

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

Instituto de Ciências Agrárias - ICA

Luana Gabriela Gallert

**EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELA CULTURA DA SOJA EM
LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO SOB DIFERENTES TIPOS DE
CORRETIVO NO MUNICÍPIO DE UNAÍ-MG**

Unaí

2024

Luana Gabriela Gallert

**EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELA CULTURA DA SOJA EM
LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO SOB DIFERENTES TIPOS DE
CORRETIVO NO MUNICÍPIO DE UNAÍ-MG**

Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Engenheiro(a) Agrônomo(a).

Orientador: Prof. Dr. Alceu Linares Pádua Junior
Co-orientador: Paulo Sérgio Cardoso Batista

**Unai
2024**

Luana Gabriela Gallert

**EXTRAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELA CULTURA DA SOJA
EM LATOSSOLO AMARELO DISTRÓFICO SOB DIFERENTES TIPOS DE
CORRETIVO NO MUNICÍPIO DE UNAÍ-MG**

Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Engenheiro(a) Agrônomo(a).

Orientador: Prof. Dr. Alceu Linares Pádua Junior

Co-orientador: Paulo Sérgio Cardoso Batista

Data de aprovação 09/07/2024.

Prof. Dr. Alceu Linares Pádua Junior
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

Prof. Dr. Alessandro Nicoli
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

Prof. Dr. Sérgio Macedo Silva
Instituto de Ciências Agrárias - UFVJM

Unaí

*“Busque a liberdade e se tornará escravo dos desejos.
Busque a disciplina e encontrará a liberdade”*
- Frank Herbert.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus mais sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para a realização deste trabalho e para a minha formação acadêmica. Primeiramente, agradeço a Deus, cuja orientação e graça me conduziram ao longo desta jornada, permitindo-me conquistar o primeiro grande sonho de muitos que ainda estão por vir. Sem Ele, nada disso seria possível.

Aos meus pais, Luiz Gallert e Diloná Gallert, sou profundamente grata pelo amor incondicional, pelo apoio constante e pelo incentivo inabalável ao longo desses cinco anos de graduação. Vocês foram e sempre serão meus maiores pilares.

Aos meus irmãos Luiz Felipe, Luiz Gabriel e à minha irmã Larissa, agradeço a companhia, pelas broncas e pelas risadas compartilhadas. Vocês são meu tudo e não sei o que faria sem vocês.

Ao meu companheiro João Pedro, que esteve sempre ao meu lado, mesmo de tão longe, agradeço profundamente. Suas palavras, seu apoio e sua presença foram fundamentais para que eu chegasse até aqui.

A todos os amigos e colegas que estiveram presentes durante os anos de graduação, agradeço por tornarem essa caminhada mais leve e agradável com suas presenças e contribuições.

A todos os docentes do Instituto de Ciências Agrárias por todo o conhecimento compartilhado e pelo suporte oferecido ao longo desses anos.

Agradeço também aos Engenheiros Agrônomos Siudinei e Richard pela oportunidade de aprendizado e por todo o suporte ao longo desse período.

À banca examinadora, composta pelo Prof. Dr. Sérgio Macedo Silva e pelo Prof. Dr. Alessandro Nicoli, expresso minha gratidão por contribuírem significativamente para minha formação acadêmica e por me ensinarem, entre tantas coisas, que o caminho do combate às plantas daninhas é Cletodim + Glifosato + 2,4-D.

Ao co-orientador Paulo Sérgio Cardoso Batista, agradeço pela amizade, companheirismo e, principalmente, por todo o suporte oferecido no desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso.

De modo especial, agradeço ao Prof. Dr. Alceu Linares Pádua Júnior pela confiança, ensinamentos e orientação ao longo desse processo.

A todos os mencionados e àqueles que, de alguma forma, contribuíram para este trabalho e para minha formação acadêmica, expresso a minha mais sincera gratidão.

RESUMO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das culturas de maior importância socioeconômica do mundo e que apresenta distintas taxas de extração e exportação de nutrientes conforme o tipo de ambiente. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a extração e exportação de nutrientes via tecido foliar pela soja e seu reflexo na produção de grãos, em função da aplicação de diferentes corretivos de acidez no fornecimento de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg). O experimento foi conduzido em um Latossolo Amarelo Distrófico, na região de Unaí-MG. O delineamento foi em parcelas subdivididas em esquema fatorial com três tratamentos, dois anos de avaliação e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em calcário em pó convencional, fertilizante mineral misto granulado a base de Ca e Mg e um controle nas safras 2022/23 e 2023/24 em sistema de sequeiro. Na safra 2022/23 foi aplicado os insumos antes da semeadura da soja e na safra 2023/24 foi avaliado o efeito residual dos tratamentos. Os resultados foram submetidos a uma análise de variância (teste F) e comparados pelo teste de Tukey a 5% de significância. Os resultados demonstraram que houve aumento da massa seca da parte aérea com o fornecimento de Ca e Mg no solo, com maiores resultados no ano de 2022/23. A aplicação do fertilizante apresentou maior efeito sobre a extração em relação a exportação. Os nutrientes mais extraídos foram K, Ca, Mg, P, S, B e Zn, e o B foi o mais exportado. O tratamento com fertilizante contribuiu para o incremento de 5,6 e 10 sacas por hectare para as safras 2022/23 e 2023/24 respectivamente quando comparado ao controle. O uso do fertilizante permitiu o aumento de 5 sacas de soja em relação ao tratamento com corretivo na soma dos dois anos de estudo. Portanto, a utilização de fertilizantes granulados a base de Ca e Mg mesmo que aplicado 30% da dose equivalente ao calcário obteve resultados semelhantes ou superiores na extração de nutrientes.

Palavras-chave: Adubação, calcário, glycine max, tecido vegetal.

ABSTRACT

Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) is one of the most socioeconomically important crops in the world and has specific rates of extraction and export of nutrients depending on the type of environment. Therefore, the objective of this work was to evaluate the classification and export of nutrients via leaf tissue by soybeans and their impact on grain production, due to the application of different acidity correctors not containing Calcium (Ca) and Magnesium (Mg). The experiment was conducted in a Dystrophic Yellow Oxisol, in the region of Unaí-MG. The design was in subdivided plots in a factorial scheme with three treatments, two years of evaluation and four replications. The treatments consisted of conventional powdered limestone, granulated mixed mineral fertilizer based on Ca and Mg and a control in the 2022/23 and 2023/24 harvests in a rainfed system. In the 2022/23 harvest, the inputs were applied before soybean sowing and in the 2023/24 harvest, the residual effect of the treatments was evaluated. The results were subjected to an analysis of variance (F test) and compared using the Tukey test at 5% significance. The results demonstrated that there was an increase in the dry mass of the aerial part with the supply of Ca and Mg in the soil, with greater results in the year 2022/23. The application of fertilizer had a greater effect on protection in relation to exports. The most extracted nutrients were K, Ca, Mg, P, S, B and Zn, and B was the most exported. Fertilizer treatment contributed to an increase of 5.6 and 10 bags per hectare for the 2022/23 and 2023/24 harvests respectively when compared to the control. The use of fertilizer allowed an increase of 5 bags of soybeans in relation to the corrective treatment in the sum of the two years of study. Therefore, the use of granular fertilizers based on Ca and Mg, even when applying 30% of the dose equivalent to limestone, obtained similar or superior results in nutrient removal.

