exposta a uma série de variabilidades edafoclimáticas, que se não manejadas da forma adequada, reduzem

a produtividade, essas lacunas de produção, denominadas atualmente como *"yield gaps",* podem aumentar os riscos de perdas nas lavouras (Sentelhas *et al*., 2015; Santos *et al*., 2021; Winck *et al*., 2023). Nesse cenário, aliar práticas de manejo nutricionais para mitigar os riscos climáticos, principalmente referentes a baixa intensidade luminosidade em estádios fenológicos críticos da soja, por exemplo, floração e enchimento de grãos, que afetam diretamente as índices produtivos, configura como uma tecnologia viável e sustentável (Hellal; Abdelhamid, 2013), principalmente para regiões sojícolas como a do Estado do Mato Grosso, que enfrenta expressiva nebulosidade no período de cultivo da soja (Alvares *et al*., 2014).

2.2 Cultivo da soja em ambientes edafoclimáticos tropicais

As condições tropicais, caracterizadas por elevadas temperaturas e intensa precipitação pluviométrica, condicionam naturalmente o desenvolvimento de solos altamente intemperizados e que apresentam alta concentração de hidrogênio (H^+), elevada lixiviação de nutrientes catiônicos, como cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e potássio (K^+); consequentemente, a saturação por alumínio (Al^{3+}) desses solos é alta, enquanto sua saturação por bases (V%) é baixa, o que afeta negativamente a produção das culturas agrícolas (Lopes; Guilherme, 2016a). Estratégias para o manejo de solos tropicais vêm sendo adotadas para viabilizar seu uso agrícola. Para o cultivo da soja, uma das estratégias que mais se destaca e, é amplamente adotada pelos agricultores, é a calagem, visto que a aplicação de calcário ($CaMg(CO_3)_2$) eleva o pH do solo, a V% e a disponibilidade de Ca^{2+} e Mg^{2+} às plantas, além de reduzir a concentração de Al^{3+} disponível. A adubação mineral também é outra prática realizada para construção da fertilidade dos solos tropicais cultivados com soja (Fageria; Baligar, 2008; Fageria; Nascente, 2014).

Contudo, além das condições de manejo edáficas, a compreensão das exigências climáticas da cultura da soja é de extrema importância para o sucesso do seu cultivo. Como há uma ampla expansão territorial em que se produz soja, isto expõem-na a uma série de variações climáticas que, se não atendidas e manejadas corretamente, podem afetar negativamente o seu cultivo. Em meio a essas variações, as condições meteorológicas que mais afetam a produtividade de soja são: o fotoperíodo, radiação solar, temperatura e precipitação, afetando diretamente o desenvolvimento da planta (Winck *et al*., 2023).

Para as condições climáticas de cultivo de soja no Estado do Mato Grosso, destaca-se a intensidade da radiação solar incidente no dossel de plantas. A radiação solar é um componente ambiental essencial que, além de fornecer energia luminosa para a fotossíntese, também fornece sinais ambientais para uma gama de processos fisiológicos da soja. São decisivas nas respostas morfológicas e fenotípicas da cultura, tais como fotossíntese, elongação da haste principal e suas ramificações, expansão foliar, pegamento de vagens e grãos (Chavarria *et al*., 2017). Dessa forma, realizar práticas de manejo nutricional visando atenuar os efeitos das condições climáticas adversas de aumento da eficiência fotossintética solar pode ser uma tecnologia de produção a ser exploradas nos sistemas sojícolas, nesse cenário, o macronutriente Mg, devido as funções desempenhadas nas plantas, pode ser o aliado ideal.

2.3 Função do magnésio nas plantas

O magnésio participa em diversos processos fisiológicos essenciais para as plantas e desempenha funções cruciais na fotossíntese, fotoproteção e na partição de carboidratos (Tränkner; Tavakol; Jákli, 2018). Também desempenha papel na síntese de clorofila (Tränkner; Tavakol; Jákli, 2018), bem como na ativação de diversas enzimas, como a glutationa sintase, ribulose 1,5-bifosfato (rubisco) carboxilase/oxigenase, fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase), RNA polimerase, proteínas quinases, fosfatases e ATPases (Gerendás; Führs, 2013), enzimas essas essenciais para processo fotossintético, consequentemente, com influência direta no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Segundo Shaul (2002); Gerendás e Führs (2013), esse macronutriente também desempenha função no carregamento de sacarose no floema e, portanto, na partição de carboidratos nos tecidos fonte e dreno. O carregamento de sacarose no floema é um processo ativo catalisado por um gradiente de prótons e um co-transportador de H^+/sacarose, dessa forma, para seu funcionamento é necessárias elevadas concentrações de ATP-Mg. O ATP-Mg é responsável pelo funcionamento da bomba de H^+ localizada na membrana plasmática. Em níveis adequados no tecido vegetal, até 90% da concentração citoplasmática de Mg é complexada com ATP, dessa forma, evidenciado a importância do manejo nutricional de Mg as plantas. Visto que a relação entre produção e uso de fotoassimilados para atividade metabólica é fundamental para a manutenção do processo fotossintético e crescimento das plantas.

Estudo recente de meta-análise evidenciou a importância do Mg para prover a produtividade das culturas agrícolas em distintas condições edáficas (Wang *et al*., 2020). Esses autores demonstraram que a adubação de Mg aumentou em 8,5% a produtividade das culturas cultivadas em condições de campo no mundo, atribuindo esse resultado aos processos fisiológicos intermediados pelo Mg nas plantas.

Atualmente, onde, majoritariamente o Mg vem sendo manejado via calagem e, muitas vezes, sem suprir adequadamente as exigências nutricionais da soja (Lopes; Guilherme, 2016b; Fageria; Baligar, 2008; Fageria; Nascente, 2014), a sua suplementação via pulverização foliar foi investigada por diversos autores, que relatam efeitos benéficos, principalmente relacionados a atividade fotossintética das plantas, crescimento e produção, bem como reduzindo os efeitos negativos de estresses abióticos nas plantas (Vrataric *et al*., 2006; Teklić *et al*., 2009; Altarugio *et al*., 2017; Rodrigues *et al*., 2021). Segundo esses estudos, a pulverização foliar é vantajosa por suplementar com doses menores a adubação deste macronutriente previamente realizada via solo, além de fornecer o Mg nos estádios de desenvolvimento de maior demanda nutricional diretamente sobre o tecido vegetal alvo. Nesse contexto, a pulverização foliar com Mg pode ser uma prática de manejo viável para auxiliar as plantas de soja na mitigação de estresses ambientais, como a baixa incidência da radiação solar, bem como com efeitos benéficos nos componentes produtivos.

2.4 Fontes de magnésio para aplicação via foliar

As aplicações foliares de magnésio (Mg) são uma estratégia eficaz para resolver deficiências nutricionais e melhorar o desempenho fisiológico das plantas, especialmente sob condições de stress ou quando a absorção pelas raízes é limitada. Dentre as principais fontes de magnésio utilizadas para esse fim, destacam-se o sulfato de magnésio ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), o nitrato de magnésio [$Mg(NO_3)_2$] e os quelatos de magnésio, como o Mg-EDTA (Silva; Faquin; Andrade, 2015).

O sulfato de magnésio é amplamente utilizado devido à sua alta solubilidade e à presença de enxofre que é um elemento essencial para o metabolismo das plantas. O nitrato de magnésio além de fornecer magnésio, também contém nitrogênio na forma de ácido nítrico, que facilita a absorção dos nutrientes pelas plantas. Os quelatos de magnésio apresentam alta estabilidade e fluidez, tornando-os uma

alternativa eficaz para culturas com alta demanda por este elemento (Nutrifertil Agrícola, 2024).

2.5 Aplicação foliar de Magnésio na cultura da soja em solos corrigidos

A principal fonte que é utilizada hoje para o fornecimento do magnésio para as culturas é o calcário, que é utilizado para a correção do solo e como uma fonte de Calcio. Mas, em solos com baixos teores ou muitos baixos de magnésio, somente o uso do calcário não é suficiente para fornecer o nutriente necessário às plantas, exigindo assim uma adubação complementar (Carneiro, 2019).

Uma adubação correta e uma adequada correção de solo é uma das etapas essenciais para um bom resultado no desenvolvimento da cultura da soja, proporcionando um ambiente propicio a uma absorção eficiente de nutrientes pelas raízes da planta (Malavolta, 1997). Mas mesmo tendo todos esses fatores bem manejados a aplicação foliar pode-se representar uma estratégia complementar valiosa no manejo nutricional na lavoura em momentos de alta exigência nutricional.

Durante a fase de desenvolvimento da soja em floração R1 e R2 e durante o enchimento de grãos em R5, a demanda por nutriente tem um aumento significativo na planta. Com o uso da aplicação foliar nesses estágios acaba fornecendo um aporte rápido e eficiente de macronutrientes, auxiliando no metabolismo vegetal e no potencial produtivo da cultura (Seixas *et al*., 2020).

3 HIPÓTESE

A aplicação foliar de Mg no cultivo da soja em solos já corrigidos com magnésio adequados poderá mitigar os efeitos das condições climáticas adversas de baixa incidência de radiação solar, uma vez que, esse macronutriente pode melhorar a eficiência fotossintética das plantas, evitando perdas de produtividade em diferentes localidades.

