



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO MESQUITA FILHO”

ISABELLA CAROLINE MACIEL

**DOSES DE MAGNÉSIO VIA SOLO COM OU SEM ADUBAÇÃO FOLIAR COMPLEMENTAR
COM MAGNÉSIO NA CULTURA DA SOJA**

Ilha Solteira- SP
2024

ISABELLA CAROLINE MACIEL

**DOSES DE MAGNÉSIO VIA SOLO COM OU SEM ADUBAÇÃO FOLIAR COMPLEMENTAR
COM MAGNÉSIO NA CULTURA DA SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo Minhoto Carvalho Teixeira Filho

Coorientador(a): Guilherme Carlos Fernandes

Ilha Solteira - SP
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Maciel, Isabella Caroline.

M152d Doses de magnésio via solo com ou sem adubação foliar complementar com magnésio na cultura da soja / Isabella Caroline Maciel. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024

35 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2024

Orientador: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Coorientador: Guilherme Carlos Fernandes

Inclui bibliografia

1. Glycine max L.. 2. Kieserita. 3. Magnésio heptahidratado. 4. Produtividade de grãos.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA

ATA DA DEFESA – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: Doses de magnésio via solo com ou sem adubação foliar complementar com magnésio na cultura da soja

ALUNO: *Isabella Caroline Maciel* RA: 201 053 731

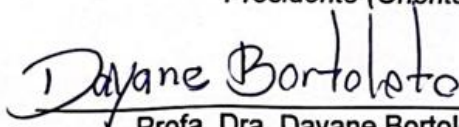
ORIENTADOR: Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho

Aprovado - Reprovado () pela Comissão Examinadora com Nota: 9,0

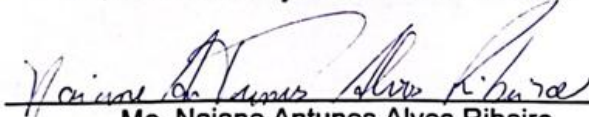
Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
Presidente (Orientador)



Profa. Dra. Dayane Bortoloto da Silva



Me. Naiane Antunes Alves Ribeiro



Isabella Caroline Maciel

Ilha Solteira, 13 de dezembro de 2024.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa contribui para avanços científicos e técnicos ao aprofundar o conhecimento sobre o manejo nutricional da soja, especialmente no uso do magnésio para melhorar a produtividade e a qualidade dos grãos. No campo econômico, propõe práticas que aumentam a eficiência do uso de insumos, reduzindo custos e ampliando a rentabilidade para os produtores, com aplicabilidade local, regional e nacional.

Além disso, promove a inovação e a sustentabilidade, recomendando métodos que diminuam os impactos ambientais e aumentem a resiliência às mudanças climáticas. No âmbito social e educacional, os resultados fortalecem a capacitação de agricultores e técnicos, gerando impacto positivo na segurança alimentar e na geração de empregos.

Por fim, a pesquisa reforça a posição internacional do Brasil como líder na produção de soja e contribui para a sustentabilidade, alinhando-se aos objetivos de desenvolvimento sustentável.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research contributes to scientific and technical advancements by deepening knowledge on soybean nutritional management, particularly the use of magnesium to improve grain productivity and quality. Economically, it proposes practices that enhance input efficiency, reducing costs and increasing profitability for producers, with applicability at local, regional, and national

Furthermore, it promotes innovation and sustainability by suggesting methods that reduce environmental impacts and increase resilience to climate change. Socially and educationally, the results strengthen the training of farmers and technicians, generating positive impacts on food security and j

Finally, the research reinforces Brazil's international position as a leader in soybean production and contributes to sustainability by aligning with the sustainable.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, fonte de força e inspiração, que me guia em cada desafio.

Aos meus pais, Gilberto e Sueli, pelo amor incondicional e lições de perseverança.

À minha irmã, Amanda, ao meu irmão, Gilberto, e ao meu namorado, Arthur, pelo apoio e carinho constante.

Agradecimentos à UNESP-Ilha Solteira, ao Prof. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho pela orientação exemplar, ao técnico Marcelo Rinaldi e à equipe do grupo Nutrição de Plantas pelo suporte inestimável.

Também sou grata ao coorientador Guilherme Fernandes, por todos os ensinamentos, e aos amigos que percorreram essa jornada e fizeram ela ser mais leve e significativa.

Reconheço com gratidão à PIBIC, pela concessão da bolsa de pesquisa.

Minha profunda gratidão a todos que contribuíram para esta conquista.

“As universidades serão o que são suas bibliotecas”
(Gelfand, 1968, p. 19, tradução nossa).

RESUMO

O magnésio (Mg) é frequentemente esquecido ou aplicado em sub doses nas práticas de adubação. Acredita-se que a adubação com Mg via solo, com a complementação foliar, pode ser uma alternativa em busca do aumento de produtividade das culturas da soja cultivada em sequeiro, visto que o magnésio é essencial para o metabolismo e fotossíntese das plantas. Assim com o aumento da concentração desse nutriente na planta, à expectativa de uma maior taxa fotossintética, uma maior produção de açúcares totais e uma melhor assimilação de nitrogênio sejam convertidos em uma maior produtividade de grãos. Sendo assim, o objetivo foi avaliar o efeito da aplicação de doses de sulfato de magnésio via solo, com ou sem adubação foliar complementar com Mg, no estado nutricional, acúmulos de matéria seca e nutrientes, componentes produtivos e produtividade da soja em solo de textura argilosa em condições de sequeiro. O experimento de soja foi desenvolvido no município de Selvíria- MS em um LATOSSO VERMELHO Distrófico de textura argilosa. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições e em esquema fatorial 5x2, sendo 5 doses de magnésio (0, 15, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹) na forma de sulfato de magnésio monohidratado (Kieserita) aplicada à lanço (sem incorporação ao solo) na ocasião de semeadura da soja; com ou sem complementação foliar de 600 g ha⁻¹ de magnésio na forma de sulfato de magnésio heptahidratado no estádio R1 na soja. Foram avaliados os atributos químicos do solo, índice de clorofila foliar (ICF), teor de macronutrientes (nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S)) na folha diagnose, acúmulo dos macronutrientes na parte aérea no florescimento pleno, nos grãos e palhada, além dos componentes produtivos e produtividade da cultura da soja. Os dados obtidos foram submetidos nos testes preliminares de normalidade e homoscedasticidade. Após isto os resultados foram analisados pelo teste de variância (Teste F), e teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação das médias da adubação foliar e ajustadas as equações de regressão para o efeito das doses de Mg aplicadas no solo. As análises estatísticas foram processadas utilizando-se o programa computacional SISVAR e os gráficos plotados com o auxílio do software SigmaPlot 12.5. Os fatores doses de Mg e aplicação foliar do Mg heptahidratado de forma isolada influenciaram positivamente os parâmetros avaliados. A aplicação foliar propiciou resultados superiores ao tratamento controle para os teores de P e K na folha diagnose, para os acúmulos de N, K e Ca na parte aérea, os acúmulos de P, K, Ca, Mg e S nos grãos, acúmulo de todos os macronutrientes na palhada, além de beneficiar o número de grãos por vagem e massa de 100 grãos. As doses de Mg via solo sem incorporação, promoveram para os parâmetros um ajuste a função quadrática com ponto de máxima das doses de 40 a 45 kg ha⁻¹ de Mg. Assim, recomenda-se a aplicação de Mg via solo, com a aplicação complementar via foliar, buscando um aumento na produtividade e uma melhor qualidade nutricional da cultura e consequentemente dos grãos.

Palavras- chave: *Glycine max* L.; Kieserita; Magnésio heptahidratado; produtividade de grãos.

ABSTRACT

Magnesium (Mg) is often overlooked or applied in suboptimal doses in fertilization practices. It is believed that soil application of Mg, combined with foliar supplementation, can be an effective strategy to enhance the productivity of rainfed soybean crops, as magnesium is essential for plant metabolism and photosynthesis. An increase in the concentration of this nutrient in plants is expected to enhance the photosynthetic rate, total sugar production, and nitrogen assimilation, ultimately leading to higher grain yields. The objective of this study was to evaluate the effect of magnesium sulfate doses applied to the soil, with or without complementary foliar fertilization, on the nutritional status, dry matter and nutrient accumulation, yield components, and productivity of soybeans grown on clayey soil under rainfed conditions. The soybean experiment was conducted in Selvíria, Mato Grosso do Sul, on a clay-textured Dystrophic RED Oxisol. The experimental design was a randomized block with four replications in a 5x2 factorial scheme, consisting of five magnesium doses (0, 15, 30, 60, and 90 mg ha⁻¹) in the form of monohydrated magnesium sulfate (Kieserite) broadcast-applied (without soil incorporation) at planting, with or without a foliar supplementation of 600 g ha⁻¹ magnesium as heptahydrated magnesium sulfate applied at the R1 soybean growth stage. Soil chemical attributes, leaf chlorophyll content (LCC), macronutrient levels (nitrogen (N), phosphorus (P), calcium (Ca), magnesium (Mg), and sulfur (S)) in diagnostic leaves, macronutrient accumulation in the aerial parts at full flowering, grains, and crop residues were evaluated, as well as yield components and overall soybean productivity. The data obtained were subjected to preliminary tests for normality and homoscedasticity. Subsequently, the results were analyzed using variance analysis (F-test) and Tukey's test ($p < 0.05$) for comparing the means of foliar fertilization. Regression equations were adjusted to assess the effects of Mg doses applied to the soil. Statistical analyses were performed using the SISVAR software, and the graphs were plotted with the assistance of SigmaPlot 12.5 software. Both the magnesium doses and foliar application of heptahydrated magnesium positively influenced the parameters evaluated. Foliar application provided superior results compared to the control treatment, particularly for phosphorus and potassium levels in diagnostic leaves, nitrogen, potassium, and calcium accumulation in the aerial parts, and P, K, Ca, Mg, and S accumulation in the grains and crop residues. It also increased the number of grains per pod and the mass of 100 grains. The soil-applied magnesium doses, without incorporation, followed a quadratic response curve, with the optimal dose range identified between 40 and 45 kg ha⁻¹ of magnesium. Therefore, soil application of magnesium, with or without complementary foliar fertilization, is recommended to enhance productivity and improve the nutritional quality of the soybean crop and its grains.