Keywords: Fertilization, glycine max, limestone, plant tissue.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características químicas dos corretivos de acidez.	17
Tabela 2 - Quantidade média de nutrientes extraídos e exportados pela cultura da soja para produção de uma megagrama de grãos.....	19
Tabela 3 - Resultados da análise do solo para as camadas 0-20, 20-40 e 80-100 cm, no município de Unaí-MG.....	20
Tabela 4 - Produtos fitossanitários utilizados na cultura da soja no município de Unaí-MG. .	22
Tabela 5 - Massa fresca e massa seca da parte aérea dos tratamentos controle, calcário e fertilizante nas safras 2022/23 e 2023/24 (g).....	24
Tabela 6 - Extração e exportação do macronutriente Cálcio (Ca) na cultura da soja em função do ano de avaliação (kg ha^{-1}).....	25
Tabela 7 - Extração e exportação do macronutriente Magnésio (Mg) na cultura da soja em função do ano de avaliação (kg ha^{-1}).....	27
Tabela 8 - Extração e exportação do macronutriente Nitrogênio (N) na cultura da soja em função do ano de avaliação (kg ha^{-1}).....	28
Tabela 9 - Extração e exportação do macronutriente Fósforo (P) na cultura da soja em função do ano de avaliação (kg ha^{-1}).....	29
Tabela 10 - Extração e exportação do macronutriente Potássio (K) na cultura da soja em função do ano de avaliação (kg ha^{-1}).....	30
Tabela 11 - Extração e exportação do macronutriente Enxofre (S) na cultura da soja em função do ano de avaliação (kg ha^{-1}).....	31
Tabela 12 - Extração e exportação do micronutriente Boro (B) na cultura da soja em função do ano de avaliação (g ha^{-1}).....	33
Tabela 13 - Extração e exportação do micronutriente Zinco (Zn) na cultura da soja em função do ano de avaliação (g ha^{-1}).....	34
Tabela 14 - Extração e exportação do micronutriente Ferro (Fe) na cultura da soja em função do ano de avaliação (g ha^{-1}).....	35
Tabela 15 - Extração e exportação do micronutriente Manganês (Mn) na cultura da soja em função do ano de avaliação (g ha^{-1}).....	36
Tabela 16 - Extração e exportação do micronutriente Cobre (Cu) na cultura da soja em função do ano de avaliação (g ha^{-1}).....	37
Tabela 17 - Comparativo de custo ($\text{R\$ ha}^{-1}$) e rendimento (sc ha^{-1}) por hectare das diferentes fontes de Cálcio e Magnésio.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio
B	Boro
Ca	Cálcio
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CTC _{ef}	Capacidade de troca de cátions efetiva
CTC _{pH 7,0}	Capacidade de troca de cátions potencial
Cu	Cobre
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fe	Ferro
H ⁰ + Al ³⁺	Acidez potencial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
K	Potássio
KCl	Cloreto de potássio
m	Saturação por alumínio
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
P	Fósforo
S	Enxofre
SS	Superfosfato simples
V	Saturação por bases
Zn	Zinco
Mo	Molibdênio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo geral	12
2.2. Objetivos específicos	12
3. REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1. Origem e botânica e importância econômica da soja	13
3.2. Acidificação dos solos do cerrado	13
3.3. Corretivos de acidez e fertilizantes alternativos	16
3.4. Extração e exportação de nutrientes	18
4. MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1. Caracterização da área experimental	20
4.2. Caracterização do solo	20
4.3. Tratamentos, material genético e manejo aplicado	21
4.4. Avaliações nos tecidos vegetais	22
4.5. Delineamento experimental e análise estatística	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
6. CONCLUSÕES	40
7. REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma das culturas agrícolas de maior importância socioeconômica em todo mundo. Seu grão é rico em proteínas e amplamente explorado no setor agroindustrial, sobretudo na produção de óleo vegetal, ração animal e, mais recentemente, como biocombustível (USDA, 2014).

O Brasil é o maior produtor de soja do mundo, seguido pelos Estados Unidos. Atualmente, possui uma área cultivada de 54.177,9 mil ha, com produtividade média de 3.251 Kg por hectare, tendo sua produção para o ano de 2024 estimada em 146.858,5 mil toneladas, 5% a menos em relação à safra anterior, devido às condições climáticas desfavoráveis no início do ciclo (CONAB, 2024). De acordo com o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), o estado de Minas Gerais abrange 11 dos municípios mais ricos do país, com destaque para Unaí em primeiro lugar e em 23º do ranking geral brasileiro. O município de Unaí possui sua produção estimada de soja de 710,4 mil toneladas, com rendimento aproximado de R\$3,47 bilhões (IBGE, 2023).

Nos últimos anos, o rendimento da soja no Brasil cresceu devido à melhoria do manejo e fertilidade do solo, que visa aumentar a disponibilidade de nutrientes e reduzir fatores limitantes ao desenvolvimento radicular. No entanto, perdas de produtividade ainda ocorrem devido à aplicação incorreta de conceitos de manejo do solo, falhas na interpretação, subutilização ou falta de interesse pela adoção da análise de tecido vegetal, resultando em menor eficiência dos fertilizantes utilizados e desbalanço nutricional. Além disso, os custos dos fertilizantes possuem impacto direto na rentabilidade da cultura (Oliveira *et al.*, 2023).

Para contornar este problema, a busca por produtos formulados de maior solubilidade e mobilidade pode se tornar uma boa alternativa para a correção do solo, sobretudo no fornecimento de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) (Firmano *et al.*, 2017). De acordo com Neto *et al.* (2020), a granulometria é um fator importante para a dissolução do calcário, pois quanto maior a área superficial, maior é o contato com o solo e, conseqüentemente mais rápido os nutrientes são disponibilizados para as plantas. Caires & Joris (2016), elucidam que a desvantagem da utilização de partículas muito finas de corretivo possui limitação quanto a forma de aplicação no solo, sendo a forma granulada protegida da deriva do vento, o que permite uma aplicação mais uniforme.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo analisar a extração e exportação de nutrientes na cultura da soja cultivada em sistema de sequeiro, sob diferentes corretivos no

solo, no município de Unaí-MG, Minas Gerais. Tais resultados poderão auxiliar na tomada de decisão e na recomendação da quantidade adequada de adubação para as culturas subsequentes, podendo reduzir custos e contribuir para a sustentabilidade do agronegócio.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é analisar a extração e exportação de nutrientes na cultura da soja cultivada em sistema de sequeiro, sob diferentes corretivos no solo, no município de Unaí-MG.

2.2. Objetivos específicos

- Comparar a influência do corretivo e do fertilizante, ambos de matéria prima calcária, na extração e exportação de nutrientes.
- Verificar o efeito residual dos tratamentos na disponibilidade de nutrientes no tecido vegetal e grãos da soja na safra posterior a aplicação dos insumos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Origem e botânica e importância econômica da soja

A soja (*Glycine max* L. Merrill) possui como centro de origem a região central e oeste da China, considerada como o centro genético primário, e logo se espalhou para a Coreia, Japão e sudeste asiático. No Brasil, a soja foi introduzida no século XIX com início de sua produção na Bahia, se expandindo para o sudeste e sul do país (Campelo *et al.*, 1998). A maior parte dessa produção é destinada à indústria, sobretudo como matéria-prima para a fabricação de proteínas, óleos e biocombustíveis (Chen *et al.*, 2012). Além disso, o farelo, um subproduto da extração do óleo de soja, é utilizado como importante alimento para a pecuária (Soratto *et al.*, 2022).