4 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da aplicação foliar de magnésio sobre a produtividade de grãos de soja em solos corrigidos.

4.1 Objetivos Específicos

i. Definir a dose agronômica para aplicação foliar de Mg na cultura da soja;
ii. Observar a resposta à aplicação de magnésio em solo corrigido.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Delineamento experimental

Para acessar o efeito da aplicação foliar de Mg na produtividade de plantas de soja cultivadas na região médio norte do Mato Grosso, foram testadas sete doses deste macronutriente - 0 (controle), 104, 312, 520, 832, 1.040 e 1.248 g ha^{-1} de Mg. A fonte utilizada para o fornecimento de Mg foi o fertilizante comercial líquido Mag-8® (Ubyfol) o qual foi aplicado nas doses de 0, 1, 3, 5, 8, 10 e 12 L ha^{-1} que correspondem aos sete tratamentos de Mg, respectivamente. O Mag-8® (Ubyfol) é classificado no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) (MG 001047-2.000059) como um fertilizante mineral misto, com densidade de 1,30 g cm^{-3}, natureza física suspensão, recomendado para aplicação via foliar. É composto de água, 1% de nitrogênio (N) na forma de ureia (13 g de N L^{-1}) e majoritariamente por 8% de Mg na forma de cloreto de magnésio ($MgCl_2$) (104 g de Mg L^{-1}).

Os tratamentos foram distribuídos em delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições, e sete tratamentos. As parcelas experimentais foram constituídas de 8 linhas de 6 m de comprimento, espaçadas a 0,50 m, utilizando a cultivar de soja Olimpo IPRO (80I82RSF). A área útil da parcela será composta das 6 linhas centrais de 5 metros, eliminando-se 2 linhas de cada extremidade.

Figura 1 — Área experimental de Lucas do Rio Verde- MT

Fonte: A autora.

Figura 2 — Área experimental de Santa Rita de Trivelato- MT

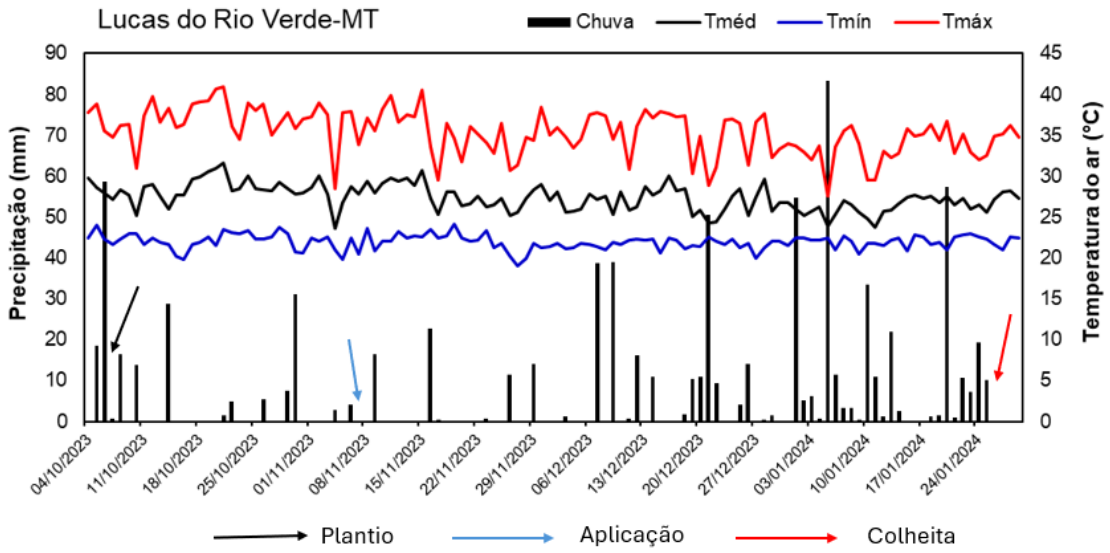
Fonte: A autora.

5.2 Caracterização da área experimental

Foram conduzidos dois experimentos nos municípios de Lucas do Rio Verde-MT (-13.045573°, -55.970001° e 390 m) e Santa Rita do Trivelato-MT (-13.695934°, -55.379170° e 507 m). Na Tabela 1 é apresentada a caracterização das áreas experimentais. Os dados climáticos registrados durante o período experimental podem ser visualizados nas Figuras 3 e 4.

O experimento realizado no município de Lucas do Rio Verde-MT apresentou precipitação acumulada de 815 mm, com temperatura média do ar de 27,4 °C, e temperaturas máxima e mínima de 35,3 °C de 22,0 °C, respectivamente, como demonstrado na Figura 3.

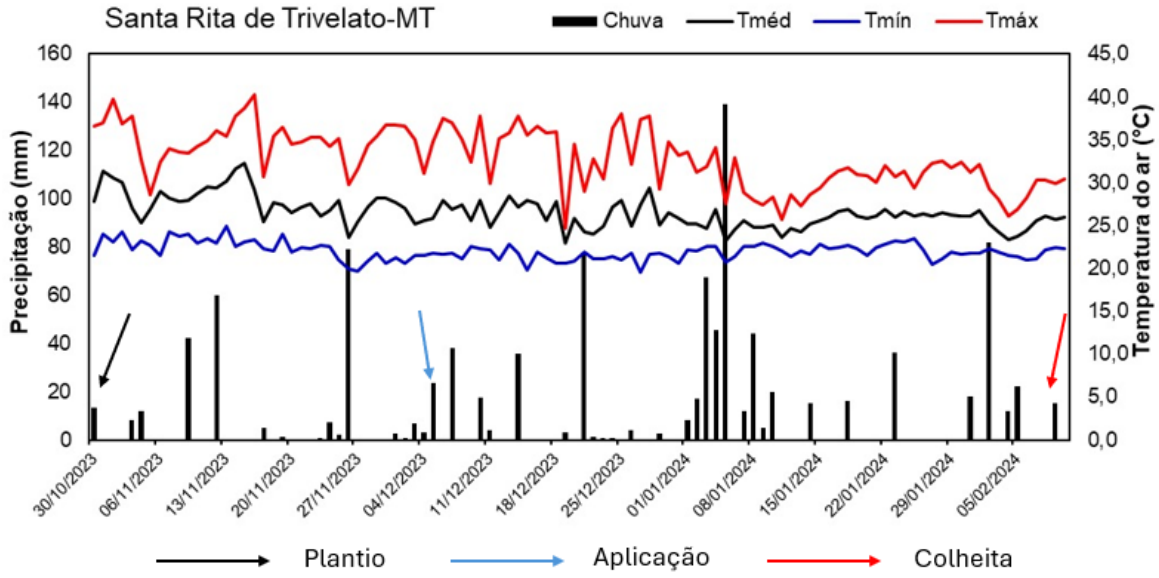
Figura 3 — Precipitação (mm), temperatura média (Tméd), máxima (Tmáx) e mínima (Tmín) do ar diária durante o período experimental. Lucas do Rio Verde-MT.



Fonte: A autora.

O experimento realizado no município de Santa Rita do Trivelato-MT teve precipitação acumulada de 1.027 mm, com temperatura do ar média de 26,6 °C, máxima de 32,9 °C e mínima de 22,0 °C (Figura 4).

Figura 4 — Precipitação (mm), temperatura média (Tméd), máxima (Tmáx) e mínima (Tmín) do ar diária durante o período experimental. Santa Rita do Trivelato – MT.



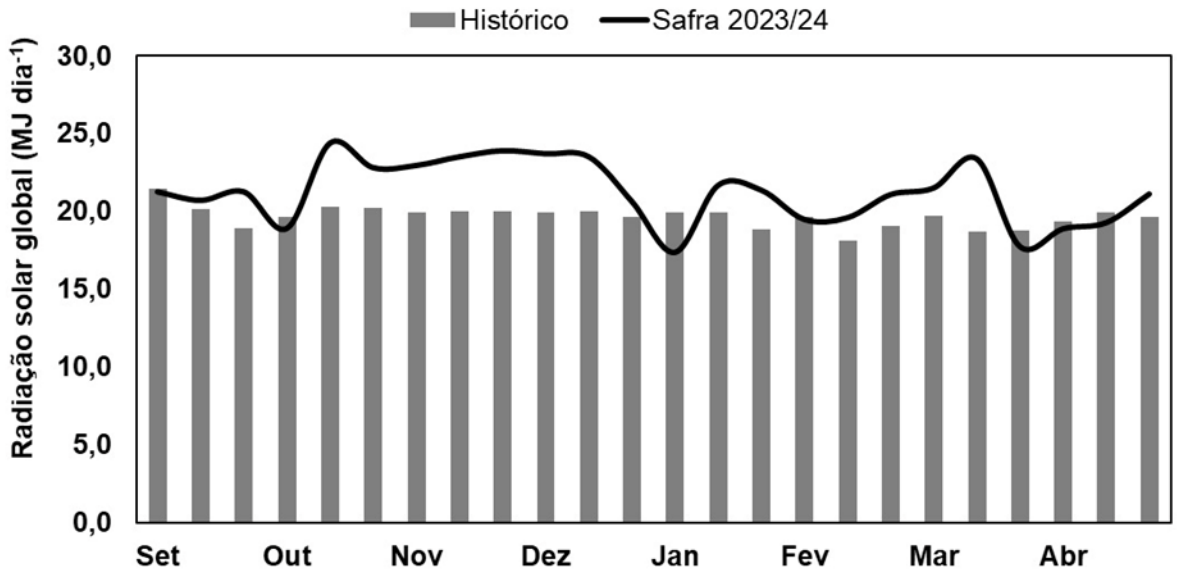
Fonte: A autora.