Keywords: *Glycine max* L.; Kieserite; Heptahydrated magnesium; Grain productivity.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Caracterização química inicial do solo na área experimental antes da instalação do experimento, na camada de 0,00–0,20 m.....	19
Tabela 2- Atributos químicos do solo após a colheita da cultura da soja na camada de 0,00-0,20 m em função das doses de Mg e adubação foliar com sulfato de magnésio heptahidratado. Selvíria, MS.....	22
Tabela 3- Desdobramento de adubação foliar dentro de doses de Mg para P-resina, Matéria Orgânica E cálcio no solo, após o cultivo da soja. Selvíria, MS	23
Tabela 4 – Índice de clorofila foliar (ICF) e concentração de macronutrientes na folha diagnose da soja em função das doses de Mg e adubação foliar com sulfato de magnésio heptahidratado. Selvíria, MS.....	25
Tabela 5 – Massa seca da parte aérea (MS P.A), acúmulo de macronutrientes na parte aérea da soja em função das doses de Mg e adubação foliar com sulfato de magnésio heptahidratado. Selvíria, MS.....	26
Tabela 6 – Altura de plantas (ALT), número de vagens por planta, número de grãos por vagem, número de grãos por planta, massa de 100 grãos, produtividade de palhada e produtividade de grãos de soja, função das doses de Mg e adubação foliar com Sulfato de magnésio heptahidratado, Selvíria-MS.....	29
Tabela 7 – Acúmulo de macronutrientes nos grãos de soja, função das doses de Mg e adubação foliar com sulfato de magnésio heptahidratado. Selvíria, MS.....	32
Tabela 8 – Acúmulo de macronutrientes na palhada de soja, função das doses de Mg e adubação foliar com sulfato de magnésio heptahidratado. Selviria, MS.....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Precipitação pluvial e temperaturas máxima, média e mínima registradas durante o experimento, no período de novembro de 2022 a março de 2023, em Selvíria - MS. Fonte: A autora	18
Figura 2 – Desdobramento da interação de doses de Mg dentro da adubação foliar, para A) K no solo; B) Mg no solo e C) S no solo da soja. Selvíria, MS.	24
Figura 3 - Efeito de doses de Mg no índice de clorofila foliar (ICF) da soja. Selvíria, MS.....	26
Figura 4 - Efeito de doses de Mg na A) Massa seca parte aérea; B) Acúmulo de nitrogênio na P.A; C) Acúmulo de fósforo P.A, no florescimento da soja. Selvíria, MS.....	27
Figura 5 - Efeito de doses de Mg no A) Acúmulo de potássio na P.A; B) Acúmulo de cálcio na P.A; C) Acúmulo de magnésio na P.A, no florescimento da soja. Selvíria, MS.	27
Figura 6 – Desdobramento da interação de doses de Mg dentro da adubação foliar, para acúmulo de enxofre na P.A, no florescimento da soja. Selvíria, MS.	28
Figura 7 - Efeito de doses de Mg no A) Número de grãos por planta; B) Número de vagens por planta; C) Massa de 100 grãos (g) de soja. Selvíria, MS.....	30
Figura 8 - Efeito de doses de Mg no A) Produção de palhada; B) Produtividade de grãos de soja. Selvíria, MS.....	31
Figura 9 - Efeito de doses de Mg no A) Acúmulo de fósforo nos grãos; B) Acúmulo de potássio nos grãos; C) Acúmulo de cálcio nos grãos de soja. Selvíria, MS.....	33
Figura 10 - Efeito de doses de Mg no A) Acúmulo de magnésio nos grãos; B) Acúmulo de enxofre nos grãos de soja. Selvíria-MS	33
Figura 11 - Efeito de doses de Mg no A) Acúmulo de magnésio nos grãos; B) Acúmulo de enxofre nos grãos de soja. Selvíria-MS.....	35
Figura 12 - Efeito de doses de Mg no A) Acúmulo de cálcio na palhada; B) Acúmulo de magnésio na palhada; C) Acúmulo de enxofre na palhada de soja. Selvíria, MS.	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. CULTURA DA SOJA E SUA IMPORTÂNCIA	15
2.2. O MAGNÉSIO NA CULTURA	17
2.3. ADUBAÇÃO FOLIAR.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1. LOCALIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL E HISTÓRICO DE MANEJO.....	18
3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS UTILIZADOS.....	19
3.3. INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	20
3.4. AVALIAÇÕES REALIZADAS	20
3.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1. ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	21
4.2. ÍNDICE DE CLOROFILA FOLIAR (ICF) E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA FOLHA DIAGNOSE DA SOJA	24
4.3. ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES E MASSA SECA DE PARTE AÉREA NO FLORESCIMENTO DA SOJA	26
4.4. ALTURA DE PLANTAS, COMPONENTES PRODUTIVOS, PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E PALHADA.....	29
4.5. ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES NOS GRÃOS DE SOJA	31
6. CONCLUSÕES	36
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*), originária do continente asiático, é uma das principais culturas oleaginosas do mundo, amplamente produzida e consumida (Mengistu *et al.*, 2018). Em 2021/2022, a produção mundial atingiu 352 milhões de toneladas, um aumento de cerca de 2,6 milhões de toneladas em relação à safra anterior, com o Brasil e os Estados Unidos como os maiores produtores (USDA, 2022). No Brasil, a produção atingiu 126 milhões de toneladas em 2021/22, com aumento de aproximadamente 18% para 2022/23, podendo chegar a 149 milhões de toneladas. Cerca de 52 milhões de toneladas foram destinadas ao consumo interno nas duas temporadas (USDA, 2022). Em 2022/2023, a produção mundial de soja atingiu 378,37 milhões de toneladas, com o Brasil e os Estados Unidos como os maiores produtores (USDA, 2023).

Nas últimas décadas, o Brasil evoluiu de importador para um dos maiores exportadores de alimentos globalmente. Na safra de 2021/2022, foram exportadas 85,2 milhões de toneladas no período de julho de 2021 a junho de 2022. Este avanço na colheita brasileira compensou as menores ofertas dos Estados Unidos e da Argentina, garantindo uma produção global recorde na safra 2022/23, de 374,39 milhões de toneladas (USDA, 2023). (arrumar dados de produção)

Para obter altas produtividades e atender à crescente demanda por alimentos, é essencial satisfazer todas as exigências da cultura, mediante a adoção de diversos métodos de aplicação de fertilizantes que integrem aspectos operacionais, econômicos e agrônômicos de maneira apropriada. O manejo da adubação exerce influência direta sobre as interações entre o fertilizante e o solo, bem como sobre a nutrição e os processos fisiológicos das plantas (Fiorin, 2016; Schroder *et al.*, 2019). O crescimento e a produtividade das culturas sofrem consideravelmente com a carência de magnésio (Mg) em regiões de intensa atividade agrícola (Römheld; Kirby, 2007).

O método predominante para suprir essa necessidade é a calagem, porém, muitas vezes, sua aplicação não é suficiente para atender às demandas consecutivas de produção, resultando em desequilíbrios de magnésio no solo. A absorção de Mg pelas plantas é prejudicada em solos excessivamente ácidos, com altos teores de alumínio ou manganês, salinos e com baixa disponibilidade hídrica, o que agrava ainda mais a carência de magnésio para culturas como a soja (Mengel; Kirby, 2001; Lynch; Clair, 2004; Gransee; Führs, 2013). Além disso, doses elevadas de fertilizantes potássicos ou aplicação de gesso agrícola podem induzir à deficiência de Mg nas plantas, devido ao desequilíbrio na relação entre as bases trocáveis no solo. Estudos recentes indicam que altos teores de potássio no solo podem inibir a absorção de Mg resultando em deficiências deste nutriente nas plantas. Esta interação antagonista entre potássio e magnésio está bem documentada e pode ocorrer quando o potássio é aplicado em excesso (Ut Crops News, 2023). No contexto das leguminosas, esta deficiência é observada principalmente em condições de solo ácido e altos teores de potássio, o que compromete a produtividade e a qualidade da produção (Crop Science Us, 2023).

Uma alternativa viável consiste na adubação utilizando diferentes fontes de Mg e na complementação por meio de adubação foliar, estratégia que tem se mostrado relevante não apenas para a correção nutricional, mas também para o aumento da produção vegetal em leguminosas como a soja, mesmo na ausência de deficiências nutricionais aparentes (Marschner, 2012). A adubação foliar desempenha um papel suplementar, pois a aplicação de pequenas doses do nutriente em estágios fenológicos específicos pode estimular o metabolismo do carbono, contribuindo para uma maior tolerância ao estresse causado pelo déficit hídrico (Hussain *et al.*, 2021; Rodrigues *et al.*, 2021).

O Mg desempenha um papel crucial, agindo como cofator em enzimas do metabolismo energético e na molécula de clorofila, influenciando processos fundamentais como a fotossíntese, glicólise e via das pentoses fosfato na ativação de enzimas, além de participar da fosforilação e translocação de fotoassimilados, impactando diretamente na formação e produtividade dos grãos. A aplicação foliar deste nutriente surge como uma estratégia promissora para aumentar a absorção de magnésio pela planta e potencializar os componentes produtivos. A suplementação via foliar na cultura da soja é vista como uma medida capaz de impulsionar a produtividade (Taiz; Zeiger, 2013; Maia *et al.*, 2015; Guha; Rao, 2012).

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da aplicação de doses de Mg via solo, com ou sem adubação foliar complementar com Mg no estado nutricional, acúmulos de matéria seca e nutrientes, parâmetros fisiológicos, componentes produtivos e produtividade da soja.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CULTURA DA SOJA E SUA IMPORTÂNCIA

A soja (*Glycine max*), pertencente à família Fabaceae, destaca-se como a leguminosa mais importante cultivada globalmente, tanto em termos econômicos quanto nutricionais (Câmara, 2006). O grão de soja possui ampla utilização na alimentação humana, destacando-se por sua variedade de subprodutos, como óleos, margarinas, gordura vegetal, maionese, chocolates, temperos prontos, massas, leite, sucos, entre outros. Além disso, são relatadas propriedades antioxidantes que promovem o aumento da massa magra e retardam o envelhecimento (Vidor *et al.*, 2014).

Originária da China, a soja foi cultivada pela primeira vez no Brasil em 1882 por Gustavo D'Utra, no estado da Bahia, porém sem muito sucesso devido à adaptação inadequada do material genético às condições climáticas locais. Somente em 1891, cultivares de soja foram introduzidas em São Paulo e avaliadas no IAC - Instituto Agrônomo de Campinas, obtendo desempenho satisfatório anos mais tarde, especialmente entre as décadas de 1920 e 1940 nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná, devido às condições climáticas mais favoráveis (Gazzoni, 2018).

A partir da década de 1960, o Ministério da Agricultura iniciou diversos investimentos em pesquisas visando aumentar a produtividade agrícola no país. Em parceria com o Instituto de Planejamento Econômico e Social (Ipea), o Instituto de Planejamento (Iplan) e a Secretaria da Agricultura do estado de Minas Gerais, estudaram o potencial de aproveitamento do Cerrado, promovendo o cultivo de grandes culturas nessa região, incluindo a expansão significativa da soja para o Centro-Oeste. Com as mudanças socioeconômicas desde 2010, outras regiões de grande potencial produtivo foram reveladas, como a MATOPIBA, abrangendo os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (INOUE, 2019).

No cenário global, a cultura da soja assume o papel de principal oleaginosa produzida e consumida. O crescimento dessa cultura ao longo do tempo tem se mostrado cada vez mais significativo, especialmente devido à sua cadeia produtiva, o que impulsionou uma modernização em toda a agricultura nacional. Esse processo de reestruturação resultou em uma maior contribuição da soja para a economia brasileira, desempenhando um papel essencial no aumento do emprego, renda e nas exportações (Silva; Lima; Batista 2011).

Do total da produção de soja durante a safra, 93% são destinados ao processamento do complexo soja, enquanto os 7% restantes são direcionados para o desenvolvimento de outros produtos, como cosméticos, indústria farmacêutica, adubos, entre outros. O complexo soja é uma das principais commodities mundiais, composto por grãos, farelo e óleos de soja. Os grãos são utilizados não apenas na alimentação humana, mas também como matéria-prima na produção de óleos e farelos. Os óleos de soja têm uma participação significativa na produção de biodiesel, medicamentos e diversos produtos de cozinha, como óleo, sorvete e margarina, enquanto os farelos desempenham um papel fundamental na nutrição animal, especialmente em rações, além de serem utilizados em produtos não alimentícios (INOUE, 2019).