A soja cultivada no Brasil, para a produção de grãos, é uma planta herbácea, da classe Rosidae, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Papilionoideae, tribo Phaseoleae, gênero *Glycine* L., espécie *Glycine max* (L.) (Gazzoni, 1994). As principais variedades comerciais possuem caule híspido e pouco ramificado, com raízes bem desenvolvidas. As folhas são trifolioladas, exceto o primeiro par, que é simples. As flores, autógamas e típicas da subfamília Papilionoideae, variam em cor de branco a roxo. As vagens arqueadas mudam de cor à medida que amadurecem, passando de verde para amarelo-pálido, marrom-claro, marrom ou cinza, e contêm de uma a cinco sementes lisas, elípticas ou globosas. A soja pode ter crescimento indeterminado, determinado ou semideterminado. As cultivares brasileiras de soja são classificadas em grupos de maturação (GM), com base no seu ciclo. Essa classificação varia conforme a região, para Minas Gerais, os GM são: semiprecoce (101 a 110 dias); médio (111 a 125 dias); semitardio (125-145 dias); tardio (>145 dias), (EMBRAPA, 2008).

O Brasil se destaca como o maior produtor de soja e responde por cerca de 35% da produção mundial (CONAB, 2023). Possui grande potencial de produtividade, podendo alcançar 134,46 sc h⁻¹, como demonstrado no Desafio Nacional de Máxima Produtividade de Soja, promovido pelo Comitê Estratégico Soja Brasil - CESB na safra 2022/23 (CESB, 2023). Tais resultados demonstram que o manejo e as condições edafoclimáticas viabilizam produtividades próximas ao potencial da cultura (Moraes *et al.*, 2019).

3.2. Acidificação dos solos do cerrado

O Cerrado ocupa mais de 2.000.000 km², representando aproximadamente 23% do território nacional, sendo o segundo maior bioma do país. (Ab'Saber, 1983). O bioma ocorre

em altitudes que variam de 300 m a 1.600 m (Lopes, 1984), e abrange a maior parte do Brasil Central, e engloba os estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins, parte do Maranhão e de Minas Gerais, Bahia, Piauí e uma pequena extensão nos estados de São Paulo e Paraná (Sano *et al.*, 2010).

No Brasil, os Latossolos são de extrema importância econômica, ocupando cerca de 31,6% do país (Santos *et al.*, 2011). De acordo com Lepsch (2021), ocorre uma intensa ferralitização nos solos intemperizados, resultando na perda de silício nos horizontes A e B do solo, enquanto há acúmulo de oxihidróxidos de ferro e alumínio nestes mesmos horizontes. Esse processo é característico da formação de solos envelhecidos, que frequentemente apresentam horizontes Bw ou Bt. O Latossolo Amarelo (LA) é um exemplo desse tipo de solo. Seu horizonte B geralmente possui uma matiz úmida de 2,5 YR, 5YR, 7,5YR, 10YR, 2,5Y ou 5Y. Os Latossolos são solos muito intemperizados, profundamente drenados, ácidos e predominantemente distróficos. Comumente encontrados em áreas com relevo plano a suavemente ondulado, o que facilita sua mecanização e até mesmo a ocupação urbana ou industrial.

A acidificação do solo é um processo comum na agricultura, caracterizado pela redução do pH do solo para valores abaixo de 7. Esse fenômeno é resultado do aumento da concentração de íons hidrogênio (H^+) no solo, tornando-o mais ácido. Tanto fatores naturais quanto antropogênicos influenciam a acidificação do solo, sendo crucial compreender suas causas e os impactos negativos que pode causar às plantas (Dourado, 2018). Dentre os principais fatores que contribuem para a acidificação do solo, o principal de origem antrópica é o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados (Gatto, 2023).

Schroder *et al.* (2011) observou a diminuição do pH com o tempo decorrido da aplicação de fertilizantes nitrogenados, bem como aumento do teor de alumínio trocável. Tal fato ocorre pois o sulfato de amônio acidifica o solo durante a fase de nitrificação (transformação do NH_4^+ em NO_3^-). Durante o processo são liberados dois íons H^+ para cada NH_4^+ adicionado ao solo. Como o sulfato de amônio contém dois NH_4^+ , a nitrificação do amônio proveniente do fertilizante produz quatro íons H^+ . A acidificação pelo uso da ureia é causada pelas mesmas reações, porém, o processo de nitrificação produz apenas dois H^+ (Chien *et al.*, 2008).

A acidificação do solo causada pelo sulfato de amônio e pela ureia elevam os teores de H^+ e Al^{3+} que substituem o Ca^{2+} e Mg^{2+} nos sítios de troca da matéria orgânica. O decréscimo

dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} é prejudicial para as culturas porque os dois elementos são macronutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas (Ronquim, 2020).

Outra causa importante da acidificação é a lixiviação de íons ácidos, como sulfato (SO_4^{2-}) e cloreto (Cl^-), provenientes de fertilizantes e restos de culturas. Esses íons ácidos podem ser transportados pela água da chuva ou irrigação e percolar no solo, atingindo camadas mais profundas (Dourado, 2018). Nesse sentido, o acúmulo de MO tende a acidificar o solo devido à formação de complexos solúveis com cátions básicos ($\text{R-OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{R-O}^- + \text{H}_3\text{O}^+$), facilitando sua perda por lixiviação, ou ainda pela dissociação dos grupos ácidos funcionais fenólicos e carboxílicos ($\text{R-COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{R-COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$), que podem vir a liberar íons H^+ (Ronquim, 2020).

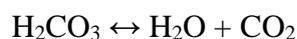
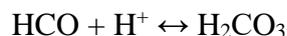
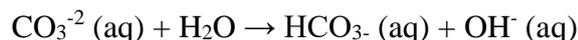
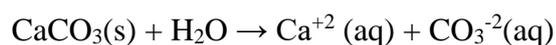
Com a dissolução do pH decorrente do processo de acidificação, ocorre maior intemperismo dos minerais de argila, promovendo o aumento do Al^{3+} na solução do solo, liberando íons H^+ por meio de hidrólise, de acordo com a reação: $\text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$ (Motuzova *et al.*, 2013).

Além disso, a aplicação de calcário, usada para corrigir a acidez, às vezes é inadequada, o que também contribui para a acidificação (Gatto, 2023). Fatores naturais, como a composição geológica do solo e as condições climáticas, também desempenham um papel na acidificação. Solos formados a partir de rochas ricas em minerais ácidos tendem a ser naturalmente ácidos. Além disso, as chuvas ácidas, resultantes da poluição atmosférica, podem contribuir para a acidificação. A acidez do solo pode afetar negativamente a atividade microbiana, influenciando a ciclagem de nutrientes e decomposição da matéria orgânica, afetando a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Simões, 2019).

Diante desse cenário, a correção da acidez do solo torna-se fundamental para o manejo agrícola, visando evitar prejuízos ao desenvolvimento das plantas e garantir a disponibilidade de nutrientes essenciais. Para isso, são utilizados diferentes tipos de corretivos de acidez, como calcários e materiais alternativos (Raymundo *et al.*, 2013).

Ebeling *et al.*, (2008) elucida que a acidez do solo é dividida em três componentes: acidez ativa, que corresponde à atividade dos íons H^+ em solução através de medidor de pH ou potenciômetro; acidez trocável, que representa a quantidade de Al^{3+} adsorvido nos colóides do solo e; acidez potencial, que corresponde à soma da acidez trocável com os íons H^+ adsorvidos nos colóides por meio do uso de uma solução tampão.