As condições climáticas registradas na safra 2023/24 foram diferentes da normalidade da região, com a ocorrência de frequentes períodos de estiagem, associadas a ondas de calor, dificultando a formação dos longos períodos chuvosos característicos da região (chuvas de invernada).

Tal situação é confirmada através dos dados de radiação solar. A média da radiação global no período de outubro a março na região é de 18,0 MJ m^{-2} dia^{-1}. No entanto, na safra 2023/24 a média da região no período foi de 21,5 MJ m^{-2} dia^{-1}. Maiores valores de radiação global indicam dias com menor nebulosidade. A precipitação acumulada em Lucas do Rio Verde ficou 185 mm abaixo da normalidade, e em Santa Rita do Trivelato 144 mm. A temperatura média normal da região durante o período de outubro a março é de 25,9 °C (INMET – Instituto Nacional de Meteorologia). Durante a safra 2023/24 foram registradas diversas ondas de calor, sendo que a temperatura média de Lucas do Rio Verde-MT e Santa Rita do Trivelato-MT ficaram 1,5 e 0,7 °C acima da normalidade, respectivamente.

A radiação solar global média dos anos de 2010 a 2024 no período de outubro a março é de 19,6 MJ dia^{-1}. Já na safra 2023/24 a radiação solar global no período de outubro a março foi de 21,5 MJ dia^{-1}. A maior incidência de radiação indica uma safra com menor cobertura de nuvens, e a menor ocorrência das chuvas do tipo invernada (vários dias com chuva) (Figura 5).

Figura 5 — Radiação solar global histórica (2010 a 2024) e da safra 2023/24.



Fonte: A autora.

Tabela 1 — Caracterização dos ambientes edafoclimáticos de Lucas do Rio Verde (1) e Santa Rita do Trivelato (2) localizadas no estado do Mato Grosso, Brasil, onde serão conduzidos os experimentos, antes da correção do solo e adubação.

Propriedades	**Unidades**	**Ambientes edafoclimáticos**	
		1 - Lucas do Rio Verde	**2 - Santa Rita do Trivelato**
Solo – Química			
Matéria orgânica	g kg^{-1}	34,6	31,4
pH	-	5,6	5,3
Al + H	$cmol_c$ kg^{-1}	4,3	4,1
P	mg kg^{-1}	23,2	13,5
K	mg kg^{-1}	70,93	59,7
Ca	$cmol_c$ kg^{-1}	4,3	3,0
Mg	$cmol_c$ kg^{-1}	1,4	1,2
S	mg kg^{-1}	20,6	17,1
B	mg kg^{-1}	0,2	0,4
Cu	mg kg^{-1}	1,0	1,4
Fe	mg kg^{-1}	59,2	57,8
Mn	mg kg^{-1}	15,6	12,9
Zn	mg kg^{-1}	7,8	8,4
Solo – Física			
Argila	g kg^{-1}	591	534
Silte	g kg^{-1}	156	148
Areia	g kg^{-1}	253	318
Classe textural [b]	-	Argilosa	Argilosa
Solo – Pedológica			
Classe SiBCS [b, c]	-	LVAd	LVd
Correspondência FAO d	-	*Ferralsols*	*Ferralsols*
Correspondência *Soil Taxonomy* [e]	-	*Oxisols*	*Oxisols*
Clima [f]	-	*Aw*	*Aw*
Altitude [f]	m	390	507
Temperatura média anual [f]	°C	24–26	22–24
Precipitação pluviométrica anual [f]	mm	1.900–2.200	1.900–2.200
Histórico	-	Desde 1992 cultivo agrícola Espécies anuais – soja e milho	Desde 1999 cultivo agrícola Espécies anuais – soja e milho

Fonte: [a] Teixeira *et al*. (2017). [b] Santos *et al*. (2018). [c] IBGE (2009). [d] FAO (2006). [e] Soil Survey Staff (1999). [f] Alvares *et al*. (2014).
Legenda: SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. FAO – *Food and Agriculture Organization*. *Aw* – Clima tropical, com inverno seco. LVAd – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico. LVd – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico.

5.3 Condução do experimento

O experimento localizado no município de Lucas do Rio Verde foi conduzido no período de 04 de outubro de 2023 a 29 de janeiro de 2024. Já o experimento realizado no município de Santa Rita de Trivelato foi conduzido no período de 30 de outubro de 2023 a 09 de fevereiro de 2024. A correção do solo e adubação foi realizado conforme preconizado para o estado do Mato Grosso (Sousa; Lobato, 2004).

O manejo fitossanitário de pragas, doenças e plantas daninhas, foi realizado conforme as necessidades, para tal, realizando os monitoramentos constantes durante todo o ciclo de desenvolvimento das plantas. Os tratamentos com Mg foram aplicados via foliar no estádio fenológico R1 (uma flor aberta em qualquer nó na haste principal) (Fehr; Caviness, 1977). Para tal, foi utilizado um pulverizador agrícola manual a dióxido de carbono (CO_2).

5.4 Parâmetros avaliados

5.4.1 Status nutricional de magnésio e nitrogênio na planta

Para quantificação dos teores foliares de Mg e N, foi coletada a terceira folha totalmente expandida do ápice da haste central (folha diagnóstico) de 10 plantas da área útil da parcela, no estádio fisiológico de pleno florescimento das plantas (R2). As amostras foram secas em estufa de ar forçado a 65 °C, moídas em moinho tipo Willey, peneiradas em peneira com diâmetro de 10-40 mesh. Para determinação da concentração de Mg e N utilizou-se a metodologia descrita em Malavolta; Vitti e Oliveira (1997). A mesma metodologia será utilizada para quantificação dos teores de Mg e N nos grãos.

5.4.2 Parâmetros de desenvolvimento e componentes de produção

Para a realização da avaliação do peso seco das folhas (trifólio) foi determinado em balança analítica de precisão após a secagem do material em estufa de circulação forçada (65 °C). No estádio fenológico de maturidade fisiológica plena das plantas – R8 (final do ciclo com as vagens apresentando umidade inferior a 15%), os componentes de produtividade foram avaliados na área útil de cada parcela: stand de

plantas, número de vagens por planta e número de vagens de um, dois, três e quatro grãos por planta, peso de mil grãos e produtividade de grãos.

A determinação do stand de plantas foi realizada com a contagem direta do número de plantas por área da parcela. O número de vagens por planta e número de vagens de um, dois, três e quatro grãos por planta foi realizado contando-se as vagens e número de grãos por vagem de 10 plantas por parcela. A produtividade e peso de mil grãos foram quantificados coletando-se as plantas de duas linhas de 5 metros da área útil da parcela, que foram trilhados e, em seguida, os grãos foram contados e pesados em balança analítica de precisão. Para o cálculo da produtividade e peso de mil grãos, a umidade dos grãos foi corrigida para 13%.

5.5 Análise estatística

Os resultados foram submetidos a teste de normalidade de Shapiro-wilk e a teste de homoscedasticidade de Bartlet. Após verificação, os dados foram submetidos à análise de variância ($p<0,05$) de significância. Quando significativos, os dados foram submetidos ao teste de regressão linear e polinomial de segunda ordem ($p < 0,05$). Foram utilizados os softwares R-Studio para testes de normalidade e homoscedasticidade, e o software SISVAR para as análises de regressão (Ferreira, 2011).

6 RESULTADOS

6.1 Resposta da adubação foliar de Mg em Lucas do Rio Verde

Os caracteres analisados na área de Lucas do Rio Verde (Tabela 2), apresentaram diferença significativa de 5% de probabilidade de erro destacando-se o número total de vagens, número de vagens com um grão, número de vagens com dois grãos, número de vagens com três grãos, número de vagens com quatro grãos e o teor de nitrogênio (N) no grão teor de magnésio (Mg) foliar, o teor de nitrogênio (N) foliar. Os demais caracteres não apresentaram diferença estatística.

Tabela 2 — Análise de Variância para os caracteres de Peso de mil sementes (PMS), Stand, número de vagens, número de vagens de um grão, número de vagens de dois grãos, número de vagens de três grãos, número de vagens de quatro grãos, peso trifólio, teor de magnésio (Mg), teor de nitrogênio (N), teor de nitrogênio (N) na folha, teor de magnésio (Mg) na folha e produtividade na área de Lucas do Rio Verde-MT.