No mercado internacional, a participação brasileira como principal exportador mundial de soja é de extrema importância (Missão, 2006). Durante o ano agrícola de 2021/22, aproximadamente 65% da produção foi destinada à exportação. Durante o período entre julho de 2021 e junho de 2022, cerca de 82,2 milhões de toneladas foram embarcadas nos portos brasileiros (USDA, 2022). Esta planta é capaz de fixar nitrogênio atmosférico, um processo que ocorre através de uma simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* presentes em suas raízes. Essa interação simbiótica é fundamental para o fornecimento de nitrogênio necessário ao crescimento da soja (Graham & Vance, 2003). Além do nitrogênio, a soja necessita de um manejo nutricional abrangente para maximizar seu potencial produtivo. Entre os diversos nutrientes essenciais, o magnésio se destaca devido às suas múltiplas funções fisiológicas e bioquímicas. Este macronutriente é vital não só para a fotossíntese, através de sua presença na clorofila, mas também para a ativação enzimática e a síntese de proteínas (Marschner, 2012). O Mg desempenha ainda um papel crucial na estabilidade dos ribossomos e na regulação do equilíbrio iônico da planta (White & Broadley, 2003)

2.2. O MAGNÉSIO NA CULTURA

O Mg é considerado um macronutriente secundário, classificado como um elemento catiônico, e é absorvido pelas plantas na forma de Mg^{+2} . A maior parte do Magnésio está concentrada nas folhas, onde desempenha um papel essencial na composição da clorofila. As clorofilas são compostas por porfirinas magnesianas, sendo que o magnésio corresponde a 2,7% do peso molecular e 10% do teor total de magnésio presente nas folhas.

A fase de crescimento da cultura exerce influência direta na taxa de absorção de nutrientes via foliar, pois as necessidades das plantas variam ao longo do seu desenvolvimento. Essa fase abrange desde o estágio vegetativo V2 até a R5, sendo que a absorção de nutrientes aumenta durante a fase de floração e o início do enchimento dos grãos. Paralelamente à taxa de absorção, a taxa de translocação também aumenta à medida que a planta se desenvolve (Staut, 2007). Em um estudo conduzido por Galbardi e Simonetti (2019), constatou-se que a adubação foliar, realizada de acordo os estádios fenológicos da soja, resultou em aumento da produtividade devido ao incremento na biomassa vegetal, na concentração de clorofila e na taxa fotossintética.

O Mg é reconhecido como um elemento essencial devido ao seu papel como cofator em enzimas do metabolismo energético e na formação da molécula de clorofila (Taiz; Zeiger, 2013). Além disso, desempenha funções importantes na fotossíntese e em outros processos metabólicos, como a glicólise e a via das pentoses fosfato (Maia et al., 2015; Guha; Rao, 2012), na ativação de enzimas, incluindo a glutatona síntese e a PEP carboxilase, e na fosforilação e translocação de fotoassimilados, influenciando assim a formação e produção de grãos. No entanto, há poucos estudos que avaliaram os efeitos da adubação foliar complementar de magnésio na qualidade e produtividade das culturas, apesar de ser reconhecido o papel fundamental deste nutriente nas plantas e dos crescentes casos de deficiência observados no campo, o que representa mais um desafio para alcançar altas produtividade.

A deficiência de Mg geralmente resulta em desequilíbrios nos processos fotossintéticos, respiratórios e em algumas reações de síntese de compostos orgânicos (Malavolta, 2006). O sintoma comum da deficiência de Mg nas plantas é a clorose, que se manifesta como um amarelamento entre as nervuras foliares. Em casos mais severos de deficiência, pode ocorrer a formação de um padrão de "V" invertido em relação ao pecíolo, sendo que este sintoma tende a surgir primeiramente nas folhas mais antigas devido à alta mobilidade do nutriente no floema (Taiz; Zeiger, 2004).

2.3. ADUBAÇÃO FOLIAR

A adubação foliar é uma prática agrícola que envolve a aplicação de nutrientes diretamente nas folhas das plantas, permitindo uma absorção mais rápida e eficiente dos elementos essenciais. Este método é particularmente útil para corrigir deficiências nutricionais em momentos críticos do desenvolvimento da planta, quando a absorção de nutrientes pelo solo pode estar comprometida (Fernández et al., 2013). Entre os fertilizantes foliares, o sulfato de magnésio ($MgSO_4$) é amplamente utilizado devido à sua eficácia em fornecer magnésio e enxofre, ambos nutrientes essenciais para a saúde das plantas.

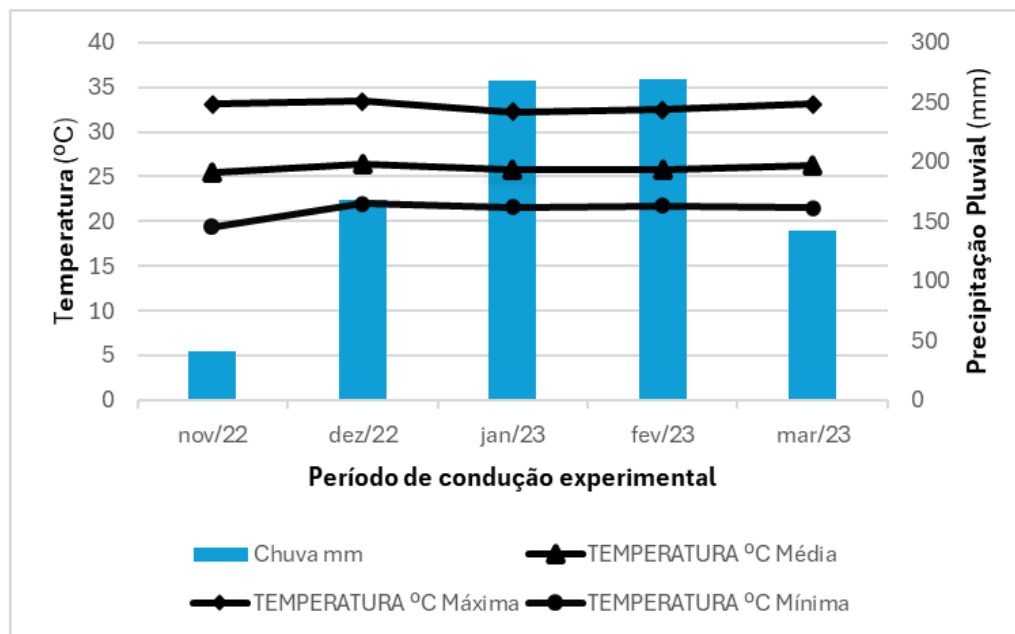
O Mg é um componente central da clorofila e é essencial para a fotossíntese, enquanto o enxofre é necessário para a síntese de aminoácidos e proteínas (Mengel & Kirkby, 2001). Estudos demonstram que a aplicação foliar de $MgSO_4$ pode melhorar a eficiência fotossintética e a produção de biomassa, resultando em maiores rendimentos de culturas como a soja (Eichert & Fernández, 2012). Assim, a adubação foliar com $MgSO_4$ representa uma estratégia eficaz para garantir que as plantas recebam quantidades adequadas desses nutrientes críticos, contribuindo para uma produção agrícola mais sustentável.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL E HISTÓRICO DE MANEJO

O experimento foi desenvolvido com a cultura da soja na safra 2022/2023, após o cultivo do sorgo, em área experimental pertencente à Faculdade de Engenharia – UNESP, localizada em Selvíria – MS. As coordenadas geográficas aproximadas são de 51° 22' Oeste de Greenwich e 20° 22' Sul e 335 metros de altitude. A temperatura média anual é de 23,5° C, a precipitação pluvial média anual é de 1370 mm e a umidade relativa do ar média anual entre 70 e 80%. O clima na região é classificado como Aw, segundo Köppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. As condições climáticas no decorrer do experimento constam na Figura 1.

Figura 1 - Precipitação pluvial e temperaturas máxima, média e mínima registradas durante o experimento, no período de novembro de 2022 a março de 2023, em Selvíria - MS. Fonte: A autora



A área experimental vem sendo cultivada por culturas anuais, sendo os últimos sete anos em sistema de plantio direto. O solo da área experimental é classificado como LATOSSO VERMELHO Distrófico típico, textura argilosa, de acordo SiBSC (SANTOS *et al*, 2018), com granulometria de 425; 534 e 41 g kg⁻¹ de argila, areia e silte segundo *Raij et al.* (2001). Os atributos químicos do solo foram determinados antes da instalação do experimento (Tabela 1).

Tabela 1- Caracterização química inicial do solo na área experimental antes da instalação do experimento, na camada de 0,00–0,20 m.

Camada (m)	P(resina) mg dm ⁻³	S g dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K mmol _c dm ⁻³	Ca mmol _c dm ⁻³	Mg mmol _c dm ⁻³	H+Al mmol _c dm ⁻³	Al %	SB %
0,00-0,20	45,4	4,3	21	5,3	2,2	20,4	8,4	22,8	0	31
Camada (m)	B ^a	Cu ^b	Fe ^b	Mn ^b	Zn ^b	CTC mmol _c dm ⁻³	V %	M %		
0,00-0,20	0,3	3,1	17,9	23,7	1,4	53,7	57,3	1,4		

^a Determinado em água quente, ^b Determinado em DTPA (dietilenotriaminopentaacético). MO: matéria orgânica, CTC: capacidade de troca catiônica, SB: soma de bases, V: saturação por bases, m: saturação por Al

Fonte: Próprio Autor

3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS UTILIZADOS

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições e em esquema fatorial 5x2, sendo 5 doses de magnésio (0, 15, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de Mg) na forma de MgSO₄ monohidratado (Kieserita, com 15% de Mg) aplicada à lanço (sem incorporação ao solo) em ocasião de semeadura, com ou sem adubação foliar de 600 g ha⁻¹ de Mg na forma de MgSO₄ heptahidratado (10% de Mg) no estágio R1 na

soja. As parcelas foram de 5 m de comprimento com 6 linhas espaçadas de 0,50 m, sendo a área útil de parcela as 4 linhas centrais, excluindo-se 1 m das extremidades.

3.3. INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Após a caracterização química inicial do solo, 60 dias antes do plantio, foi realizada aplicação de gesso em área total, de modo a isolar o efeito do enxofre proveniente das fontes de Mg. A dessecação inicial da área foi realizada com os herbicidas glifosato (1800 g ha⁻¹ do i.a) e 2,4-D (670 g ha⁻¹ do i.a), seguido pelo preparo da área com o triton.

A semeadura do experimento ocorreu no dia 03/11/2022, utilizando-se o cultivar de soja da Pioneer 97Y91 IPRO, com hábito determinado e ciclo precoce, já tradas com Demacor. As sementes de soja foram inoculadas previamente com *Bradyrhizobium japonicum* na dose recomendada de 75 mL para cada 50 kg de sementes, fornecendo 1x 10⁹ unidade formadora de colônia (UFC), após a inoculação, as sementes secaram na sombra. A semeadura foi realizada com a semeadora adubadora de plantio direto que possui com o mecanismo de hastes sulcadoras, com 13 sementes por metro.

Com base na análise química do solo e na recomendação de adubação para cultura da soja do boletim técnico 100 (Cantarella et al., 2022), a adubação de semeadura foi efetuada com 330 kg ha⁻¹ do formulado 2-20-20, a aplicação dos tratamentos com Kieserita (15% Mg) foi realizada após a semeadura, feita a lanço sem incorporação ao solo, seguindo as doses dos tratamentos. O experimento foi conduzido em condição de sequeiro, contando apenas com irrigação de salvamento.

Quando a cultura atingiu o estágio vegetativo V2, foi feita a aplicação via foliar de cobalto e molibdênio, na dose de 220 mL ha⁻¹ do CoMo, com um volume de calda de 300 L ha⁻¹. No dia 23/12/2022 com a soja no estágio reprodutivo R1 foi realizada utilizando-se uma bomba costal a aplicação via foliar do sulfato de magnésio heptahidratado (10% Mg), na dose de 600 g ha⁻¹ com uma calda de 300 L ha⁻¹, nas parcelas com o tratamento.

O controle químico da área foi realizado quando necessário com o herbicida glifosato na dose de 1,5 kg ha⁻¹, foram aplicados o fungicida Fox 500 mL ha⁻¹, Penncozeb 2,0 kg ha⁻¹ e EsteriMax 210 mL ha⁻¹, e os inseticidas Sperto 300 g ha⁻¹, Exalt 90 mL ha⁻¹ e Acefato 1,2 kg ha⁻¹.