De acordo com Kaminski *et al.* (2007), as reações do calcário no solo ocorrem de acordo com as seguintes equações:



À medida que a reação do íon CO_3^{-2} , com os prótons presentes na solução avança [$\text{CO}_3^{-2}(\text{aq}) + \text{H}^{+} \leftrightarrow \text{HCO}_3^{-}(\text{aq})$], o equilíbrio da reação [$\text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca}^{+2}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{-2}(\text{aq})$] se desloca na direção dos produtos gerando mais íons Ca^{+2} e íons CO_3^{-2} em solução. Como os íons CO_3^{-2} são consumidos pelos prótons, como resultado da soma das reações $\text{OH}^{-} + \text{H}^{+} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ e $\text{HCO}_3^{-} + \text{H}^{+} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ [$\text{CO}_3^{-2} + \text{H}^{+} \rightarrow \text{HCO}_3^{-}$], a concentração de íons Ca^{+2} em solução necessária para manter constante o produto de solubilidade [$(\text{Ca}^{+2})(\text{CO}_3^{-2}) = 10^{-8,4}$] torna-se maior em relação aos íons CO_3^{-2} . A dissolução do calcário no solo é impulsionada pelos prótons, aumentando a concentração de íons Ca^{+2} necessária para manter o equilíbrio de solubilidade.

À medida que o pH aumenta devido ao consumo de calcário, menos íons CO_3^{-2} estão disponíveis para neutralizar prótons adicionais. Em pH baixo, a geração de OH^{-} é superior ao consumo, elevando o pH. No pH de 8,3, as taxas de geração e consumo de OH^{-} se igualam, estabilizando as concentrações de íons CO_3^{-2} e Ca^{+2} em solução. Portanto, reaplicar calcário em solos inicialmente com pH alto diminui sua solubilização (Kaminski *et al.* (2007).

Ainda, segundo o mesmo autor, a reação do calcário no solo é lenta e depende da presença de prótons na solução do solo e são limitadas ao contato com as partículas de corretivo, visto que a solubilidade depende da presença de H^{+} na solução do solo.

Valores de pH do solo acima do recomendado pode acarretar deficiências de nutrientes para as culturas como ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn) (Malavolta; Vitti; Oliveira, 1997).

3.3. Corretivos de acidez e fertilizantes alternativos

A Instrução Normativa N° 35, de 4 de julho de 2006 (BRASIL, 2006), define e regula a utilização de corretivos de acidez, alcalinidade e sodicidade no solo, visando a melhoria das condições edafoclimáticas e a maximização da produtividade agrícola. De acordo com esta normativa, um corretivo de acidez é um produto destinado a corrigir a acidez do solo e fornecer cálcio (Ca) e/ou magnésio (Mg).

A normativa também detalha as especificações técnicas que os corretivos devem atender, incluindo o poder de neutralização (PN), que é a capacidade total de bases

neutralizantes contidas no corretivo de acidez, expressa em equivalente de Carbonato de Cálcio (% de CaCO_3). A reatividade das partículas (RE) indica o percentual do corretivo que reage no solo em três meses, e o poder relativo de neutralização total (PRNT) refere-se ao conteúdo de neutralizantes que reagirá no solo nesse mesmo período, também expresso em equivalente de Carbonato de Cálcio.

Os corretivos de acidez, alcalinidade e sodicidade devem ter uma natureza física sólida e atender a padrões específicos de granulometria. Por exemplo, devem passar 100% em uma peneira de 2 milímetros (ABNT nº 10), no mínimo 70% em uma peneira de 0,84 milímetros (ABNT nº 20) e no mínimo 50% em uma peneira de 0,3 milímetros (ABNT nº 50). Produtos que atendem a esses critérios granulométricos podem conter a expressão "ULTRAFINO" ou "FILLER" em seu nome.

Os corretivos de acidez possuem garantias mínimas de poder de neutralização, soma dos óxidos (%CaO + %MgO) e PRNT (tabela 1). O calcário agrícola deve ter um PN mínimo de 67% de CaCO_3 , uma soma mínima de 38% CaO + MgO e um PRNT mínimo de 45%. A fórmula para calcular o PRNT é $\text{PRNT (\%)} = \text{PN} \times \text{RE} / 100$, levando em consideração a reatividade específica das partículas com base em sua granulometria.

Tabela 1 - Características químicas dos corretivos de acidez.

Material Corretivo de acidez	PN (% E CaCO_3) Mínimo	SOMA % CaO + %MgO Mínimo	PRNT Mínimo
Calcário agrícola	67	38	45
Calcário calcinado agrícola	80	43	54
Cal hidratada virgem	94	50	90
Cal virgem agrícola	125	68	120
Parâmetros de referência para outros corretivos de acidez	67	38	45

Fonte: Adaptado de Brasil, 2006.

Já a Instrução Normativa nº 5, de 23 de fevereiro de 2007 (Brasil, 2007), estabelece definições e normas para especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes minerais destinados à agricultura no Brasil. Esta norma, aprovada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), segue as diretrizes do Decreto nº 5.741/2006 e regulamenta aspectos importantes sobre a composição e comercialização desses produtos.

Fertilizantes que fornecem Ca e Mg na forma de sulfatos ou nitratos, não possuem capacidade de neutralizar a acidez do solo, visto que tais compostos são solúveis em água e, quando aplicados no solo, liberam íons que serão prontamente absorvidos pelas plantas, não reagindo com o ácido presente para elevar seu pH, que é uma das características principais dos corretivos.

Denomina-se efeito residual de um corretivo o tempo de duração da correção e depende de vários fatores como a dosagem do corretivo, tipo de solo, adubações e a intensidade de cultivo. A reatividade também é um fator importante no efeito residual. Portanto, quanto mais rápida a ação, menor será a duração da calagem (EMBRAPA, 2008).

O calcário em pó possui granulometria muito pequena e densidade baixa, tornando a qualidade da sua aplicação vulnerável à ação do vento quando lançados, podendo ocasionar a deriva do produto. Na forma peletizada (calcário finamente moído compactado em grânulos), o corretivo é protegido da deriva do vento, proporcionando aplicação mais uniforme e precisa (Caires & Joris, 2016).

Dessa forma, as tecnologias de revestimento de fertilizante visam a liberação controlada de nutrientes, minimizando perdas por lixiviação e volatilização, e tendem a aumentar sua eficiência, bem como reduzir impactos ambientais associados ao uso excessivo de fertilizantes (Zapotoski *et al.*, 2023).

3.4. Extração e exportação de nutrientes

A demanda nutricional das culturas pode ser estimada através da avaliação dos resultados de extração e exportação de nutrientes. A extração refere-se à quantidade total de nutrientes que a planta retira do solo para completar seu ciclo de vida, enquanto a exportação diz respeito ao percentual desses nutrientes que é removido durante a colheita (EMBRAPA, 2013). É importante considerar que, quanto maior a produtividade, maior será a quantidade de nutrientes exportados e, conseqüentemente, maior será a necessidade de reposição via fertilizantes para suprir a demanda nutricional da cultura no próximo ciclo (Fundação MT, 2018; Taiz *et al.*, 2017).

A taxa de absorção de nutrientes pelas plantas acompanha a taxa de produção de massa seca, atingindo seu pico durante o florescimento pleno e o início do desenvolvimento das vagens, reduzindo-se gradativamente até a senescência (Oliveira Júnior *et al.*, 2016). Nesse período, a taxa de acúmulo de nutrientes varia de 70 a 100 kg ha⁻¹ dia⁻¹ (Melo *et al.*, 2024).