Variáveis	Pr>Fc	C.V. (%)
PMS	0,686 ns	4,65
População (stand)	0,446 ns	6,58
N° Vagens	**0,001***	11,02
N° Vagens 1 Grão	**0,016***	23,70
N° Vagens 2 Grãos	**0,001***	13,07
N° Vagens 3 Grãos	**0,001***	12,82
N° Vagens 4 Grãos	**0,001***	38,77
Peso trifólio	0,516 ns	19,31
Mg grão	0,125 ns	23,04
N grão	**0,012***	2,85
Mg folha	**0,040***	14,72
N folha	**0,001***	3,21
Produtividade	0,574 ns	5,91

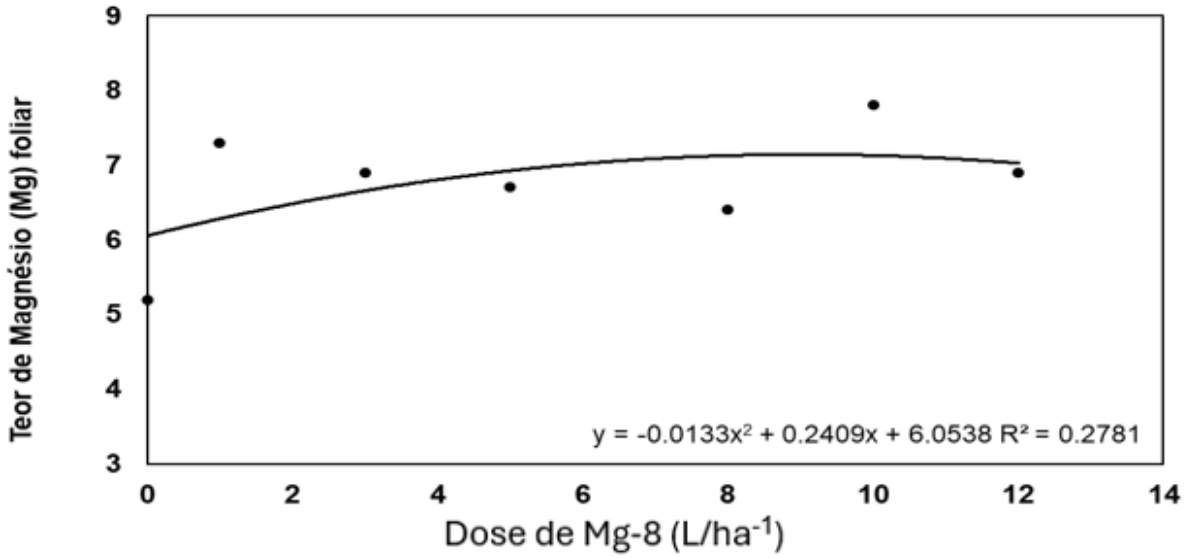
Fonte: A autora.
Legenda: Pr>Fc= Probabilidade pelo teste F a 5%; CV = coeficiente de variação; * = significativo a 5%; ns= não significativo, Mg= Magnésio, N= Nitrogênio.

6.1.1 Status nutricional de magnésio e nitrogênio na planta

O teor de Mg nas folhas (Figura 6) apresentou ajuste linear com menor concentração de Mg nos grãos para a dose de 1L ha^{-1} de Mag-8® ou 312 g ha^{-1} de

Mg (ponto máximo de 2,7 L ha^{-1} de Mag-8®), aumentando os teores de Mg nos grãos para doses superiores. O ajuste da curva, porém teve um R^2=0,2781.

Figura 6 — Resultados do teor de magnésio (Mg) na folha, em relação a dose de Mg aplicada na área de Lucas do Rio Verde-MT. *Relação entre o teor de magnésio (Mg) nas folhas e as diferentes doses de magnésio aplicadas na forma de Mag-8® (Ubyfol) *L/ha´1= Litros por hectares.



Fonte: A autora.

Embora os teores de N nas folhas e nos grãos tenham apresentado efeito significativo para o teste F (Tabela 2), o ajuste da curva regressão de ambos os teores foi muito baixa. O teor foliar de N foi em média de 31 g kg^{-1} de massa de matéria seca de folhas, e o coeficiente de regressão (R^2) foi de 0,0017. Já o teor de N nos grãos foi em média de 46 g kg^{-1} de massa de matéria seca de grãos, e o coeficiente de regressão (R^2) foi de 0,0198.

6.1.2 Parâmetros de desenvolvimento e componentes de produção

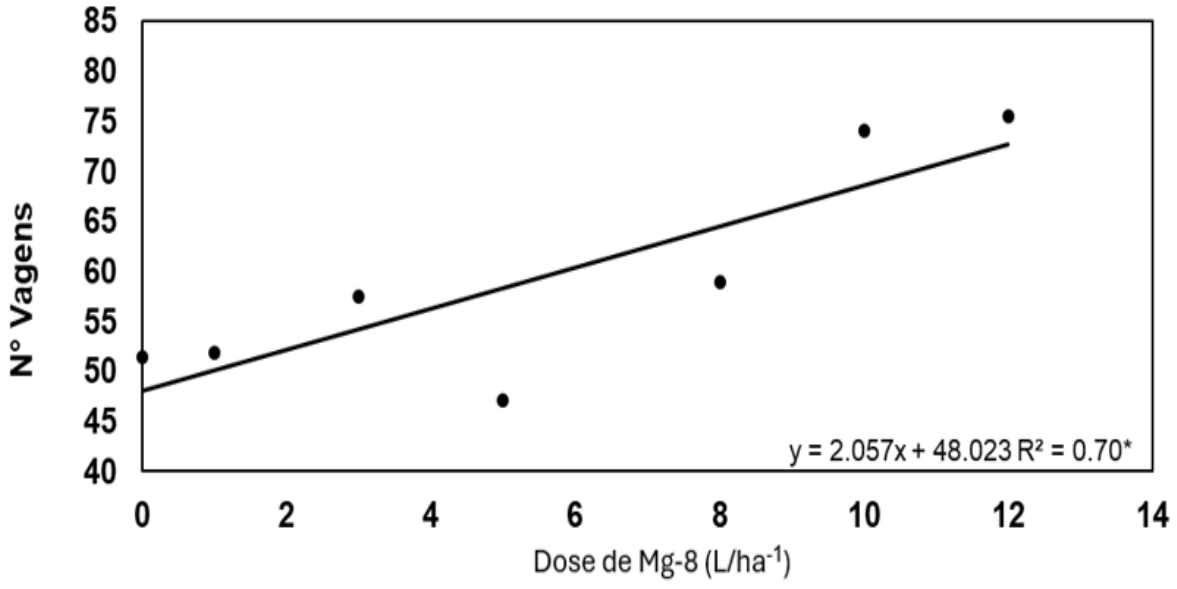
As variáveis quantidade de vagens com um grão (Figura 8), número de vagens com 4 grãos (Figura 11) e teor de Mg nos grãos (Figura 12), número de vagens por planta (Figura 7), número de vagens com dois grãos (Figura 9) e número de vagens com três grãos (Figura 10) apresentaram ajuste significativo para regressão linear.

A aplicação de doses crescentes de Mg via foliar na soja aumentou de forma linear o número de vagens (Figura 7 - R2 = 0,70) e o número de vagens com um grão

(Figura 8 - R2 = 0,89), com um incremento de 2 vagens no total, e de 0,14 vagens com um grão para cada litro de Mag8® aplicado (a cada 104 g de Mg), respectivamente.

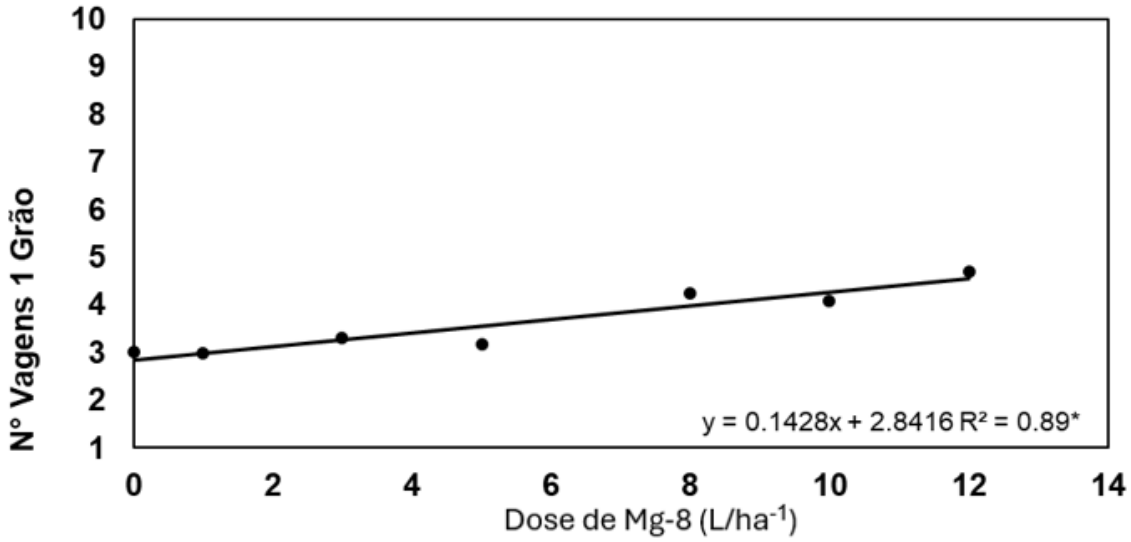
A aplicação de doses crescentes de Mg via foliar na soja aumentou de forma linear o número de vagens (Figura 7) com um aumento de aproximadamente de 2 vagens para cada litro de Mag-8 aplicado. O número de vagens com um grão (Figura 8) com um R^2 de 0.1428, com um incremento de 2 vagens no total, e de 0,14 vagens com um grão para cada litro de Mag8® aplicado (a cada 104 g de Mg), respectivamente. Porém o número de vagens com quatro grãos reduziu linearmente (Figura 11) com um R^2 de 0.1232. O número de vagens com dois grãos (Figura 10) teve um R^2 de 0.5223 e o número de vagens com três grãos (Figura 10) com um R^2 de 1.2065, apresentaram ajuste de resposta linear, atingindo o menor valor para a dose de 3 L ha^{-1} de Mag-8®, ou 312 g ha^{-1} de Mg, com ponto mínimo de 2,2 L ha^{-1} de Mag-8® para o número de vagens por planta e número de vagens com três grãos, e ponto de mínimo de 2,7 L ha^{-1} de Mag-8® para o número de vagens com dois grãos pelo ajuste de suas respectivas equações.