A colheita foi realizada no dia 15/03/202 quando as plantas de soja estavam em no estágio reprodutivo R8, onde foram colhidas manualmente as quatro linhas centrais de cada parcela.

3.4. AVALIAÇÕES REALIZADAS

No experimento foram realizadas as seguintes avaliações: **A)** Concentração foliar de N, P, K, Ca, Mg e S, seguindo a metodologia de Malavolta *et al.* (1997), em pleno florescimento (R2), foram coletados 13 trifólios das plantas de soja, segundo a metodologia de Cantarella *et al.* (2022) após as coletas as folhas foram

armazenadas e sacos de papel e colocadas em estufa de circulação forçada por 72 horas a 60 °C, após secas foram moídas e encaminhadas para o laboratório para determinação dos nutrientes; **B)** Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na planta em R2, após a coleta, as plantas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em uma estufa de circulação forçada por 72 horas a 60 °C. Quando o peso estabilizou as plantas foram pesadas em balança analítica para a obtenção da massa seca, após a pesagem elas foram moídas e levadas para o laboratório para a determinação das concentrações. O acúmulo foi calculado a partir da concentração dos *udeterminado* na folha diagnose de seis plantas por parcela, no período da manhã, por meio de um clorofilômetro portátil digital Falker. No momento da colheita foram amostradas 5 plantas para **D)** Altura de planta, mensurada com uma régua graduada, sendo medida do nível do solo ao ápice da planta. **E)** Número de vagens por planta; **F)** Número de grãos por vagens; **G)** Número de grãos por planta; **H)** Massa de 100 grãos, determinada em balança de precisão 0,0g, a 13% (base úmida); Produtividade de grãos, onde foram colhidas as duas linhas centrais de cada parcela, após a trilha mecânica, os grãos foram quantificados e os dados transformados em kg ha⁻¹ a 13% (base úmida); **I)** a produção de palhada, foi calculada a partir da massa seca da palhada e extrapolada para kg ha⁻¹; **J)** Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S nos grãos; **K)** Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na palhada; Após a colheita, o solo de cada parcela foi coletado até a profundidade de 0,2 m para a determinação de **K)** análise dos atributos químicos básicos do solo (teores de macronutrientes e de matéria orgânica, soma de bases, saturação por bases e pH), conforme metodologia de Raij *et al.* (2001).

3.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos foram submetidos nos testes preliminares de normalidade e homoscedasticidade. Após isto os resultados foram analisados pelo teste de variância (Teste F), e teste de Tukey ($p < 0,05$) para comparação das médias da adubação foliar e ajustadas as equações de regressão para o efeito das doses de Mg aplicadas no solo. As análises estatísticas foram processadas utilizando-se o programa computacional SISVAR (Ferreira, 2011) e os gráficos plotados com o auxílio do software SigmaPlot 12.5.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Para os atributos do solo, houve interação entre os fatores estudados para os seguintes atributos químicos do solo, P-Resina, enxofre, matéria orgânica, potássio, cálcio, magnésio, soma de bases, saturação por bases. Apenas o pH apresentou efeito isolado da aplicação foliar, sendo com aplicação superior (Tabela 2)

Tabela 2- Atributos químicos do solo após a colheita da cultura da soja na camada de 0,00-0,20 m em função das doses de Mg e adubação foliar com sulfato de magnésio heptahidratado. Selvíria, MS.

Doses de Mg (kg ha ⁻¹)	P-Resina	S-SO ₄	MO	K	Ca	Mg	SB	V	pH
	mg dm ⁻³		g dm ⁻³			mmol _c dm ⁻³		%	CaCl ₂
0	38,89	4,94	20,48	2,60	27,02	18,97	48,61	71,04	5,50
15	78,67	6,04	21,20	2,77	25,94	22,16	50,88	70,11	5,40
30	56,97	5,16	21,87	3,07	32,87	23,20	59,15	75,15	5,53
60	38,91	6,50	20,37	2,44	26,33	20,30	49,08	70,11	5,06
90	49,41	6,94	21,70	2,85	27,88	25,55	56,29	73,18	5,33
Adubação foliar									
Com	63,72	5,28	21,52	2,89	31,10	22,60	56,05	74,31	5,45 a
Sem	41,42	6,55	20,73	2,60	24,92	22,02	49,55	69,53	5,28 b
Teste F									
doses de Mg (D)	**	**	ns	**	**	**	**	**	ns
Adubação foliar (AF)	**	**	ns	**	**	ns	**	**	**
D x AF	**	**	*	**	**	**	**	**	ns
Média Geral	52,57	5,91	21,13	2,75	28,01	22,40	52,80	71,92	5,36
CV (%)	6,82	12,12	6,62	10,00	7,09	7,83	5,15	2,48	3,12
D.M.S (5%)	2,32	0,46	0,90	0,17	1,28	1,11	1,76	1,15	0,11

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação. **, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente.

No desdobramento da adubação foliar dentro das doses de Mg via solo, para o P-resina, podemos observar que nas doses de 0, 15 e 90 kg de Mg ha⁻¹ foram observados maiores médias com aplicação foliar. Para o teor de matéria orgânica, apenas na ausência da adubação à aplicação foliar foi superior à testemunha. O teor de cálcio no solo e a saturação por bases apresentaram um comportamento parecido, em que apenas na ausência de adubação e nas duas maiores doses (60 e 90 kg ha⁻¹) quando associados à aplicação foliar foi obtido maiores valores, quando comparados a sem aplicação foliar de Mg (Tabela 3). Altas concentrações de cálcio relativa ao magnésio na rizosfera inibem a absorção do Mg e vice-versa. Morard et al. (1996) observaram forte antagonismo entre os nutrientes, sugerindo que o cálcio em elevadas concentrações no solo seria responsável pela translocação do magnésio nas folhas, visto a diminuição brusca da absorção do mesmo.

Para o teor de potássio no solo (Figura 2A) com a aplicação foliar, houve ajuste quadrático com ponto de mínima de 54 kg ha⁻¹, apenas na ausência de adubação (Dose 0) a aplicação foi superior quando comparado sem adubação foliar, geralmente, apesar da concentração de Mg²⁺ ser maior que a de K⁺ na solução do solo, as quantidades do nutriente absorvido pelas células radiculares são bem menores que a de potássio. A razão para esse comportamento ainda não é clara, no entanto, encontram-se na literatura algumas hipóteses que tentam explicar o fato. Uma possível razão para isso seria a falta de um mecanismo especial de absorção e transporte do nutriente pela membrana plasmática, como ocorre no transporte de outros cátions no

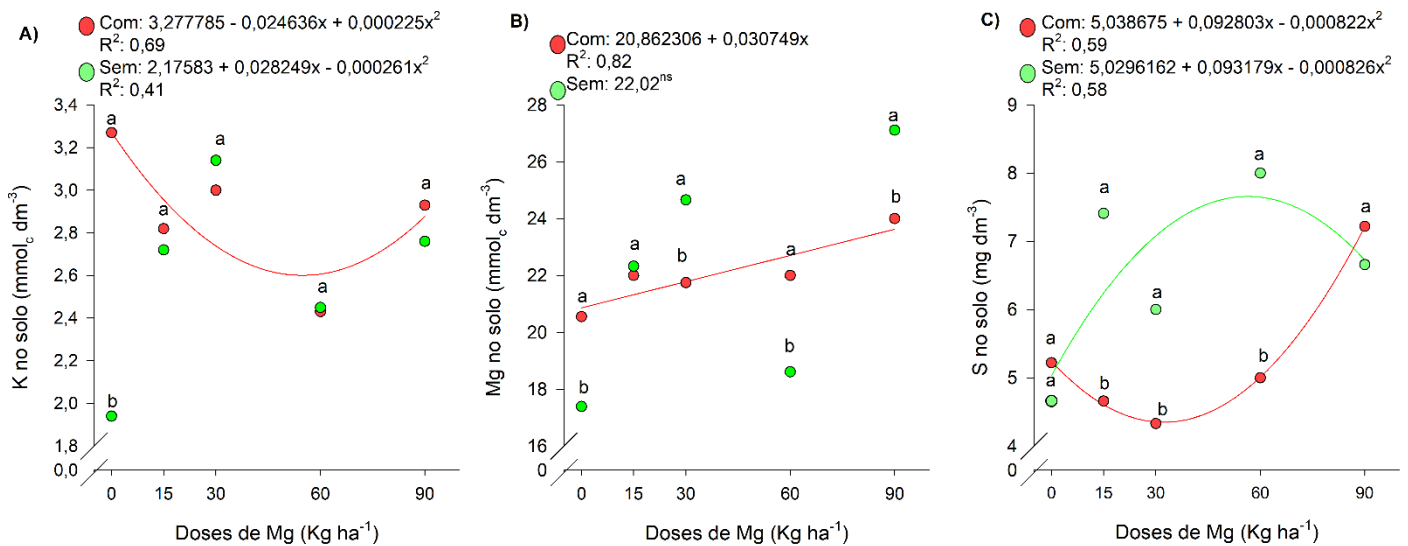
metabolismo vegetal, sendo tal processo caracterizado por difusão facilitada por canais não totalmente específicos para o transporte de Mg^{2+} através do gradiente eletroquímico. O mesmo fato pode ser observado no fluxo do nutriente pelo tonoplasto, que na presença excessiva de outros cátions, especialmente K^+ e NH_4^+ , têm sua absorção e translocação drasticamente reduzidos (SCHIMANSKI, 1981). Para o teor de magnésio no solo (Figura 2B) com aplicação foliar, houve um ajuste crescente, o que era esperado, com o aumento das doses do fertilizante. O teor de enxofre ajustou-se a função quadrática com ponto de mínima de 56 kg ha^{-1} para aplicação foliar de Mg, enquanto que com a ausência da adubação foliar houve um ponto de máxima de 55 kg ha^{-1} (Figura 2C). Vale lembrar que este fertilizante contém enxofre, o que explica os resultados obtidos.

Tabela 3- Desdobramento de adubação foliar dentro de doses de Mg para P-resina, Matéria Orgânica E cálcio no solo, após o cultivo da soja. Selvíria, MS.

P-resina (mg dm^{-3})					
Doses de Mg (kg ha^{-1})					
Adubação foliar	0	15	30	60	90
Com	52,12 a	115,18 a	50,33 b	41,00 a	60,00 a
Sem	25,66 b	42,16 b	63,61 a	36,83 a	38,83 b
DMS	5,20				
Matéria orgânica (g dm^{-3})					
Doses de Mg (kg ha^{-1})					
Adubação foliar	0	15	30	60	90
Com	21,72 a	20,00 b	22,75 a	21,25 a	21,91 a
Sem	19,25 b	22,41 a	21,00 a	19,50 a	21,50 a
DMS	2,02				
Cálcio ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)					
Doses de Mg (kg ha^{-1})					
Adubação foliar	0	15	30	60	90
Com	32,41 a	23,89 b	32,75 a	33,00 a	33,44 a
Sem	21,64 b	28,00 a	33,00 a	19,67 b	22,33 b
DMS	2,87				
V (%)					
Doses de Mg (kg ha^{-1})					
Adubação foliar	0	15	30	60	90
Com	75,21 a	69,02 a	74,81 a	76,09 a	75,73 a
Sem	66,87 b	71,20 a	75,48 a	64,13 b	70,63 b
DMS	2,58				

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação. **, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente.

Figura 2 – Desdobramento da interação de doses de Mg dentro da adubação foliar, para A) K no solo; B) Mg no solo e C) S no solo da soja. Selvíria, MS.