Segundo a EMBRAPA (2013), para cada megagrama (Mg) de grãos de soja produzidos, são necessários aproximadamente 83 kg de N, 15 kg de P₂O₅, 38 kg de K₂O, 12 kg de Ca, 7 kg de Mg e 15 kg de S. Filippi et al. (2019) observaram que a soja exporta, em média, 99 kg de macronutrientes por tonelada de grãos, distribuídos da seguinte forma: 61 kg de N, 12 kg de P₂O₅, 18 kg de K₂O, 2,2 kg de Ca, 2,3 kg de Mg e 3,2 kg de S. A Tabela 2 apresenta a média de extração e exportação de nutrientes conforme divulgada pelo Organismo de Certificação de Produtos (OCP).

Tabela 2 - Quantidade média de nutrientes extraídos e exportados pela cultura da soja para produção de uma megagrama de grãos.

Demanda	-----(kg Mg ⁻¹)-----						----- (g Mg ⁻¹)-----					
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	Fe	Mo
Extração	85,5	17,9	42,6	16	8,3	8,5	71,3	33,8	151,5	79,8	331,7	6,5
Exportação	59	12,1	21,4	2,8	2,4	3,9	25,5	18,2	36,6	50,2	81,2	5

Fonte: Boletim OCP (2021).

Guidorizzi et al. (2023), em seu estudo sobre leguminosas, determinaram que o feijão requer aproximadamente 65 kg de N, 12 kg de P₂O₅, 70 kg de K₂O, 40 kg de Ca, 12,3 kg de Mg e 14 kg de S para cada megagrama de grãos produzidos. Em termos de exportação, os valores são de 36 kg de N, 8 kg de P₂O₅, 17 kg de K₂O, 3 kg de Ca, 2 kg de Mg e 6 kg de S por megagrama de grãos.

Além disso, o mesmo autor aponta que a extração de micronutrientes do solo pelo feijão pode chegar a 33 g de Cu, 1004 g de Fe, 135 g de Mn, 101 g de Zn, 91 g de B, 6 g de Se, 0,5 g de Co, 6 g de Mo e 2 g de Ni por megagrama de grãos. Em termos de exportação, os valores são de 13 g de Cu, 102 g de Fe, 16 g de Mn, 44 g de Zn, 14 g de B, 2 g de Se, 0,18 g de Co, 4 g de Mo e 0,6 g de Ni por megagrama de grãos produzidos.

A análise de tecido foliar é, portanto, uma técnica essencial para verificar desbalanços nutricionais, toxicidade e desequilíbrio, bem como para avaliar o estado nutricional das plantas dentro de um programa de adubação. Conforme já destacado por Evenhuis *et al.*, (1980), essa prática permite o monitoramento e a avaliação contínua do sistema de fertilização, possibilitando intervenções via foliar ou ajustes para o próximo ciclo agrícola, garantindo assim a saúde e a produtividade das culturas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em uma área de produção comercial, sob as coordenadas -15.978847 sul e -46.598830 oeste, localizada no município de Unaí-MG, de altitude de 938 m, cuja temperatura média varia entre 14 e 32°C e, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, é caracterizada como Aw, de clima tropical com inverno seco, com precipitação anual aproximada de 1800 mm.

4.2. Caracterização do solo

De acordo com o SISBIC – Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Santos *et al.*, 2018), o solo da área experimental foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico.

Para a identificação do solo, foi realizado o levantamento técnico na área em agosto de 2022, período anterior ao cultivo da soja. Para isso, foram realizadas a coleta de 12 amostras compostas, com o auxílio do trado holandês, nas profundidades de 0-20; 20-40 e 80-100 cm. Em cada ponto de coleta foram realizadas quatro coletas de amostras simples, que formaram uma amostra composta.

O material foi acondicionado, identificado, transferido para o laboratório CAMPO, localizado no município de Paracatu-MG. De acordo com a metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1997), para a análise de solo foram considerados: pH em KCl, pH em CaCl₂ e pH em H₂O, K, P, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, Acidez Potencial (H+Al), Soma de bases (SB), CTC total a pH 7,00, V%, Saturação por alumínio (m%). Os valores médios dos parâmetros químicos do solo estão representados na tabela 3.

Tabela 3 - Resultados da análise do solo para as camadas 0-20, 20-40 e 80-100 cm, no município de Unaí-MG.

Profundidade (cm)	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	MO (Dag Kg ⁻¹)	P	K	S	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m
				----- (mg) -----			----- (cmolc. dm ⁻³) -----						-- (%) --	
0-20	5,56	4,78	0,67	23,04	132,56	4,9	2,2	0,83	0,1	2,81	3,37	6,18	55	2,9
20-40	5,0	4,3	0,54	2,0	80,0	12,0	1,2	0,3	0,1	2,6	1,7	4,3	39,5	5,5
80-100	4,7	4,0	0,4	1,0	50	8,0	0,5	0,2	0,0	2,0	0,83	2,83	29,3	0,0

Fonte: Laboratório CAMPO, 2022.

4.3. Tratamentos, material genético e manejo aplicado

O fertilizante testado em relação ao calcário convencional é comercializado como fertilizante mineral misto, recomendado para o fornecimento de Ca e Mg, com aplicação diretamente sob o solo, em cova ou sulco de plantio. É composto por carbonato de cálcio (CaCO_3) e carbonato de magnésio (MgCO_3), com propriedades físico-químicas de um sólido granulado e de coloração cinza. Sua formulação inclui 33,5% CaO e 13,27% MgO. O material em pó, passa por um processo de granulação com adição de amido de milho ou de mandioca e foi aplicado em sulco de plantio.

O corretivo aplicado é o calcário em pó tradicional com composição química de 30% CaO e 12% MgO, aplicado à lanço por meio de implemento distribuidor de calcário.

A aplicação do calcário e do fertilizante foi realizada apenas na safra 2022/23 no dia 01/11/2022 para avaliação do efeito na mesma safra e na safra posterior (2023/24). A dose de calcário utilizada foi de 2000 kg ha^{-1} e do fertilizante foi de 600 kg ha^{-1} . Por recomendação da empresa do fertilizante a dose do adubo foi equivalente a 30% da dose total do corretivo.

Na safra 2022/23, a cultivar escolhida foi a BRS 8183, desenvolvida pela EMBRAPA, reconhecida pelo seu alto potencial produtivo com estabilidade e hábito de crescimento ereto e arquitetura arejada que auxilia no manejo fitopatológico. Esta variedade possui ciclo de 112 a 130 dias e recomendação de plantio de 240 mil plantas por hectare. O plantio ocorreu em 08/12/2022 utilizando o sistema de plantio direto, a colheita foi realizada no dia 20/04/2023, logo após houve o plantio de milho como planta de cobertura. A adubação pré-plantio consistiu na aplicação de 200 kg ha^{-1} de Superfosfato Simples (SS) a lanço e 200 kg ha^{-1} de cloreto de potássio (KCl), e um adicional de 30 kg ha^{-1} Boro ulexita a lanço, que foi aplicado no dia 01/11/2022.

Para a safra 2023/24, foi selecionada a cultivar HO Iguaçu, desenvolvida pela HO Genética, caracterizada por alta estabilidade, elevado potencial produtivo e porte alto. Esta variedade possui ciclo médio de 120 a 125 dias, hábito de crescimento indeterminado e recomendação de plantio entre 240 e 280 mil plantas por hectare. O plantio ocorreu em 02/11/2023, utilizando o sistema de plantio direto, e a colheita foi realizada no mês de abril de 2024. Para a adubação pré-plantio, foram aplicados 170 kg ha^{-1} do formulado 10-40-00 e 200 kg ha^{-1} de KCl.