Figura 7 — Resultados de número de vagens por planta, em relação a dose de Mg na Lucas do Rio Verde-MT**.** *Relação entre o número de vagens obtidos e as diferentes doses de magnésio aplicadas na forma de Mag-8® (Ubyfol) *L/ha´^{1}= Litros por hectares.



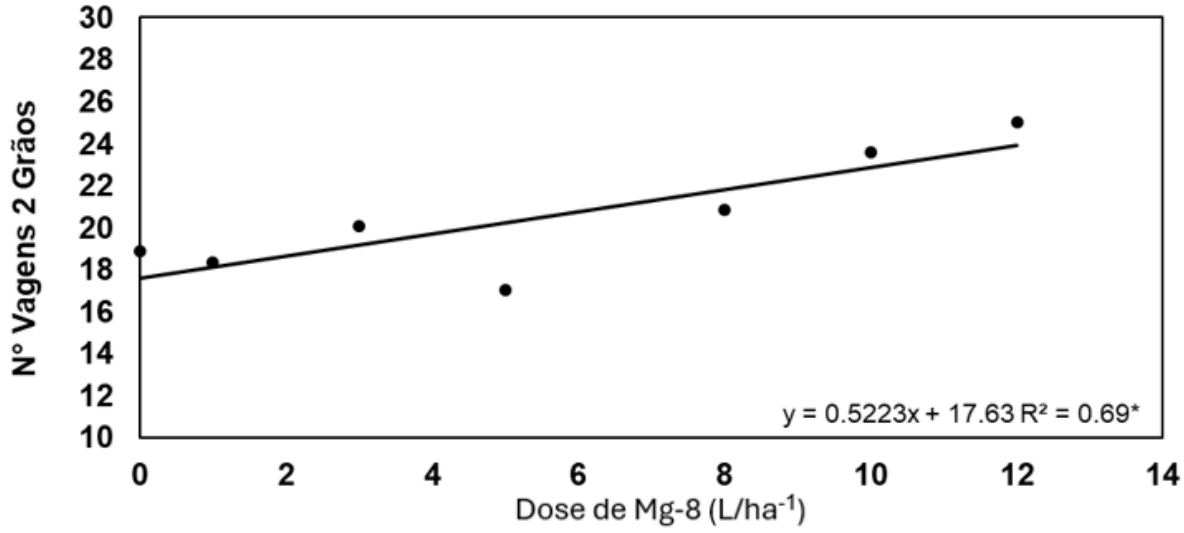
Fonte: A autora.

Figura 8 — Resultados de número de vagens de um grão, em relação a dose de Mg na área de Lucas do Rio Verde-MT. *Relação entre o número de vagens de um grão obtidos e as diferentes doses de magnésio aplicadas na forma de Mag-8® (Ubyfol) *L/ha´1= Litros por hectares.



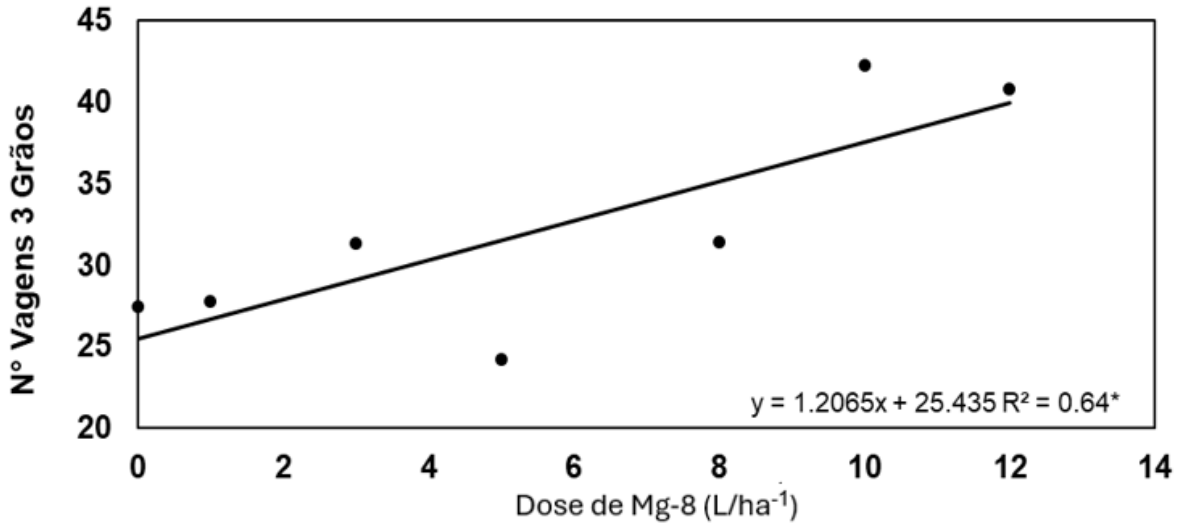
Fonte: A autora.

Figura 9 — Resultados de número de vagens de dois grãos, em relação a dose de Mg na área de Lucas do Rio Verde -MT. *Relação entre o número de vagens de dois grãos obtidos e as diferentes doses de magnésio aplicadas na forma de Mag-8® (Ubyfol) *L/ha´1= Litros por hectares.



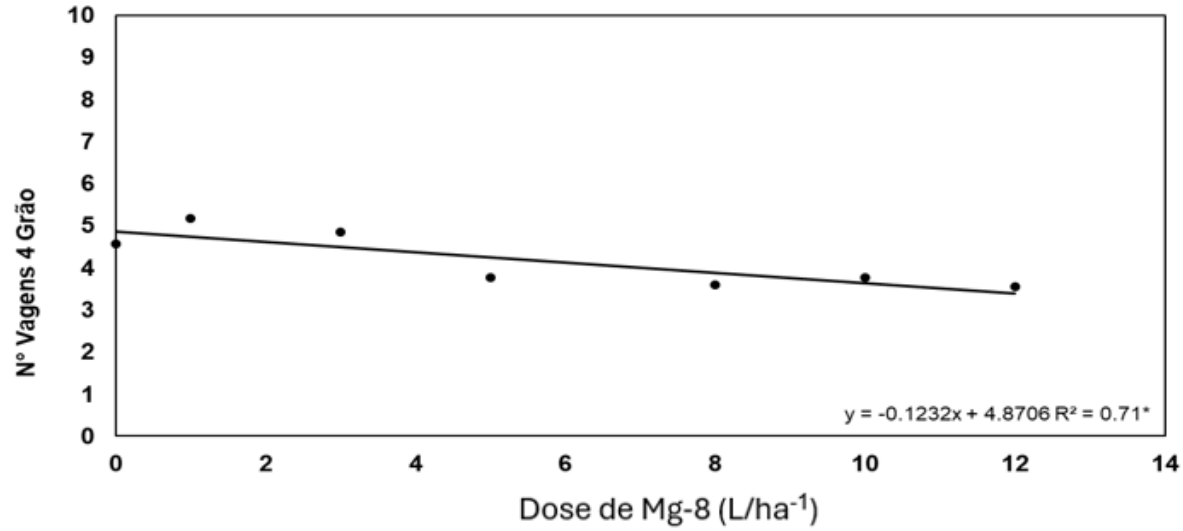
Fonte: A autora.

Figura 10 — Resultados de número de vagens de três grãos, em relação a dose de Mg na área de Lucas do Rio Verde -MT. *Relação entre o número de vagens de três grãos obtidos e as diferentes doses de magnésio aplicadas na forma de Mag-8® (Ubyfol) *L/ha´[1]= Litros por hectares.



Fonte: A autora.

Figura 11 — Resultados de número de vagens de quatro grãos, em relação a dose de Mg na área de Lucas do Rio Verde-MT. *Relação entre o número de vagens de quatro grãos obtidos e as diferentes doses de magnésio aplicadas na forma de Mag-8® (Ubyfol) *L/ha´[1]= Litros por hectares.



Fonte: A autora.

6.2 Resposta da adubação foliar de Mg em Santa Rita do Trivelato

Na área de Santa Rita do Trivelato (Tabela 3) os caracteres que apresentaram diferença significativa de 5% de probabilidade de erro destacam-se o teor de magnésio (Mg) no grão, o teor de nitrogênio (N) no grão, o teor de nitrogênio (N) foliar. Os demais caracteres avaliados não apresentaram diferença estatística pelo teste F a 5% de significância.