4.2. ÍNDICE DE CLOROFILA FOLIAR (ICF) E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES NA FOLHA DIAGNOSE DA SOJA

A adubação foliar com o sulfato de magnésio heptahidratado proporcionou um maior incremento para os teores de fósforo (P) e potássio (K) na folha diagnose (Tabela 4). Para os demais nutrientes, nitrogênio (N), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), não houve efeito significativo para as doses de magnésio e para a adubação foliar. Mesmo sendo esperado, o aumento da concentração dos nutrientes como magnésio e enxofre na folha com o incremento das doses de Mg e aplicação foliar, quando comparados à testemunha. Entretanto, pode-se deduzir que com o maior crescimento da parte aérea (massa seca da parte aérea no florescimento) (Tabela 5), houve uma diluição desses nutrientes na planta.

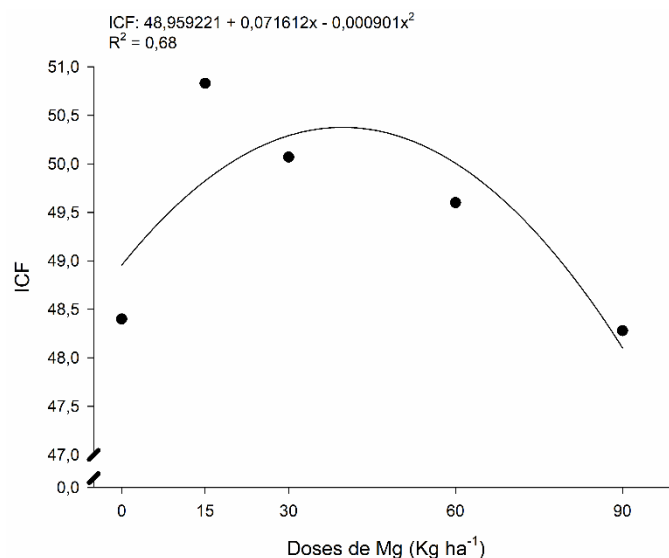
Tabela 4 – Índice de clorofila foliar (ICF) e concentração de macronutrientes na folha diagnose da soja em função das doses de Mg e adubação foliar com sulfato de magnésio heptahidratado. Selvíria, MS.

Doses de Mg (kg ha ⁻¹)	ICF	N	P	K	Ca	Mg	S
	(g kg ⁻¹)						
0	48,40	44,83	3,60	26,13	6,89	4,04	1,97
15	50,83	42,78	3,58	23,79	6,54	4,25	1,93
30	50,07	43,63	3,57	23,48	6,60	4,11	2,04
60	49,60	42,00	3,53	23,91	7,01	4,35	2,14
90	48,28	42,77	3,52	23,99	6,78	4,19	2,03
Adubação foliar							
Com	49,53 a	43,83 a	3,72 a	25,29 a	6,84 a	4,18 a	2,05 a
Sem	49,34 a	42,57 a	3,40 b	23,23 b	6,72 a	4,19 a	1,99 a
Teste F							
Doses de Mg (D)	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Adubação foliar (AF)	ns	ns	**	*	ns	ns	ns
D x AF	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Média Geral	49,44	43,20	3,56	24,26	6,78	4,19	2,02
CV (%)	3,77	6,33	4,37	9,93	5,70	5,90	8,57
D.M.S (5%)	1,20	1,77	0,10	1,56	0,25	0,16	0,11

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação. **, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente

Quanto ao Índice de clorofila foliar (ICF), houve efeito significativo para as doses de magnésio, onde existiu um acréscimo até o ponto de máxima da dose de 39,74 kg ha⁻¹ de Mg (Figura 3). O ICF mede indiretamente a quantidade de clorofila das folhas e, conseqüentemente, o estado nutricional de Mg e N na planta, uma vez que o átomo central da molécula de clorofila é o magnésio ligado a quatro átomos de nitrogênio. O Mg pode corresponder a até 2,7% do peso molecular da clorofila e, dependendo do estado nutricional, entre 6 e 25% do Mg total das plantas está ligado à clorofila (MARSCHNER, 2012).

Figura 3 - Efeito de doses de Mg no índice de clorofila foliar (ICF) da soja. Selvíria, MS.



4.3. ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES E MASSA SECA DE PARTE AÉREA NO FLORESCIMENTO DA SOJA

No momento do florescimento pleno da cultura da soja, os acúmulos de N, K e Ca na parte aérea foram influenciados pelos fatores doses de Mg quanto pela adubação foliar do magnésio heptahidratado isoladamente (Tabela 5), os três nutrientes apresentaram um acréscimo no acúmulo quando receberam a adubação foliar. Para massa seca da parte aérea da soja e acúmulos de fósforo e magnésio, verificou-se apenas efeito das doses de magnésio (Figura 4 e Figura 5). Houve desdobramento entre os fatores para o acúmulo de enxofre na parte aérea da cultura (Figura 6).

Tabela 5 – Massa seca da parte aérea (MS P.A), acúmulo de macronutrientes na parte aérea da soja em função das doses de Mg e adubação foliar com sulfato de magnésio heptahidratado. Selvíria, MS.

Doses de Mg (kg ha ⁻¹) 1)	M.S.P. A	N	P	K	Ca	Mg	S
(kg ha ⁻¹)							
0	6565	172	17,01	156	48,28	22,69	9,86
15	7272	204	19,00	180	57,65	30,45	11,51
30	7073	204	19,63	188	53,89	31,37	10,78
60	6671	188	18,02	167	55,43	29,51	10,37
90	6222	173	15,31	152	48,42	26,59	10,17
Adubação foliar							
Com	6913	196 a	17,35 a	176 a	54,62 a	29,11 a	10,80 a
Sem	6608	181 b	18,24 a	161 b	50,85 b	27,14 a	10,27 a
Teste F							
Doses de Mg (D)	*	**	**	**	**	**	*
Adubação foliar (AF)	ns	*	ns	*	*	ns	ns
D x AF	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
Média Geral	6760	189	17,79	168	52,74	28,12	10,54
CV (%)	10,01	10,86	11,39	9,69	10,94	13,25	9,62

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação. **, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente

A produção de massa seca da parte aérea no florescimento da cultura da soja aumentou até a dose de 33,19 kg ha⁻¹ de Mg, proporcionando um incremento de 7% quando comparado à testemunha (Figura 4A). Para os acúmulos de N e P houve incremento até a dose de 40,83 e 36,77 kg ha⁻¹ de Mg, respectivamente, com aumento das doses de Mg (Figuras 4B e 4C). Nas doses de 39,42; 42,52 e 47,73 kg ha⁻¹ de Mg foram encontrados os maiores acúmulos de K, Ca e Mg, respectivamente (Figura 5A, 5B e 5C). De modo geral a dose mais alta de Mg testada não foi interessante.

Figura 4 - Efeito de doses de Mg na A) Massa seca parte aérea; B) Acúmulo de nitrogênio na P.A; C) Acúmulo de fósforo P.A, no florescimento da soja. Selvíria, MS.

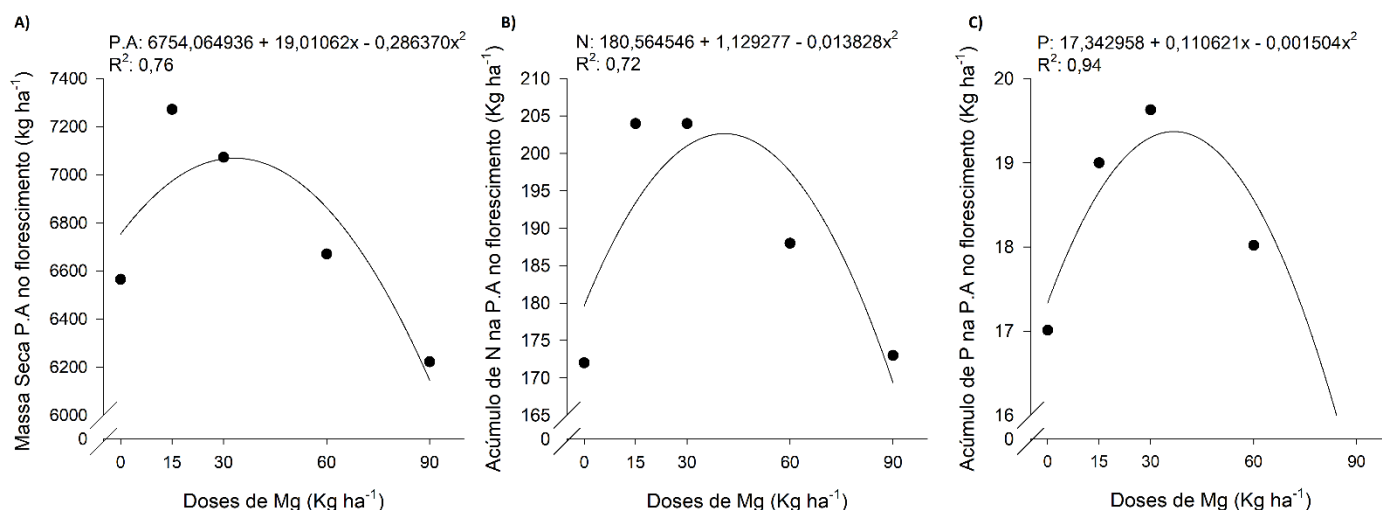
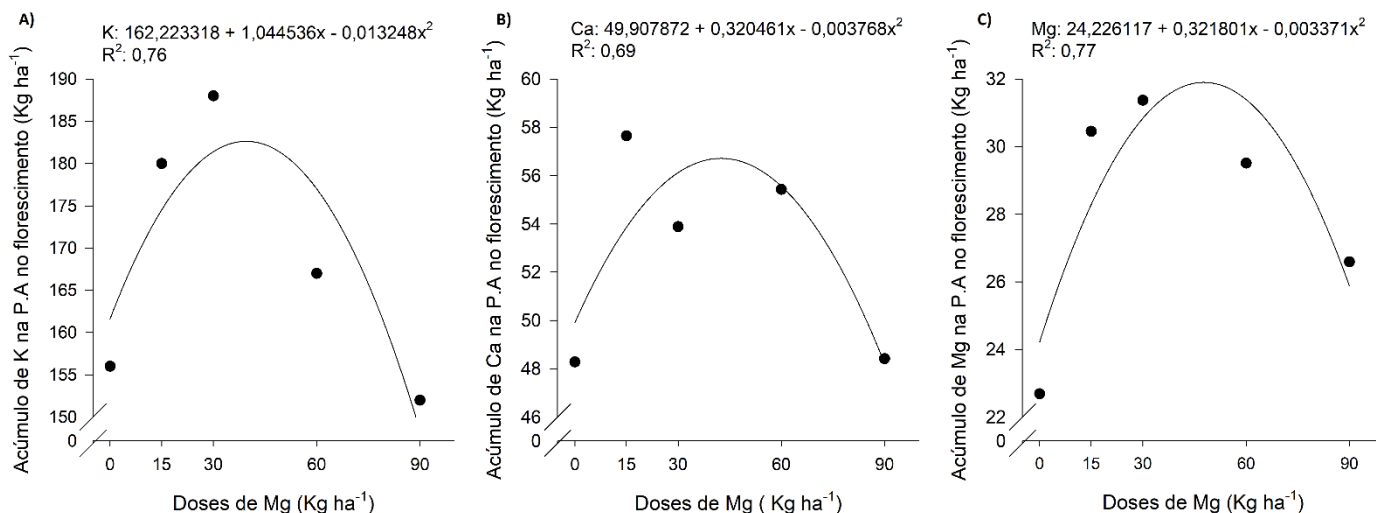
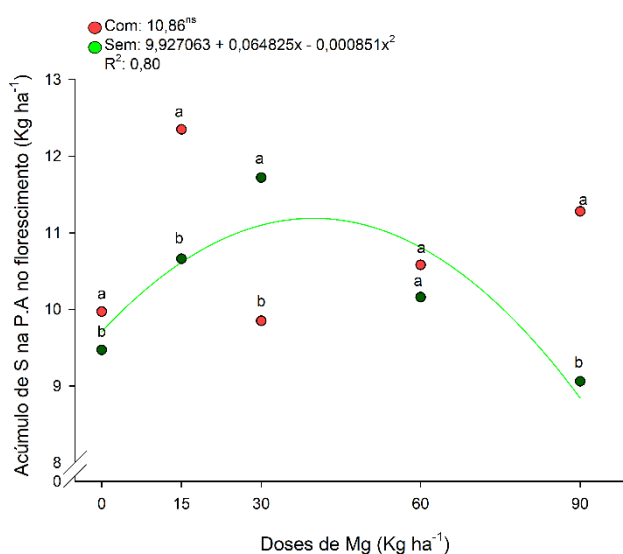


Figura 5 - Efeito de doses de Mg no A) Acúmulo de potássio na P.A; B) Acúmulo de cálcio na P.A; C) Acúmulo de magnésio na P.A, no florescimento da soja. Selvíria, MS.