Os tratos culturais adotados durante o período, ficaram a encargo da propriedade e estão representados na Tabela 4.

Tabela 4 - Produtos fitossanitários utilizados na cultura da soja no município de Unaí-MG.

SAFRA	CULTIVAR	NOME	PRODUTO	DOSE (Kg ha ⁻¹)	PERÍODO DE APLICAÇÃO		
2022/23	BRS 8183	S. Simples (Lanço)	Fertilizante	200	29/11/2022		
		Orkestra	Fungicida	0,35	25/01/2023		
		Clorotalonil	Fungicida	0,80	25/01/2023		
		Star Green	Fertilizante	1,00	25/01/2023		
		NanoCarbono	Fertilizante	1,00	25/01/2023		
		CoMo	Micronutrientes	0,12	25/01/2023		
		Fusion	Aminoácidos	0,50	25/01/2023		
		Hold	Regulador de crescimento	0,50	25/01/2023		
		KCL	Fertilizante	200	02/02/2023		
		Versatilis	Fungicida	0,30	11/02/2023		
		Clorotalonil	Fungicida	0,80	11/02/2023		
		Produtividade	Fungicida	1,00	11/02/2023		
		Mover	Micronutrientes	2,00	11/02/2023		
		Sulfeto K	Fertilizante	1,00	11/02/2023		
		Actimax	Aminoácidos	5,00	23/02/2023		
		ActivaK	Ativador agrícola	2,00	23/02/2023		
		2023/24	Iguaçu	10-40-00	Fertilizante	170	02/11/2023
				KCL	Fertilizante	200	27/11/2023
Score Flex	Fungicida			0,18	07/12/2023		
Produtividade	Fertilizante			2,00	07/12/2023		
Concord	Fertilizante foliar			2,00	07/12/2023		
Fox Xpro	Fungicida			0,50	12/01/2024		
Clorotalonil	Fungicida			0,80	12/01/2024		
Stimulate	Regulador de crescimento			0,25	12/01/2024		
CoMo	Micronutriente			0,10	12/01/2024		
Hold	Regulador de crescimento			0,50	12/01/2024		
Versatilis	Fungicida			0,30	22/01/2024		
Clorotalonil	Fungicida			0,80	22/01/2024		
Magnésio	Fertilizante	2,00	22/01/2024				
Mover	Micronutriente	2,00	22/01/2024				

Fonte: Dados fornecidos pela propriedade, 2024.

4.4. Avaliações nos tecidos vegetais

Para a avaliação, a área foi inicialmente sistematizada em grid, com um total de 12 parcelas por safra, das quais foram coletadas cinco plantas inteiras cada. As coletas do material

vegetal ocorreram em dois momentos, a primeira aos 90 dias (R5) com a retirada de toda a planta e a segunda ao final da maturação (R8), durante colheita, na qual a planta foi retirada inteira, mas apenas os grãos foram avaliados, de acordo a metodologia proposta por Barth *et al.* (2018).

Na avaliação da extração de nutrientes da soja foram colhidas cinco plantas por parcela e pesadas em balança analítica. Logo após, as plantas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar em estufa a 65°C por 72 horas no laboratório da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, campus de Unaí. Em seguida foram pesadas para determinação da massa seca da parte aérea e enviadas para o laboratório para a avaliação dos nutrientes.

Para a exportação, foram amostradas cinco plantas em cada parcela e trilhadas manualmente. Os grãos obtidos foram pesados em uma balança e secos na estufa a 65°C por 72 horas para determinar o teor de umidade, conforme a metodologia descrita por Bataglia *et al.* (1983), e enviadas ao laboratório.

Os elementos avaliados no tecido vegetal foram os macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), Ca, Mg e enxofre (S), e os micronutrientes boro (B), Zn, Fe, Cu e Mn de acordo com metodologia proposta por Malavolta *et al.* (1997).

Foi realizado também um levantamento de custo e resultado de produção dos tratamentos utilizados nos dois anos de cultivo.

4.5. Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi em parcelas subdivididas, em esquema fatorial 3 x 2 (três corretivos x dois anos), com quatro repetições. Os corretivos utilizados foram calcário convencional, fertilizante e um controle sem aplicação de corretivo de acidez e fertilizante. Os anos de avaliação foram as safras 2022/23 e 2023/24.

Inicialmente, uma análise conjunta dos dados foi realizada a fim de verificar o comportamento das variáveis. Logo após, os dados foram submetidos a uma análise de variância (Teste F). Os tratamentos com corretivos foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de significância e os anos de cultivo foram comparados pelo próprio teste F a 5% de significância, visto que este é conclusivo para duas variáveis. A análise estatística foi realizada utilizando o software SISVAR, desenvolvido pela Universidade Federal de Lavras – UFLA (Ferreira, 2019).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Massa seca e massa fresca da parte aérea.

A tabela 5 apresenta os resultados da massa fresca e massa seca da parte aérea para os tratamentos e os anos de cultivo avaliados.

Tabela 5 - Massa fresca e massa seca da parte aérea dos tratamentos controle, calcário e fertilizante nas safras 2022/23 e 2023/24 (g).

Massa fresca da parte aérea				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	234,10	307,32	322,00	287,84 ^a
2023/24	235,90	230,92	263,00	243,27 ^b
Médias	232,56 ^B	271,61 ^A	292,50 ^A	-
P	0,0517 ^{NS}			
CV (%)	10,14			
Massa seca da parte aérea				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	166,00 ^{Ba}	185,20 ^{Ba}	274,62 ^{Aa}	208,44
2023/24	124,30 ^{Ab}	133,67 ^{Ab}	151,35 ^{Ab}	136,44
Médias	145,15	159,43	212,98	-
P	0,0102*			
CV (%)	14,51			

Médias seguidas de mesma letra maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Para a variável massa fresca da parte aérea das plantas, não foi observada diferença significativa na interação entre tratamentos com os anos de cultivo. Analisando apenas o efeito dos tratamentos percebe-se que não houve diferença na utilização de calcário e do fertilizante, contudo, ambos proporcionaram aumento na massa fresca das plantas em comparação com controle, com um incremento médio de 16,79% e 25,77%, respectivamente. Em relação ao ano de cultivo, obteve-se maior massa fresca das plantas na safra 2022/23, 18,32% maior quando comparado com a safra 2023/24 (tabela 5).

Já para a massa seca, observou-se interação entre os fatores avaliados. Na safra de 2022/23 o fertilizante proporcionou maior massa seca das plantas, com um aumento de 65,43% em relação ao controle, e de 11,57% para o calcário em relação ao controle. Resultado semelhante foi encontrado por Souza *et al.* (2020) que, ao estudar o efeito do calcário na soja, observou um incremento de 14% na massa seca produzida em comparação com o controle, sem correção de acidez. Entretanto, na safra de 2023/24 não foi detectada

diferença entre os tratamentos. Com relação ao ano de avaliação observou-se maior massa seca das plantas na safra de 2022/23, com redução de 34,54% para a safra seguinte.

As reduções de massa fresca e massa seca da parte aérea da soja da safra 2022/23 para a safra 2023/24 são atribuídas às influências do fenômeno El Niño. De acordo com o relatório publicado no ano de 2024 pela World Meteorological Organization (WMO) as oscilações da temperatura da água interferem na ocorrência de chuvas e na temperatura do ar, e seus efeitos são mais sentidos nas regiões extremas do país, causando estiagens no Norte e chuvas no Sul. No Centro-Oeste, as ondas de calor causaram elevadas perdas na água disponível dos solos, propiciando queimadas e danos ao solo, como a mineralização abrupta da matéria orgânica e a redução da atividade microbiana (Guimarães, 2024). Observa-se que nesta condição, os tratamentos reagiram da mesma forma.