Tabela 3 — Análise de Variância para os caracteres de Peso de mil sementes (PMS), Stand, número de vagens, número de vagens de um grão, número de vagens de dois grãos, número de vagens de três grãos, número de vagens de quatro grãos, peso trifólio, teor de magnésio (Mg), teor de nitrogênio (N), teor de nitrogênio (N) na folha, teor de magnésio (Mg) na folha e produtividade na área de Santa Rita do Trivelato.

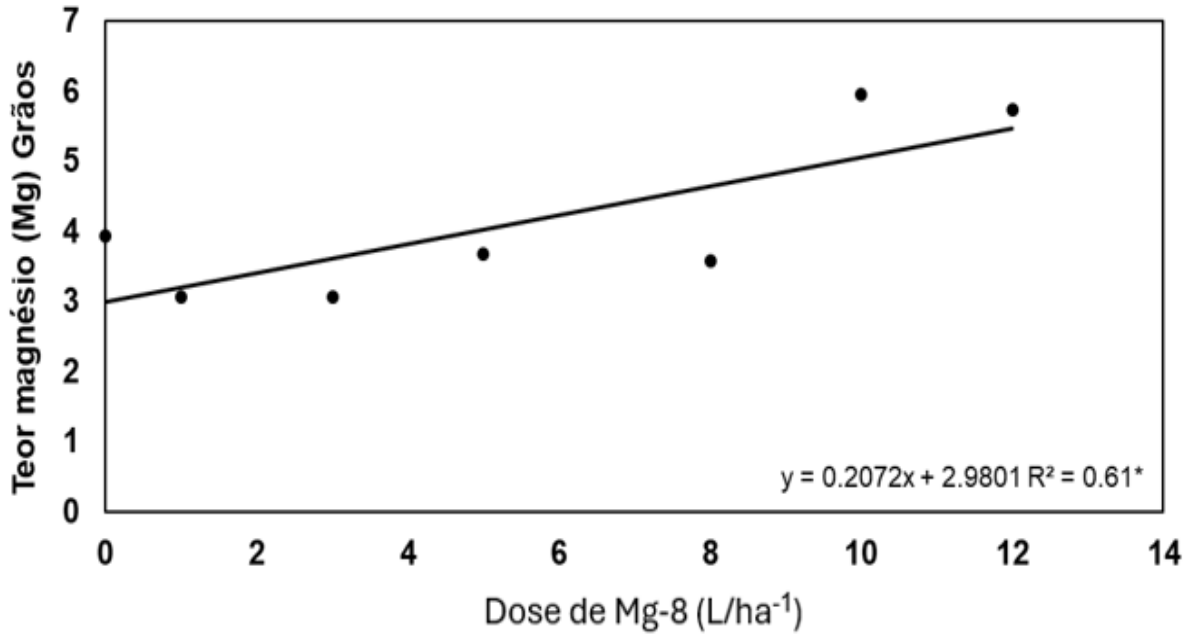
Variáveis	p	C.V. (%)
População (Stand)	0,752 ns	6,39
PMS	0,669 ns	5,02
N° Vagens	0,131 ns	16,83
N° Vagens 1 Grão	0,256 ns	44,25
N° Vagens 2 Grão	0,232 ns	17,16
N° Vagens 3 Grão	0,127 ns	18,36
N° Vagens 4 Grão	0,247 ns	26,51
Peso trifólio	0,847 ns	12,39
Mg grão	**0,002***	23,59
N grão	0,029 ns	2,43
Mg folha	**0,003 ***	11,96
N folha	**0,001***	1,41
Produtividade	0,1640 ns	6,84

Fonte: A autora.
Legenda: Pr>Fc= Probabilidade pelo teste F a 5%; CV = coeficiente de variação; * = significativo a 5%; ns= não significativo, Mg= Magnésio, N= Nitrogênio P= probabilidade ajuste de curva linear; Px^2=Probabilidade de curva quadrática.

6.2.1 Status nutricional de magnésio e nitrogênio na planta

O teor de Mg nos grãos (Figura 12) apresentou ajuste linear com incremento na concentração de Mg nos grãos de 3 mg kg^{-1} para a dose cada 104 g de Mg ha^{-1} aplicado.

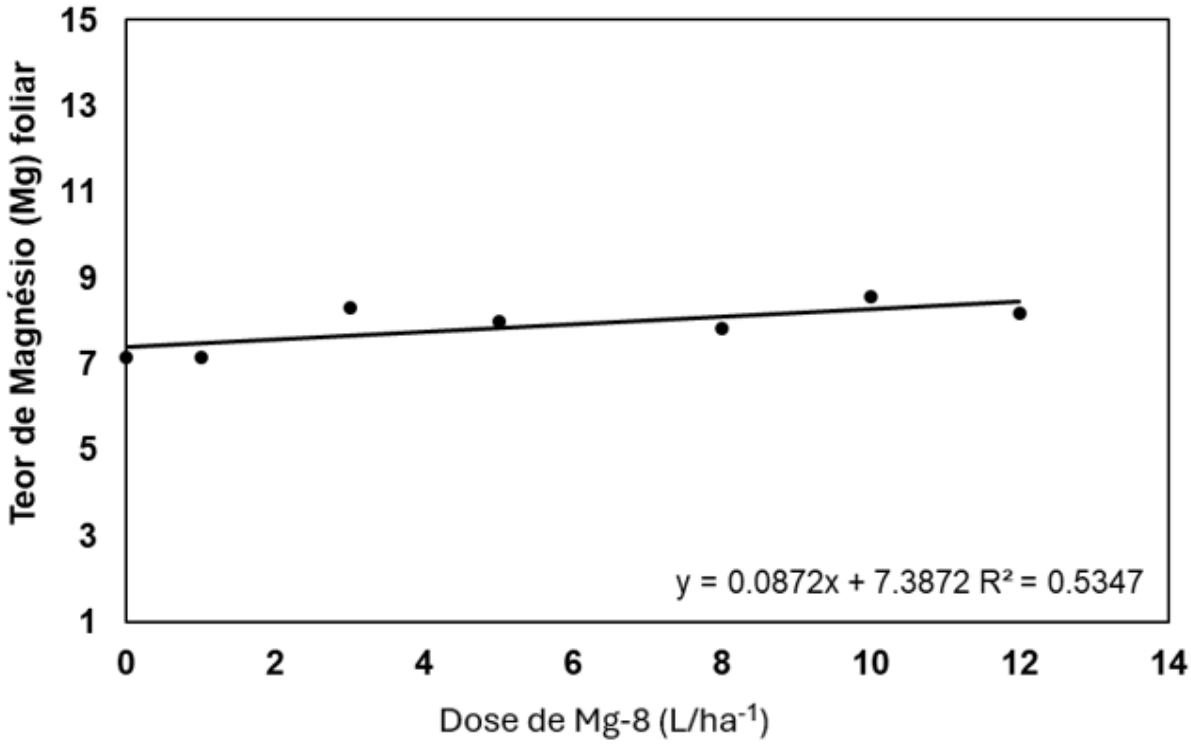
Figura 12 — Resultados do teor de magnésio (Mg) no grão, em relação a dose de magnésio aplicada na área Santa Rita do Trivelato-MT. *Relação entre o teor de magnésio (Mg) nos grãos e as diferentes doses de magnésio aplicadas na forma de Mag-8® (Ubyfol) *L/ha^{-1}= Litros por hectares.



Fonte: A autora.

O teor de Mg nas folhas (Figura 13) apresentou ajuste linear com aumento de 0,087 g de Mg por kg de massa seca de folhas, para cada 104 g de Mg por hectare adicionados.

Figura 13 — Resultados do teor de magnésio (Mg) na folha, em relação a dose de Mg aplicada na área de Santa Rita do Trivelato-MT. *Relação entre o teor de magnésio (Mg) nas folhas e as diferentes doses de magnésio aplicadas na forma de Mag-8® (Ubyfol) *L/ha´[1]= Litros por hectares.



Fonte: A autora.

Embora os teores de N nas folhas e nos grãos tenham apresentado efeito significativo para o teste F (Tabela 3), o ajuste da curva regressão de ambos os teores foi muito baixa.

7 DISCUSSÃO

O Mg é um nutriente essencial que desempenha diversas funções fundamentais no metabolismo das plantas (Tranckner; Jaghdani, 2019). A maioria dos estudos sobre a fertilização foliar com Mg foi conduzida sob condições controladas, com o propósito de avaliar como essa suplementação pode minimizar impactos de estresses ambientais (Gransee; Führs, 2013). No entanto, há uma escassez de pesquisas voltadas para investigar os efeitos da aplicação foliar de Mg na otimização da fotossíntese, no fortalecimento do sistema antioxidativo e no incremento da produtividade das culturas, mesmo quando os níveis de Mg no solo são considerados adequados para o desenvolvimento das plantas em condições de campo.

O stand de plantas não apresentou diferença significativa, o que sugere que as doses de magnésio aplicadas não influenciaram o desenvolvimento da população vegetal nas áreas de Lucas do Rio Verde e de Santa Rita do Trivelato, sendo em média de 149 e 168 plantas ha^{-1}, respectivamente. Essa constatação pode indicar que, dentro das concentrações testadas, o magnésio não é um fator limitante para o estabelecimento das plantas, ou que a adequação nutricional já estava atingida, minimizando o impacto das diferentes doses.