Em relação ao desdobramento dos fatores doses de magnésio e adubação foliar com o magnésio heptahidratado, houve ajuste quadrático apenas na ausência da adubação foliar, com o ponto de máxima de 38,08 kg ha⁻¹ de Mg. Nas doses 0; 15 e 90 kg ha⁻¹ de Mg, juntamente à aplicação foliar, constatou-se maiores médias quando comparados a sem aplicação (Figura 6). Altarugio *et al.* (2017), avaliando a aplicação de magnésio via foliar na cultura da soja e do milho, observaram aumento no teor foliar de magnésio, as quais estão relacionadas a garantia de fornecimento de energia por meio de ATP, síntese de carboidratos, síntese proteica e atuando como incorporador de carbono por meio da fotossíntese, além de ser um ativador de várias enzimas no metabolismo da planta (CASTRO *et al.*, 2020), ou seja, com o aumento do teor de magnésio na planta em função da aplicação do fertilizante foliar a base de magnésio, pode ser possível aumentar a taxa fotossintética, assim fornecendo mais energia para a planta melhorando seu desenvolvimento.

Figura 6 – Desdobramento da interação de doses de Mg dentro da adubação foliar, para acúmulo de enxofre na P.A, no florescimento da soja. Selvíria, MS.



O magnésio pode interferir na assimilação de diversos outros nutrientes, como o caso do nitrogênio e fósforo. No caso do nitrogênio, o aumento de Mg influencia na quantidade de N proteico, uma vez que o elemento é essencial para a transferência dos aminoácidos ativados para formar a cadeia polipeptídica ou proteica. Já o fósforo, consta na literatura que o magnésio tem sinergia com este nutriente, contribuindo para a absorção deste nutriente pela planta, uma vez que o Mg tem um papel fundamental nas reações de fosforilação (LIMA *et al.*, 2018). Assim, com uma maior concentração de Mg na planta, possivelmente há uma maior taxa fotossintética e uma maior assimilação de CO₂, influenciando diretamente no crescimento da cultura e na absorção dos demais nutrientes, aumentando assim o acúmulo. Curiosamente, o Mg atua em vários processos que modulam a produção e a translocação de carboidratos nas plantas (WHITE 2012; CEYLAN *et al.*, 2016). O transporte de longa distância de carboidratos (açúcares) dos órgãos fonte-dreno é realizado via floema, e isso é fortemente afetado pela disponibilidade de Mg (FARHAT *et al.*, 2016; BA *et al.*, 2020). Este fato indica que o maior teor de açúcares totais presentes nas folhas e parte aérea da soja avaliados antes do

enchimento dos grãos foi eficientemente transportado para os órgãos coletores, culminando em um maior número de grãos e com maior peso. A combinação desses dois parâmetros resultou em maior produtividade de grãos, como comprovado nos componentes produtivos.

4.4. ALTURA DE PLANTAS, COMPONENTES PRODUTIVOS, PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E PALHADA

A adubação foliar com Mg foi significativa apenas para o número de grãos por vagem, onde a média com a aplicação foi superior à sem aplicação (Tabela 6). As variáveis número de vagens por planta, número de grãos por planta, produção e palhada e produtividade foram influenciadas pelo incremento das doses de magnésio (Figura 7 e Figura 8). Apenas para a massa de 100 grãos houve o efeito da interação dos fatores (Figura 7 C).

Tabela 6 – Altura de plantas (ALT), número de vagens por planta, número de grãos por vagem, número de grãos por planta, massa de 100 grãos, produtividade de palhada e produtividade de grãos de soja, função das doses de Mg e adubação foliar com Sulfato de magnésio heptahidratado, Selvíria-MS

Doses de Mg (kg ha ⁻¹)	ALT (cm)	Nº Vagem por planta	Nº GR por vagem	Nº GR por planta	100 grãos (g)	Palhada (kg ha ⁻¹)	Produtividade de grãos
0	84,86	121	2,34	273	19,12	5289	5436
15	83,55	144	2,42	333	20,32	5874	5693
30	82,08	152	2,40	368	20,11	7041	5968
60	86,28	120	2,38	287	19,82	6091	5793
90	86,00	112	2,37	268	18,96	5856	5387
Adubação foliar							
Com	83,81 a	135 a	2,42 a	317 a	19,75 a	6217 a	5788 a
Sem	85,30 a	125 a	2,35 b	294 a	19,55 a	5843 a	5522 a
Teste F							
Doses de Mg (D)	ns	**	ns	**	**	**	*
Adubação foliar (AF)	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
D x AF	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
Média Geral	84,55	130	2,38	306	19,65	6030	5655
CV (%)	4,51	14,77	4,30	17,12	2,69	10,37	8,10
D.M.S (5%)	2,47	12,49	0,02	34,01	0,34	405	297

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

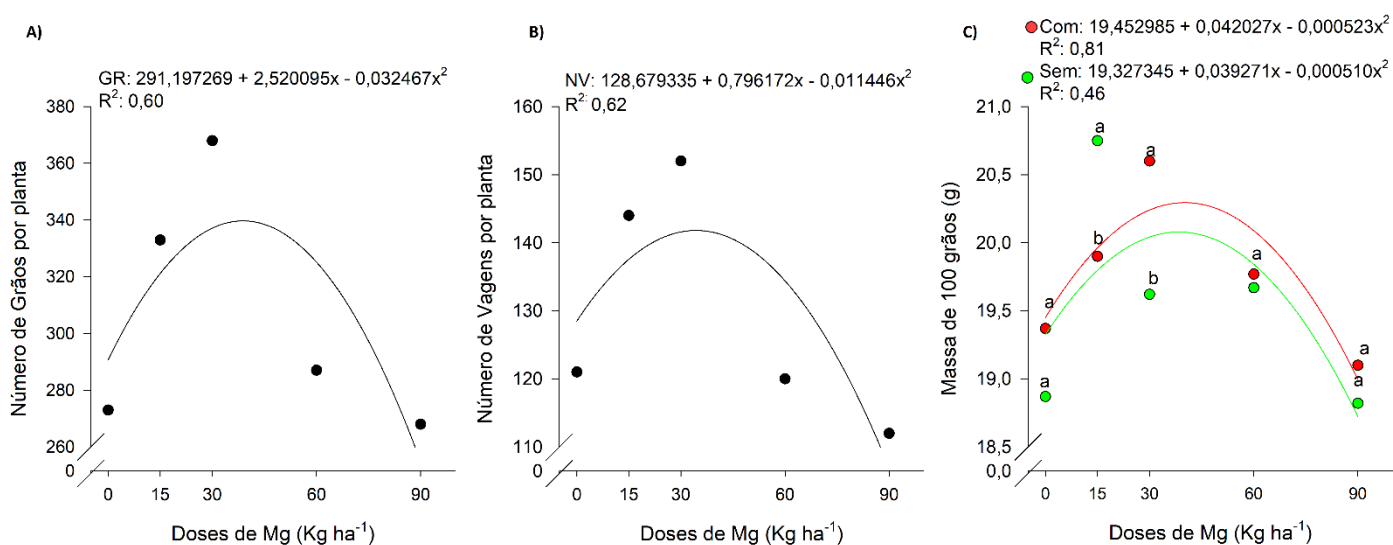
CV: coeficiente de variação.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente

Houve um incremento para os componentes produtivos, número de vagens por planta e número de grãos por planta até as doses 34,77 e 38,81 kg ha⁻¹ de Mg, respectivamente (Figuras 7A e 7B). Para a massa de 100 grãos, houve ajuste quadrático com ponto de máxima para interação com aplicação foliar até a dose de

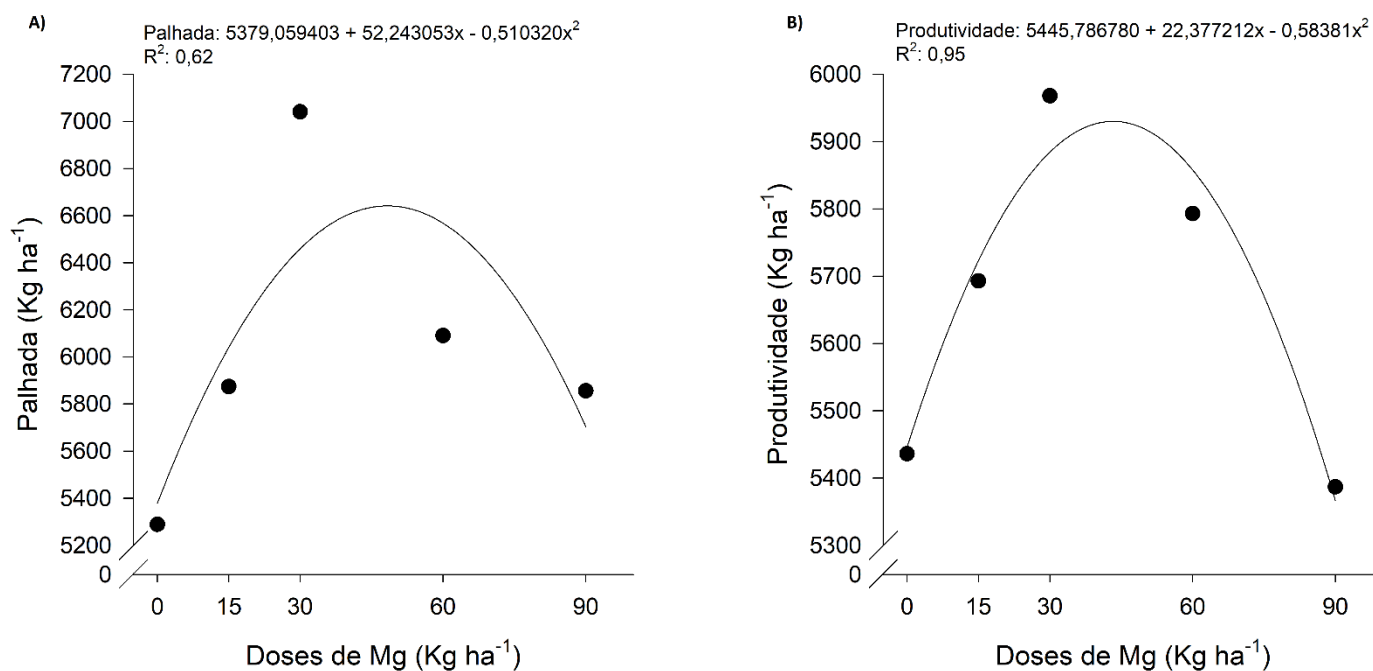
40,18 kg ha⁻¹ de Mg, enquanto para sem aplicação foliar foi até 38,50 kg ha⁻¹ de Mg (Figura 7C). Com os componentes de produção alcançando um ponto de máxima próximos, corroboram com o aumento de produtividade de grãos encontrados no presente trabalho (Figura 8B), cuja máxima produtividade foi observada na dose de 43,30 kg ha⁻¹ de Mg, sendo equivalente 5945 kg ha⁻¹ de grãos de soja. Sendo este incremento de 9,38% quando comparado à testemunha, resultados parecidos com os verificados por Rodrigues et al (2021), em que a aplicação de magnésio também proporcionou aumento nos componentes produtivos, acarretando maior produtividade de grãos de soja. A produtividade de palhada no final do ciclo aumentou até a dose de 51,19 kg ha⁻¹ de Mg (Figura 8A), resultado oposto ao encontrado por Ceylan et al. (2016), onde testando doses de Mg na cultura do trigo, não se constatou aumento da produtividade de palhada com o incremento das doses de Mg.