Além disso, os maiores incrementos em termos de massa fresca e seca das plantas indicam que o maior efeito do calcário e do fertilizante ocorre no ano da aplicação. Brignoli *et al.* (2020) e Radmann *et al.* (2023) verificaram que a neutralização dos elementos tóxicos, ocasionada pela adição de Ca e Mg no solo contribuem para a produção de massa da parte aérea.

Cálcio.

A tabela 6 apresenta os resultados da extração e exportação do Ca para os diferentes tratamentos em função do ano de avaliação.

Tabela 6 - Extração e exportação do macronutriente Cálcio (Ca) na cultura da soja em função do ano de avaliação (kg ha⁻¹).

Extração (kg ha ⁻¹)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	95,30 ^{Ba}	99,72 ^{Bb}	152,67 ^{Ab}	115,89
2023/24	112,09 ^{Ba}	236,68 ^{Aa}	270,57 ^{Aa}	206,45
Médias	103,69	168,20	211,62	-
P	0,0014*			
CV (%)	17,44			
Exportação (kg ha ⁻¹)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	48,20	51,31	71,25	59,92 ^a
2023/24	16,99	17,79	23,04	19,27 ^b
Médias	33,00 ^B	34,15 ^B	47,14 ^A	-
P	0,1519 ^{NS}			
CV (%)	23,73			

Médias seguidas de mesma letra maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Para o nutriente Ca extraído pelas plantas, foi observada interação com diferença significativa do fertilizante em relação aos demais tratamentos no primeiro ano, com acréscimo de 60,19% em relação ao controle, entre o calcário e o controle não houve diferença. Na safra seguinte não houve diferença entre o calcário e o fertilizante, mas o fertilizante obteve incremento de 141,38% em relação ao controle, e o calcário de 111,15% também em relação ao controle. O controle não apresentou diferença estatística entre as safras, já o calcário e o fertilizante obtiveram médias superiores no segundo ano de cultivo, com acréscimo de 137,34% e 77,22%, respectivamente, em relação à safra 2022/23. Na exportação não houve interação entre os fatores, mas as médias do fertilizante foram superiores ao controle em 42,84%, sendo que o calcário e o controle não apresentaram diferenças entre si. A média da safra 2023/24 foi superior em 195,38% em relação à anterior.

Segundo Primavesi (2018), o cálcio (Ca) é essencial para o desenvolvimento das plantas, influenciando diretamente a formação das paredes celulares, germinação do grão de pólen, desenvolvimento dos tubos polínicos e resposta aos sinais de estresse. Além disso, é crucial para a respiração das plantas, resistência ao estresse hídrico e desenvolvimento radicular. Por se tratar de um nutriente com baixa mobilidade no floema, os sintomas de deficiência iniciam-se nos tecidos novos da planta.

A deficiência de cálcio torna a membrana "porosa", comprometendo a compartimentação celular e a seletividade de íons, resultando na absorção de íons indesejáveis. Afeta os pontos de crescimento da raiz e da parte aérea, manifestando sintomas nas partes mais novas, como atrofia do sistema radicular, morte da gema apical e retardamento da emergência das folhas primárias, que adquirem forma de taça (encarquilhamento). Além disso, ocorre colapso do pecíolo devido à desintegração da parede celular. Esses sintomas são comuns em solos ácidos e estão associados à toxicidade de alumínio e manganês (Filho, 2020).

Niu *et al.*, (2021) elucidam que um teor adequado de Ca no solo promove a absorção e o acúmulo de nutrientes sob condições de estresse, sendo benéfico para a distribuição N, P e K na planta, sendo esta uma correlação positiva observada ao longo deste estudo.

Magnésio.

A tabela 7 apresenta os resultados da extração e exportação do Mg para os diferentes tratamentos em função do ano de avaliação.

Tabela 7 - Extração e exportação do macronutriente Magnésio (Mg) na cultura da soja em função do ano de avaliação (kg ha⁻¹).

Extração (kg ha ⁻¹)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	28,25 ^{Ba}	28,28 ^{Bb}	41,56 ^{Ab}	32,03
2023/24	35,83 ^{Ba}	71,31 ^{Aa}	78,97 ^{Aa}	62,03
Médias	32,04	48,80	60,26	-
P	0,0002*			
CV (%)	14,63			
Exportação (kg ha ⁻¹)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	33,83	35,43	50,97	21,64 ^b
2023/24	19,35	20,38	25,19	40,08 ^a
Médias	26,59 ^B	27,90 ^B	38,08 ^A	-
P	0,1183 ^{NS}			
CV (%)	18,57			

Médias seguidas de mesma letra maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Para o Mg, constatou-se uma interação entre os tratamentos e anos avaliados. A soja que recebeu o fertilizante extraiu mais Mg que os demais tratamentos na safra 2022/23, 47,11% a mais em relação ao controle, o calcário e controle não apresentaram diferença entre si. Na safra seguinte, não ocorreram diferenças entre o calcário e o fertilizante, no entanto houve um acréscimo de 120,40% para o fertilizante em relação ao controle, e de 99,02% para o calcário em relação ao controle. O controle avaliado não apresentou diferenças entre as safras, diferentemente dos outros tratamentos, que obtiveram maiores médias na safra de 2023/24, com aumento de 152,15% para o calcário e 90,01% para o fertilizante (tabela 7). Em relação à exportação, não houve interação entre os fatores, com a maior média para o fertilizante, 43,21% superior ao controle, o calcário e controle não apresentaram diferenças entre si. A safra 2023/24 também apresentou melhores resultados, com um ganho de 85,21%.

O magnésio (Mg) é um elemento móvel na planta e desempenha um papel central na produção de energia e glicose, ativação enzimática e metabolismo energético. Ele também está envolvido na absorção de fósforo pela planta e na formação do ATP durante a fotossíntese (Primavesi, 2018; Lima *et al.*, 2018). O Mg, ao contrário do Ca, é móvel no floema, cujos sintomas se manifestam inicialmente nas folhas mais velhas. As transmitases, que necessitam de Mg para a síntese de proteínas, resultam em uma maior proporção de nitrogênio solúvel em

relação ao nitrogenado proteico em plantas deficientes em Mg. Na deficiência de magnésio, as folhas mais velhas apresentam clorose internerval (amarelecimento claro) e nervuras verde-pálidas (Filho, 2020). Na fotossíntese, 35% do magnésio nas células vegetais é preferencialmente direcionado aos cloroplastos (Tian *et al.*, 2021), os íons presentes nessas organelas são componentes essenciais da clorofila, atuando na captação de luz e como cofatores em várias enzimas diretamente envolvidas nos processos fotossintéticos (Guo *et al.*, 2016).

Um estudo realizado por Borges *et al.* (2016), demonstrou que houve maior contribuição da folha para o desenvolvimento do grão, com um acúmulo de 68% em seu nível crítico de absorção, corroborando com a premissa de que a maior disponibilidade de Mg para a planta proporciona ganhos em massa seca e em conteúdo nutricional.

Em relação a forma de aplicação, Soratto *et al.* (2019) determina que a disponibilidade de Ca e Mg está mais relacionada aos teores de CaO e MgO no corretivo que o tamanho das partículas, este último não interferindo em sua capacidade de neutralizar a acidez.

Nitrogênio.