O mesmo ocorreu para Peso de Mil Sementes (PMS), que não apresentaram diferenças significativas para os tratamentos em nenhuma das duas localidades, sendo de 127 g em média para o experimento de Santa Rita do Trivelato, e de 162 g em média para o experimento de Lucas do Rio Verde. Isso sugere que as doses de magnésio aplicadas não tiveram influência relevante no peso dos grãos. Esses resultados são contrastantes com os obtidos por Rodrigues *et al*., (2021), que observaram aumento no peso de mil sementes ao aplicar Mag-8® em soja em dose equivalente a 500 g de Mg, similar a dose de 5 L ha^{-1} utilizada nos presentes experimentos. A diferença pode estar relacionada com as condições ambientais, as cultivares utilizadas ou com o estádio fenológico em que a planta se encontrava na época de aplicação do fertilizante, tendo sido aplicada em R4 por Rodrigues e colaboradores (2021), enquanto aplicamos no pleno florescimento em R2.

Na área de Lucas do Rio Verde, para as variáveis de número de vagens por planta (Figura 9), quantidade de vagens de um grão (Figura 10), vagens de dois grãos (Figura 11), vagens de três grãos (Figura 12) e vagens de quatro grãos (Figura 13), apresentam diferenças significativas. Já para a área de Santa Rita do Trivelato não

houve diferença significativa para essas variáveis. Rodrigues *et al*., (2021), observaram aumento no número de vagens ao aplicar Mag-8® em soja em dose equivalente a 500 g de Mg.

Na área de Lucas do Rio Verde, onde foram observadas diferenças significativas nas variáveis relacionadas ao número de vagens por planta (Figura 7), quantidade de vagens de um grão (Figura 8), vagens de dois grãos (Figura9), vagens de três grãos (Figura 10) e vagens de quatro grãos (Figura 11) de vagens, é possível observar que as doses de Mg desempenharam um papel importante na promoção do desenvolvimento das vagens. Os resultados observados em Santa Rita do Trivelato estão de acordo com os resultados observador por Vieira *et al*. (2022). Em pesquisa aplicando doses de sulfato de magnésio na cultura de soja, os autores não observaram efeito significativo nas variáveis peso de mil grãos, altura das plantas, número de vagens por planta e número de grãos por planta (Vieira *et al*., 2022).

A área de Santa Rita do Trivelato, não apresentou diferenças significativas, que sugere que as doses de magnésio aplicadas podem não ter sido suficientes para influenciar essas variáveis, ou que as condições do ambiente não favoreceram a resposta das plantas ao magnésio. Isso indica que, enquanto o magnésio pode ter um efeito positivo em determinadas condições, sua eficácia pode ser limitada por outros fatores. É importante ressaltar que os teores de Mg no solo nas duas áreas de estudo estavam nos níveis adequados de solo (Tabela 1).

A variável de peso de trifólios, não tiveram diferenças significativas em nenhuma das áreas experimentais, que sugere que as doses de magnésio aplicadas não tiveram impacto no acúmulo de carboidratos pelas folhas. Além disso, o teor de magnésio nos grãos apresentou diferença significativa apenas para o experimento realizado em Santa Rita do Trivelato (Figura 12).

Para o teor de nitrogênio (N) nos grãos, observamos diferença significativa na área de Lucas do Rio Verde. Já na área de Santa Rita do Trivelato, não houve diferença estatística. É importante ressaltar que as doses de magnésio utilizadas contêm 1% de nitrogênio, o que pode ter um impacto direto na absorção desse nutriente pelas plantas.

Não houve diferença significativa para a produtividade na área de Lucas do Rio Verde e Santa Rita do Trivelato, onde esse resultado pode ser atribuído a fatores como condições climáticas em relação a radiação solar que podem ter limitado a resposta das plantas à aplicação de magnésio. A radiação solar global média dos anos de 2010

a 2024 no período de outubro a março é de 19,6 MJ dia^{-1}. Já na safra 2023/24 a radiação solar global no período de outubro a março foi de 21,5 MJ dia^{-1}. A maior incidência de radiação indica uma safra com menor cobertura de nuvens, e a menor ocorrência das chuvas do tipo invernada (vários dias com chuva) (Figura 5).

De acordo com Altarugio *et al*. (2017), a aplicação de magnésio (Mg) por meio da aplicação foliar é uma solução eficaz para reduzir a deficiência desse nutriente nas culturas. Sendo assim a aplicação foliar de nutrientes pode ser uma estratégia vantajosa para aumentar a produtividade, servindo como um complemento à adubação de base, pois proporciona resultados em um curto espaço de tempo quando se é aplicada diretamente na área foliar.

Os resultados desta pesquisa destacam a influência das doses de magnésio nas características produtivas da soja, variando conforme as áreas de Lucas do Rio Verde e Santa Rita do Trivelato. Na área de Lucas do Rio Verde, observou-se que, embora variáveis como o número de vagens tenham mostrado diferenças significativas, a produtividade não se alterou de maneira estatisticamente relevante. O cultivo de soja ocorre durante as estações de primavera/verão, que em regiões tropicais correspondem aos meses de setembro a março. Embora esse período seja geralmente quente e chuvoso, na região do Mato Grosso, a ocorrência de baixa luminosidade por tempos nublados pode ocasionar menores taxas fotossintéticas, reduzindo o potencial produtivo das culturas. No entanto, não foi o que ocorreu nessa safra, que ao contrário apresentou boas condições de luminosidade. Isso sugere que fatores edáficos e/ou climáticos podem ter limitado a resposta das plantas ao magnésio, apontando para a complexidade das interações no sistema solo-planta.

A interação entre fatores ambientais e estratégias de manejo nutricional exerce influência direta sobre a produtividade das culturas, especialmente em regiões com condições climáticas variáveis, como é o caso do estado do Mato Grosso. No cultivo de soja nessa região, a variabilidade na radiação solar, ocasionada por cobertura de nuvens e regimes de precipitação, representa um desafio significativo para a maximização dos rendimentos. A presença de períodos com baixa radiação solar durante fases críticas do ciclo da cultura requer uma compreensão aprofundada de como essa limitação luminosa afeta a absorção e a utilização de nutrientes, particularmente o magnésio (Andrade *et al*., 2021; Pariz *et al*., 2016).

O magnésio é essencial para o processo fotossintético, pois integra o centro da molécula de clorofila e está diretamente relacionado à eficiência na captura da energia

luminosa e à síntese de carboidratos (Tränkner; Tavakol; Jákli, 2018). Esse nutriente também está envolvido no transporte de açúcares das folhas para os órgãos de reserva da planta, função que muitos agricultores buscam otimizar por meio da aplicação foliar de magnésio, mesmo em solos que já apresentam níveis adequados (Rodrigues *et al*., 2021).

Entretanto, estudos indicam que a eficácia dessas aplicações foliares pode depender das condições de luminosidade predominantes. Em situações de baixa radiação, os benefícios esperados da suplementação foliar podem não se manifestar, uma vez que a eficiência da absorção e do uso do magnésio está associada à atividade fotossintética da planta (Tränkner; Tavakol; Jákli, 2018; Yang *et al*., 2017). Essa condição pode justificar a ausência de resposta produtiva significativa em Lucas do Rio Verde, mesmo com doses crescentes de magnésio, sugerindo um efeito conjunto entre ambiente, cultivar e timing de aplicação.

Além disso, as análises revelaram que o teor de magnésio e nitrogênio nos grãos foi influenciado pelas doses aplicadas, evidenciando a importância da nutrição adequada para o desenvolvimento da cultura. Na maioria dos casos, é difícil alterar a concentração foliar de macronutrientes por meio da pulverização foliar (Moreira *et al*., 2017). Esse efeito deve ser menos perceptível em se tratando de condições de cultivo em que os níveis de magnésio no solo estão adequados, como no presente experimento. No entanto, mesmo com a ausência de efeito na nutrição vegetal, o fornecimento adicional de macronutrientes durante períodos de alta necessidade pelas plantas pode ter aumentado o metabolismo vegetal (Ahmad *et al*., 2018). Condições similares foram observadas por Rodrigues *et al*. (2021), que mesmo na ausência de níveis limitantes de Mg no solo e, consequentemente, com níveis adequados de Mg nas folhas de soja e milho, a aplicação adicional de Mg via pulverização foliar auxiliou as plantas a mitigarem esses efeitos deletérios, como os causados por estresse hídrico no caso dessa pesquisa.

8 CONCLUSÃO

As condições climáticas durante a pesquisa foram atípicas, não ocorrendo a baixa incidência de radiação solar esperadas para essa época na região, o que impediu o teste da hipótese.

Assim, nessas condições, a aplicação de foliar de magnésio em solos com teores adequados de magnésio não resultou em aumento de produtividade.

Embora não tenha sido possível definir uma dose ideal para a aplicação foliar de magnésio, não foram observados efeitos deletérios em nenhuma das doses aplicadas.