Figura 7 - Efeito de doses de Mg no A) Número de grãos por planta; B) Número de vagens por planta; C) Massa de 100 grãos (g) de soja. Selvíria, MS.



Aplicação de Mg na fase de florescimento em plantas de soja cultivadas em vaso na dose de 100 mg L⁻¹ possibilitou aumento do crescimento das plantas e da produtividade (ODELEYE et al., 2007). Por ser um nutriente de suma importância e realizar uma função significativa no desenvolvimento de estruturas como sementes e raízes (ADNANet al., 2020). Altarugio et al. (2017) relataram que adubação foliar em estágio reprodutivo apresentou acréscimo de 2% na massa de 100 grãos, verificaram que a aplicação foliar de Mg melhorou os parâmetros produtivos.

Figura 8- Efeito de doses de Mg no A) Produção de palhada; B) Produtividade de grãos de soja. Selvíria, MS.



4.5. ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES NOS GRÃOS DE SOJA

Para os acúmulos de P, K, Ca, Mg e S nos grãos, houve efeito isolado dos fatores doses de magnésio e adubação foliar (Tabela 7), em que foi observado o incremento destes nutrientes quando aplicado o magnésio heptahidratado via foliar, quando comparado a sem adubação foliar. Apenas o acúmulo de N nos grãos não foi influenciado por nenhum dos fatores. Branquinho et al. (2020), identificaram em seu trabalho efeito significativo para as variáveis: número de vagens por plantas, número de grãos por vagens, massa de 100 grãos e produtividade de grãos, em relação a época de aplicação de fertilizante foliar de Mg.

Tabela 7 – Acúmulo de macronutrientes nos grãos de soja, função das doses de Mg e adubação foliar com sulfato de magnésio heptahidratado. Selvíria, MS.

Doses de Mg (kg ha ⁻¹) ¹⁾	N	P	K	Ca	Mg	S
(Kg ha ⁻¹)						
0	349	28,65	100	16,34	16,15	14,01
15	375	29,98	105	16,99	16,99	15,38
30	389	32,53	111	18,33	18,11	15,82
60	378	30,85	110	18,52	17,56	15,57
90	356	20,05	99	16,71	16,22	14,59
Adubação foliar						
Com	377 a	30,61 a	108 a	17,96 a	17,61 a	15,51 a
Sem	361 a	29,01 b	102 b	16,79 b	16,40 b	14,64 b
Teste F						
Doses de Mg (D)	ns	*	*	*	*	*
Adubação foliar (AF)	ns	*	*	*	*	*
D x AF	ns	ns	ns	ns	Ns	Ns
Média Geral	369	29,81	105	17,38	17,00	15,07
CV (%)	7,88	8,30	9,62	8,39	8,51	8,68
D.M.S (5%)	18,99	1,60	5,89	0,94	0,93	0,84

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CV: coeficiente de variação.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente

Houve ajuste quadrático para o efeito de doses de magnésio nos acúmulos de P, K, Ca, Mg e S nos grãos de soja (Figura 9 e Figura 10), com as respectivas doses ótimas estimadas 42,88; 44,92; 48,45; 45,02 e 47,21 kg de Mg ha⁻¹. Com o aumento da assimilação de CO₂, aumento da taxa fotossintética e uma maior absorção dos nutrientes, como comprovado no acúmulo na parte aérea no momento do florescimento (Tabela 5) e o aumento da produtividade (Figura 8B) a translocação para o dreno (grãos), acontece de forma gradativa, aumentando assim o acúmulo dos nutrientes nos grãos. Altarugio et al. (2017) observaram que a aplicação foliar de Mg resultou em acréscimo de 2% na massa de mil grãos, e que também influenciou com significativos incrementos os parâmetros produtivos.

Figura 9- Efeito de doses de Mg no A) Acúmulo de fósforo nos grãos; B) Acúmulo de potássio nos grãos; C) Acúmulo de cálcio nos grãos de soja. Selvíria, MS.

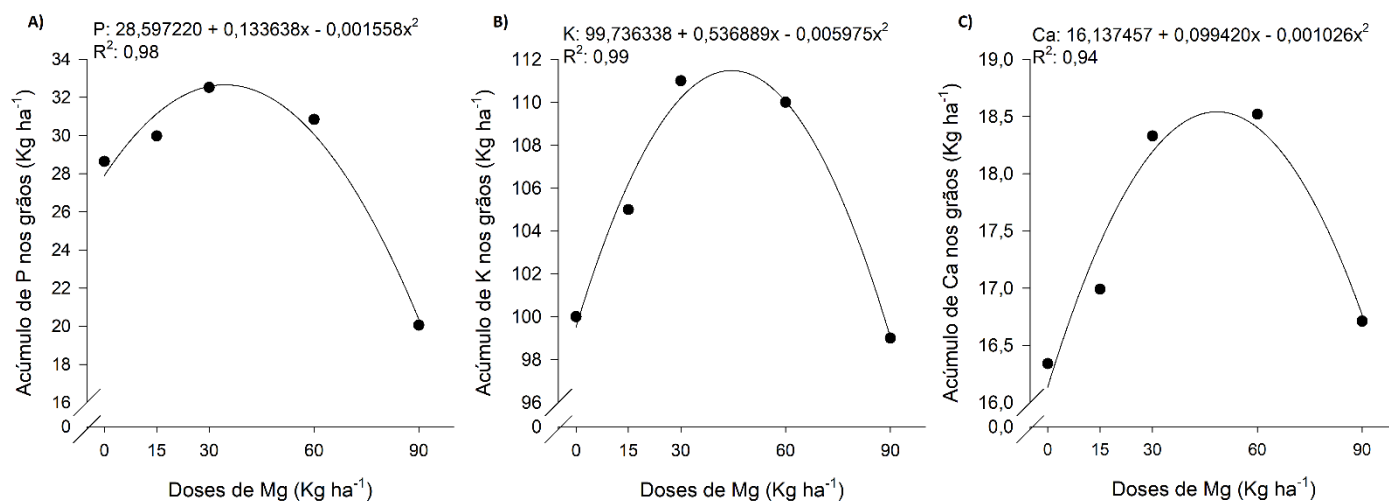
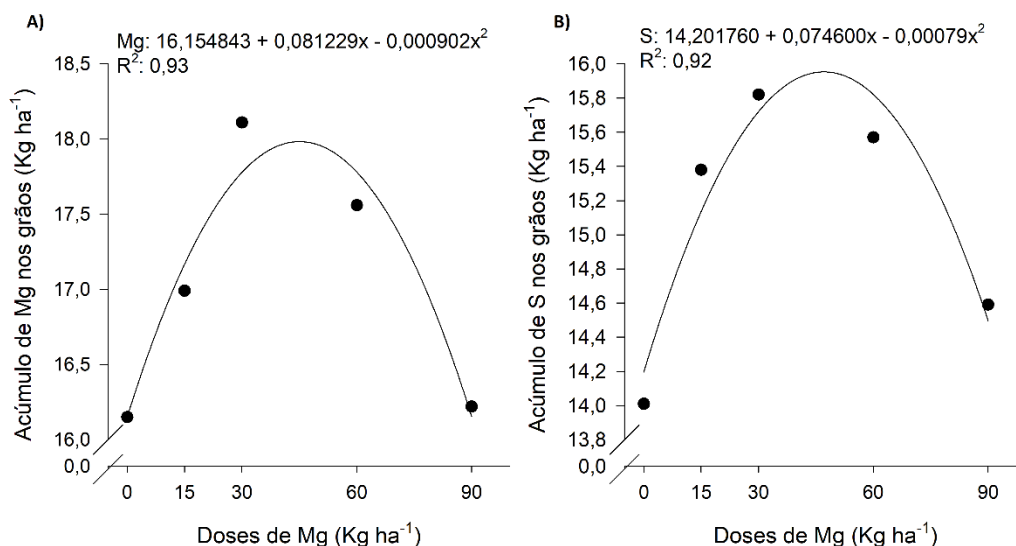


Figura 10 - Efeito de doses de Mg no A) Acúmulo de magnésio nos grãos; B) Acúmulo de enxofre nos grãos de soja. Selvíria-MS



4.6. ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES NA PALHADA DA SOJA

O acúmulo de todos os macronutrientes na palhada foram influenciados isoladamente pelas doses de Mg e aplicação foliar (Tabela 8). À aplicação foliar proporcionou maior acúmulo para todos macronutrientes, exceto para o Ca, aonde o resultado sem aplicação foi superior. Moore, Overstreet e Jacobson (1961), mostra que onde o excesso de Ca em relação ao Mg na solução do solo prejudicou a absorção deste último, e vice-versa. Resultados semelhantes também foram obtidos por Gomes et al., (2002), que conduziram experimento com diferentes relações Ca:Mg em casa de vegetação utilizando a alfafa como cultura teste, observaram que à medida que aumentava esta relação havia acréscimo nos teores de Ca na parte aérea.

Tabela 8 – Acúmulo de macronutrientes na palhada de soja, função das doses de Mg e adubação foliar com sulfato de magnésio heptahidratado. Selviria, MS.

Doses de Mg (kg há ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S
(Kg há ⁻¹)						
0	36,94	11,79	71,55	26,07	13,51	7,19
15	53,18	14,39	82,90	29,61	20,14	8,31
30	65,75	19,72	102	36,03	23,21	10,45
60	55,48	19,77	90,56	30,20	20,99	9,51
90	60,15	19,14	90,46	28,93	19,92	9,09
Adubação foliar						
Com	57,09 a	17,93 a	90,91 a	28,83 b	20,63 a	9,32 a
Sem	51,51 b	15,99 b	84,35 b	31,50 a	18,48 b	8,50 b
Teste F						
Doses de Mg (D)	**	**	**	**	**	**
Adubação foliar (AF)	*	**	*	*	*	*
D x AF	ns	ns	ns	ns	ns	Ns
Média Geral	54,30	16,96	87,63	30,17	19,55	8,91
CV (%)	12,54	12,65	10,82	11,11	13,90	12,36
D.M.S (5%)	4,41	1,39	6,15	2,17	1,76	0,71

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CV: coeficiente de variação.

**, * e ns: significativo a 1% e a 5% em $p < 0,01$, $0,01 < p < 0,05$, e não significativos, respectivamente

Os acúmulos de N, P e K na palhada (Figuras 10A; 10B e 10C) apresentaram ajuste quadrático com ponto de máxima de 58; 62,49 e 54,63 kg ha⁻¹ de Mg, doses superiores às encontradas para os acúmulos nos grãos e parte aérea da cultura. Para os acúmulos de Ca, Mg e S na palhada (Figuras 11A; 11B e 11C) as doses ótimas estimadas foram 47,35, 52,91 e 54,06 kg ha⁻¹ de Mg, também apresentando o mesmo padrão dos outros nutrientes na palhada.

Figura 11- Efeito de doses de Mg no A) Acúmulo de magnésio nos grãos; B) Acúmulo de enxofre nos grãos de soja. Selvíria-MS

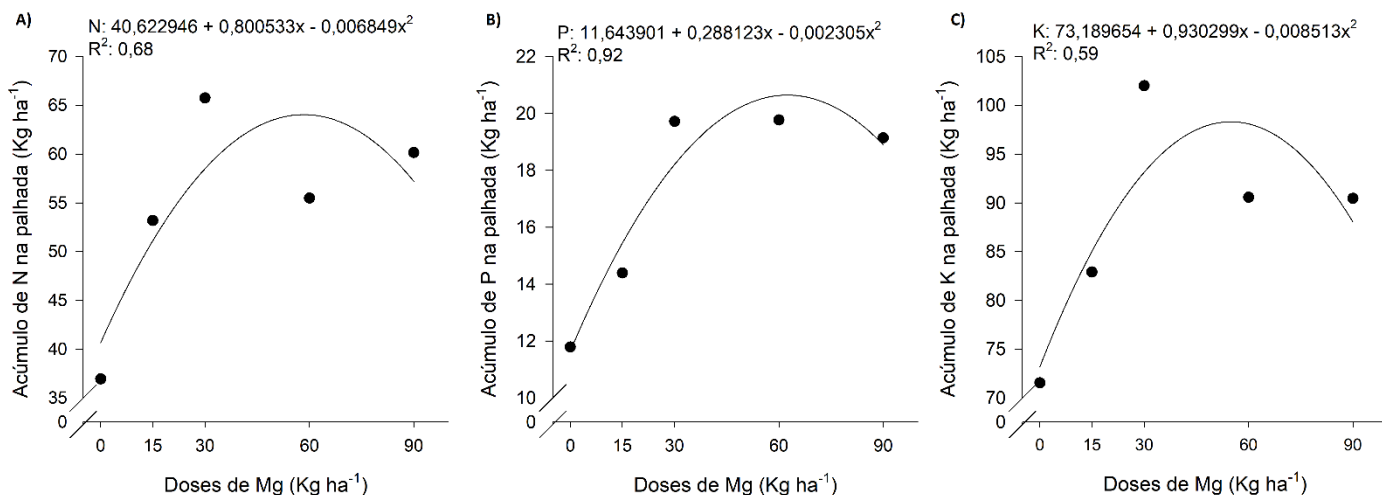
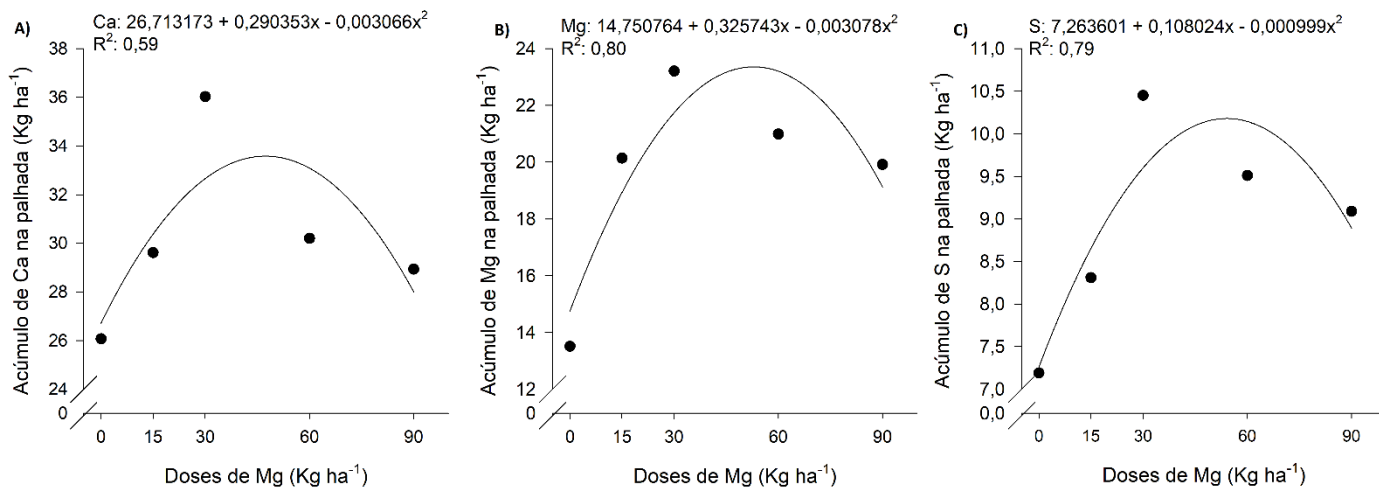


Figura 12- Efeito de doses de Mg no A) Acúmulo de cálcio na palhada; B) Acúmulo de magnésio na palhada; C) Acúmulo de enxofre na palhada de soja. Selvíria, MS.



É importante enfatizar que o manejo adequado de fertilizantes envolve processos complexos de tomada de decisão, que levam em consideração as características do solo e da cultura, tipos de clima, rotação de culturas ou tipos de sucessão de culturas. Uma vez avaliados esses aspectos, começará a definir a fonte e dose dos nutrientes a serem aplicados via solo e as eventuais aplicações via foliar. Ressalta-se que os fertilizantes ocupam uma posição significativa nos custos variáveis de produção, tendo grande impacto na rentabilidade das lavouras. Adnan et al. (2020) constataram que o Mg é um fator limitante da produção das culturas, e os efeitos negativos da baixa disponibilidade do nutriente podem ser minimizados com a aplicação foliar, os mesmos autores recomendam a adubação foliar com Mg, com quantidades a serem definidas em função da cultura e teor disponível no solo.

5. CONCLUSÕES

A adubação foliar com o sulfato de magnésio heptahidratado aplicada em R1 na cultura da soja promoveu resultados satisfatórios para os parâmetros nutricionais e componentes produtivos, quando comparados a sem aplicação, independentemente das doses de magnésio via solo.

A aplicação de magnésio sem a incorporação ao solo no momento da semeadura na cultura da soja beneficiou diversos parâmetros, como no acúmulo dos nutrientes na parte aérea da planta no momento do florescimento, nos grãos e na palhada, além de incrementar os componentes produtivos e produtividade. Assim, recomenda-se a aplicação de magnésio entre as doses de 40 a 45 kg ha⁻¹, com a aplicação complementar via foliar, para aumento na produtividade e qualidade nutricional dos grãos de soja.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADNAN, M.; HAYYAT, M. S.; IMRAN, M.; REHMAN, F. U.; SAEED, M. S.; MEHTA, J.; TAMPUBOLON, K. **Impact of Foliar Application of Magnesium Fertilizer on Agronomic Crops: A Review**. Indian Journal of Pure and Applied Biosciences. v.8, n.6, p.281-288, 2020.

ALMEIDA, J. J. J., LAZARINI, SMILJANIC, K.B.A., SIMON, G.A., MATOS, F.S. A., BARBOSA, U. R., SILVA, V.J.A., MIRANDA, B.C., SILVA, A.R., 2020. Análise das variáveis tecnológicas na cultura da soja (*Glycine max*) com utilização de remineralizador de solo como fertilizante. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.8, p. 56835-56847, 2020.

ALTARUGIO, L.M; LOMAN, M.H; NIRSCHL, M.G; SILVANO, R.G, ZAVASCHI, E, CARNEIRO, L.M.S, VITTI, G.C, LUZ, P.H.C; OTTO, R; **Desempenho produtivo de soja e milho submetidos à pulverização foliar de magnésio. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52 n.12, p.1185-1191. 20.

Ba, Q.; Zhang, L.; Chen, S.; Li, G.; Wang, W. Effects of foliar application of magnesium sulfate on photosynthetic characteristics, dry matter accumulation and its translocation, and carbohydrate metabolism in grain during wheat grain filling. **Cereal Res. Commun.** 2020, 48, 157–163

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997, 285 p. (Boletim técnico, 100).

CEYLAN, Y.; KUTMAN, U.B.; MENGUTAY, M.; CAKMAK, I. Magnesium applications to growth medium and foliage affect the starch distribution, increase the grain size and improve the seed germination in wheat. **Plant Soil** 2016, 406, 145–156

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO 2022. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Safra de grãos é estimada em 313 milhões de toneladas impulsionada pela soja**. Brasília. safra 2022/2023.

CROP SCIENCE US. Late season soybean nutrient deficiency identification. In: Bayer. 2023. Disponível em: [https://www.cropscience.bayer.us](https://www.cropsscience.bayer.us). Acesso em: 18 jul. 2024.

EICHERT, Thomas; FERNÁNDEZ, Victoria. Captação e liberação de elementos por folhas e outras partes aéreas de plantas. Em: **Marschner's Mineral Nutrition of Plants** . Academic Press, 2023. p. 105-129.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3a ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. 353 p.

FARHAT, N.; ELKHOUNI, A.; ZORRIG, W.; SMAOUI, A.; ABDELLY, C.; RABHI, M. Effects of magnesium deficiency on photosynthesis and carbohydrate partitioning. **Acta Physiol. Plant.** 2016, 38, 145

FERNÁNDEZ, V.; SOTIROPOULOS, T.; BROWN, P. **Adubação foliar: Fundamentos científicos e técnicas de campo.** São Paulo: Abisolo, 2015.

FERNÁNDEZ, V.; SOTIROPOULOS, T.; BROWN, H. **Foliar fertilization: scientific principles and field practices.** International fertilizer industry association, 2013.

FIORIN, J.E., VOGEL, P.T., BORTOLOTTI, R. P. Métodos de aplicação e fontes de fertilizantes para a cultura da soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.11, n.2, p.92-97, 2016.

GALBARDI, G. L. S. e SIMONETTI, A. P. M. M. Adubação nitrogenada via foliar realizada em diferentes épocas na cultura da soja. **Revista Cultivando Saber**, v.12. n.4, 2019.

GRAHAM, Peter H.; VANCE, Carroll P. Legumes: importance and constraints to greater use. **Plant Physiology**, v. 131, n. 3, p. 872-877, 2003

GRANSEE, A.; FÜHRS, H. Mobilidade do magnésio no solo como um desafio para análise de solo e planta, fertilização com magnésio e absorção radicular em condições adversas de crescimento. **Plant e Soil**, v.368, p.5-21, 2013. DOI: 10.1007/s11104-012-1567-y.

LYNCH, JP; ST. CLAIR, SB Estresse mineral: o elo perdido na compreensão de como a mudança climática global afetará as plantas em solos do mundo real. **Field Crops Research**, v.90, p.101-115, 2004. DOI: 10.1016/j.fcr.2004.07.008.

MARSCHNER, Horst (Ed.). **Nutrição mineral de plantas superiores de Marschner.** Academic press, 2011.

MENGEL, K.; KIRKBY, EA (Org.). **Princípios de nutrição vegetal.** 5a ed. Dordrecht: Springer, 2001. 849p. DOI: 10.1007/978-94-010-1009-2.

MORARD, P.; PUJOS, A.; BERNADAC, A.; BERTONI, G. **Effect of temporary calcium deficiency on tomato growth and mineral nutrition.** **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v. 19, n. 1, p. 115-127, 1996. <https://doi.org/10.1080/01904169609365111>

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: POTAFOS, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: IAC, 2001. 285 p.

RODRIGUES, V.A.; CRUSCIOL, C.A.C.; BOSSOLANI, J.W.; MORETTI, L.G.; PORTUGAL, J.R.; MUNDT, T.T.; DE 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** 2021, 10, 797. <https://doi.org/10.3390/plants10040797>

ROSOLEM, C. A. **Recomendação e aplicação de nutrientes via foliar**. Lavras: UFLA/FAEP. 2002. 98 p.

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

UT CROPS NEWS. **Magnesium deficiency in corn and soybean**. In: University of Tennessee. 2023. Disponível em: <https://news.utcrops.com>. Acesso em: 18 jul. 2024.

WHITE, P.J. Ion uptake mechanisms of individual cells and roots: Short-distance transport. **In Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants; Marschner, P., Ed.**; Academic Press: San Diego, CA, USA, 2012; pp. 7–47.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of botany**, v. 92, n. 4, p. 487-511, 2003.