Novos estudos deverão ser realizados com doses maiores e em condições típicas de baixa incidência de radiação do Mato Grosso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, T. R. T. **Papel fisiológico do magnésio no metabolismo de ureídeos em soja cultivada em cerrado de alta altitude.** 2021. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2021. DOI: 10.14393/ufu.di. 2019.2074

AHMAD, Z.; WARAIACH, E. A.; AKHTAR, S.; ANJUM, S.; AHMAD, T.; MAHBOOB, W.; HAFEEZ, O. B. A.; TAPERA, T.; LABUSCHAGNE, M.; RIZWAN, M. Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 40, n. 80, p. 1–13, 2018. DOI: https://doi.org/10.1007/s11738-018-2651-6

ALTARUGIO, L. M.; LOMAN, M. H.; NIRSCHL, M. G.; SILVANO, R. G.; ZAVASCHI, E.; CARNEIRO, L. S.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C.; OTTO, R. Yield performance of soybean and corn subjected to magnesium foliar spray. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 12, p. 1185–1191, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017001200007.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

CARNEIRO, L. M. S. **Fontes e doses de magnésio nas culturas da soja e milho**. 2019. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2019. DOI http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.2074.

CATTELAN, A. J.; DALL'AGNOL, A. The rapid soybean growth in Brazil. **OCL**, v. 25, n. 1, p. D102, 2018. DOI: 10.1051/ocl/2017058.

CHAVARRIA, G.; CAVERZAN, A.; MÜLLER, M.; RAKOCEVIC, M. Soybean architecture plants: from solar radiation interception to crop protection. *In*: KASAI, M. (ed.). **Soybean**: the basis of yield, biomass and productivity. London: InTech, 2017. DOI: 10.5772/67150.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. *In*: SPARKS, D. L. (ed.). **Advances in agronomy**. San Diego: Academic Press, 2008. v. 99, p. 345–399. DOI: https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)00407-0.

FAGERIA, N. K.; NASCENTE, A. S. Management of soil acidity of South American soils for sustainable crop production. *In*: SPARKS, D. L. (ed.). **Advances in agronomy**. San Diego: Academic Press, 2014. v. 128, p. 221–275. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802139-2.00006-8.

FAO. **World reference base for soil resources 2006**: a framework for international classification, correlation and communication. Roma: FAO, 2006.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Iowa: Iowa State University Cooperative Extension Service, 1977.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia,** v. 35, p. 1039-1042, 2011. DOI: 10.1590/S1413-70542011000600001.

GERENDÁS, J.; FÜHRS, H. The significance of magnesium for crop quality. **Plant and Soil**, v. 368, p. 101–128, 2013. DOI: https://doi.org/10.1007/s11104-012-1555-2.

GRANSEE, A.; FÜHRS, H. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. **Plant and Soil**, v. 368, p. 5–21, 2013. DOI: https://doi.org/10.1007/s11104-012-1567-y.

HELLAL, F. A.; ABDELHAMID, M. T. Nutrient management practices for enhancing soybean (Glycine max L.) production. **Acta Biológica Colombiana**, v. 18, n. 2, p. 239–250, 2013.

IBGE. **Estado de Mato Grosso**: pedologia (mapa exploratório de solos). Escala 1:1.500.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. A career perspective on soil management in the Cerrado region of Brazil. *In*: SPARKS, D. L. (ed.). **Advances in Agronomy**. San Diego: Academic Press, 2016a. v. 137, cap. 1, p. 1–72. DOI: 10.1016/bs.agron.2015.12.004.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R.G. **Interpretação de análises de solos**: conceitos e aplicações. São Paulo: ANDA, 2016b.

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

MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C.; SCHROTH, G.; BECKER, F. J.; MANDARINO, J. M. G. Soybean yield and nutritional status response to nitrogen sources and rates of foliar fertilization. **Agronomy Journal**, v. 109, p. 629–635, 2017. DOI: https://doi.org/10.2134/agronj2016.04.0199.

NUTRIFERTIL AGRÍCOLA. **Magnésio foliar**: benefícios, aplicações e melhores práticas. 2024. Disponível em: https://nutrifertilagricola.com.br/blog/2024/07/21/magnesio-foliar-beneficios-aplicacoes-e-melhores-praticas/. Acesso em: 14/01/2025.

PARIZ, Cristiano M.; COSTA, Carlos; CRUSCIOL, Carlos A. C.; MEIRELLES, Paulo R. L.; CASTILHOS, André M.; ANDREOTTI, Marcelo; COSTA, Nídia R.; MARTELLO, João M.; SOUZA, Débora M.; SARTO, João R. W.; FRANZLUEBBERS, Andreas J. **Production and soil responses to intercropping of forage grasses with corn and soybean silage. Agronomy Journal**, v. 108, n. 6, p. 2541–2553, 2016. DOI: 10.2134/agronj2016.02.0082.

REENBERG, A.; FENGER, N. A. Globalizing land use transitions: the soybean acceleration. **Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography**, v. 111, p. 85–92, 2011. DOI: https://doi.org/10.1080/00167223.2011.10669524.

RODRIGUES, V. A.; CRUSCIOL, C. A. C.; BOSSOLANI, J. W.; MORETTI, L. G.; PORTUGAL, J. R.; MUNDT, T. T.; OLIVEIRA, S. L.; GARCIA, A.; CALONEGO, J. C.; LOLLATO, R. P. Magnesium foliar supplementation increases grain yield of soybean and maize by improving photosynthetic carbon metabolism and antioxidant metabolism. **Plants**, v. 10, n. 4, p. 797, 2021. DOI: 10.3390/plants10040797.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, T. G.; BATTISTI, R.; CASAROLI, D.; ALVES JR., J.; EVANGELISTA, A. W. P. Assessment of agricultural efficiency and yield gap for soybean in the Brazilian Central Cerrado biome. **Bragantia**, v. 80, e1821, 2021. DOI: 10.1590/1678-4499.20200352.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **The Journal of Agricultural Science**, v. 153, p. 1394–1411, 2015. DOI: 10.1017/S0021859615000313.

SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. C. (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17). Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1123928. Acesso em: 28/03/2024.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil taxonomy**: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington, D.C: U.S. Department of Agriculture Handbook: Natural Resources Conservation Service, 1999.

SHAUL, O. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. **Biometals**, v. 15, p. 307–321, 2002. DOI: 10.1023/A:1016091118585.

SILVA, D. J.; FAQUIN, V.; ANDRADE, A. T. **Recomendação e aplicação de nutrientes via foliar**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2015. Disponível em: https://dcs.ufla.br/images/imagens_dcs/pdf/Prof_Faquin/Recomendacao%20e%20aplicacao%20de%20nutrientes%20VIA%20FOLIAR%20Parte%201%20.pdf. Acesso em: 21/08/2024.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2004.

TEKLIĆ, T.; VRATARIĆ, M.; SUDARIĆ, A.; KOVAČEVIĆ, V.; VUKADINOVIĆ, V.; BERTIĆ, B. Relationships among chloroplast pigments concentration and chlorophyllmeter readings in soybean under influence of foliar magnesium

application. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 40, n. 1-6, p. 706–725, 2009. DOI: 10.1080/00103620802697939.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (ed.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

TRÄNKNER, M.; JAGHDANI, S. J. Minimum magnesium concentrations for photosynthetic efficiency in wheat and sunflower seedlings. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 144, p. 234–243, nov. 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.09.040.

TRÄNKNER, M.; TAVAKOL, E.; JÁKLI, B. Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. **Physiologia Plantarum**, v. 163, n. 3, p. 414–431, 2018. DOI: 10.1111/ppl.12747.

USDA. **Soybean explorer**. 2023. Disponível em: https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=222200. Acesso em: 29 nov. 2023.

VIEIRA, I. D.; BOLDRIN, P. F.; SOARES, E. V. C.; SILVA, G. A.; OLIVEIRA, M. B.; SANTOS, G. B. Aplicação foliar de sulfato de magnésio em soja. *In*: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE RIO VERDE – CICURV, 2022, Rio Verde. **Anais** [...]. Rio Verde: Universidade de Rio Verde, 2022. Disponível em: http://revistas.unirv.edu.br/index.php/cicurv/article/view/187/71. Acesso em 22/05/2024.

VRATARIĆ, M.; SUDARIĆ, A.; KOVAČEVIĆ, V.; DUVNJAK, T.; KRIŽMANIĆ, M.; MIJIĆ, A. Response of soybean to foliar fertilization with magnesium sulfate (Epsom salt). **Cereal Research Communications**, v. 34, n. 1, p. 709–712, 2006. DOI: 10.1556/CRC.34.2006.1.177.

WANG, Z.; HASSAN, M. U.; NADEEM, F.; WU, L.; ZHANG, F.; LI, X. Magnesium fertilization improves crop yield in most production systems: a meta-analysis. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1727, 2020. DOI: 10.3389/fpls.2019.01727.

WINCK, J. E. M.; TAGLIAPIETRA, E. L.; SCHNEIDER, R. A.; INKLMAN, V. B.; NORA, M. D.; SAVEGNAGO, C.; PAULA, L. S.; SILVA, M. R.; ZANON, A. J.; STRECK, N. A. Decomposition of yield gap of soybean in environment × genetics × management in Southern Brazil. **European Journal of Agronomy**, v. 145, p. 126795, 2023. DOI: 10.1016/j.eja.2023.126795.

YANG, Z.; WANG, Y.; ZHANG, J. Critical leaf magnesium thresholds and the impact of magnesium on plant growth and photo-oxidative defense: a systematic review and meta-analysis from 70 years of research. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1–16, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01747. Acesso em: 28 jan. 2025.