A tabela 8 apresenta os resultados da extração e exportação do Mg para os diferentes tratamentos em função do ano de avaliação.

Tabela 8 - Extração e exportação do macronutriente Nitrogênio (N) na cultura da soja em função do ano de avaliação (kg ha⁻¹).

Extração (kg ha ⁻¹)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	265,35	301,57	531,86	336,82 ^a
2023/24	296,51	319,51	394,20	366,26 ^a
Médias	281,05 ^B	310,54 ^B	463,03 ^A	-
P	0,1573 ^{NS}			
CV (%)	26,10			
Exportação (kg ha ⁻¹)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	265,35	301,57	531,86	336,82 ^a
2023/24	296,51	319,51	394,20	366,26 ^a
Médias	281,05 ^B	310,54 ^B	463,03 ^A	-
P	0,1573 ^{NS}			
CV (%)	26,10			

Médias seguidas de mesma letra maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Na tabela 8 observa-se que não houve interação entre os tratamentos e os anos de avaliação para a extração e a exportação de N. Contudo, comparando-se os tratamentos observa-se que o fertilizante proporcionou incremento na absorção de N em comparação com o calcário e a testemunha (64,75%).

Esse resultado diz respeito à porção do N presente em resíduos de leguminosas incorporada pela Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), visto que espécies desse grupo também o absorvem do próprio solo, em maior ou menor quantidade (Resende *et al.*, 2019). O N derivado da FBN poderia ser contabilizado como um acréscimo externo ao sistema, tal como uma adubação, visto que a contribuição da FBN pode chegar até 250 kg ha⁻¹ de N (Alves *et al.*, 2003). Todos os fatores que podem afetar a fixação biológica de nitrogênio (FBN) podem contribuir para aumentar a concentração de N em folhas de soja, uma vez que a FBN pode representar até 94% da absorção de N (Hungria *et al.*, 2015), sendo assim, a presença de Ca e Mg no solo, proporciona melhores condições para que esse processo ocorra.

Fósforo.

A tabela 9 apresenta os resultados da extração e exportação do P para os diferentes tratamentos em função do ano de avaliação.

Tabela 9 - Extração e exportação do macronutriente Fósforo (P) na cultura da soja em função do ano de avaliação (kg ha⁻¹).

Extração (kg ha ⁻¹)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	15,96 ^{Bb}	20,18 ^{ABb}	30,93 ^{Ab}	22,36
2023/24	33,27 ^{Ba}	64,66 ^{Aa}	72,88 ^{Aa}	56,94
Médias	24,61	42,42	51,91	-
P	0,0017*			
CV (%)	16,89			
Exportação (kg ha ⁻¹)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	19,78	27,12	35,54	27,48 ^b
2023/24	37,99	40,29	51,23	43,17 ^a
Médias	28,88 ^B	33,70 ^B	43,39 ^A	-
P	0,6518 ^{NS}			
CV (%)	15,19			

Médias seguidas de mesma letra maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

De acordo com a tabela 9, para a variável P, houve interação entre os tratamentos e os anos de cultivo somente para a extração. O fertilizante apresentou resultados superiores na safra 2022/23, com 93,80% de acréscimo em relação ao controle e o calcário obteve aumento de 26,44% também em relação ao controle, considerado como intermediário. Na safra 2023/24 não houve diferença entre o fertilizante e o calcário, mas ocorreu 119,06% de incremento do fertilizante em relação ao controle, sem correção de acidez. Foram verificados os maiores valores de exportação para o segundo ano de cultivo, cujas médias apresentaram incremento de 57,09% em relação à anterior. Já entre os tratamentos houve aumento de 50,24% na exportação pelo fertilizante em relação ao controle, o calcário e o controle não apresentaram diferenças entre si.

O fósforo atua como componente estrutural das membranas celulares, faz parte de compostos responsáveis pela fixação do CO₂ atmosférico e pelo metabolismo de açúcares (Melo, 2021). Morais *et al.* (2023), verificou uma relação positiva entre a aplicação de Ca e Mg no solo e o incremento das raízes em profundidade. Como o P é um nutriente de baixa mobilidade no solo, sua absorção aumenta conforme o volume de raízes disponíveis no perfil do solo (van der Bom, *et al.*, 2023), justificando o aumento da sua concentração na planta e nos grãos com a aplicação do calcário e do fertilizante.

Potássio.

A tabela 10 apresenta os resultados da extração e exportação do K para os diferentes tratamentos em função do ano de avaliação.

Tabela 10 - Extração e exportação do macronutriente Potássio (K) na cultura da soja em função do ano de avaliação (kg ha⁻¹).

Extração (kg ha ⁻¹)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	116,45 ^{Bb}	146,71 ^{Bb}	251,66 ^{Ab}	171,60
2023/24	206,21 ^{Ba}	399,30 ^{Aa}	414,35 ^{Aa}	339,95
Médias	161,33	273,00	333,00	-
P	0,0082*			
CV (%)	17,39			
Exportação (kg ha ⁻¹)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	186,85	196,90	297,62	154,09 ^b
2023/24	136,35	144,50	181,41	227,12 ^a
Médias	161,60 ^B	170,70 ^B	239,52 ^A	-
P	0,0723 ^{NS}			
CV (%)	15,65			

Médias seguidas de mesma letra maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Para a variável K foram observadas a interação entre os fatores tratamento e ano de avaliação somente na extração. O fertilizante proporcionou incremento de 116,11% em relação ao controle, e o controle e o calcário não apresentaram diferença entre si. Na safra seguinte não houve diferença entre o fertilizante e o calcário. Para a exportação não houve interação entre os fatores avaliados, mas constatou-se superioridade das médias para a safra 2023/24 (47,39%) e para o fertilizante, com 48,21% de acréscimo em relação ao controle, as médias do calcário e do controle não apresentaram diferenças entre si (tabela 10).

O K está disponível no solo na forma de cátion K^+ , adsorvido ou na solução do solo. Nas gramíneas e leguminosas, seu teor varia de 30-40 g kg^{-1} de matéria seca (Nascimento, 2024). O potássio é essencial para as relações osmóticas, a dinâmica dos estômatos e a ativação enzimática nas plantas. Predomina na forma iônica K^+ e não forma compostos orgânicos dentro das plantas. A disponibilidade de potássio nos solos é indicada pelo K trocável, que é o potássio adsorvido nas cargas do solo formando compostos de esfera externa (Melo, 2021).

Enxofre.

A tabela 11 apresenta os resultados da extração e exportação do S para os diferentes tratamentos em função do ano de avaliação.

Tabela 11 - Extração e exportação do macronutriente Enxofre (S) na cultura da soja em função do ano de avaliação ($kg\ ha^{-1}$).

Extração ($kg\ ha^{-1}$)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	16,19 ^{Bb}	16,92 ^{Bb}	24,27 ^{Ab}	19,12
2023/24	21,23 ^{Ba}	43,56 ^{Aa}	49,63 ^{Aa}	38,14
Médias	18,71	30,24	36,95	-
P	0,0008*			
CV (%)	17,33			
Exportação ($kg\ ha^{-1}$)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	13,52	16,40	22,76	17,56 ^b
2023/24	21,33	22,86	31,71	25,30 ^a
Médias	17,42 ^B	19,63 ^B	27,23 ^A	-
P	0,7716 ^{NS}			
CV (%)	15,98			

Médias seguidas de mesma letra maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Na tabela 11, verifica-se que a variável S não apresentou interação para a extração. Entre os tratamentos na safra 2023/24, o fertilizante aumentou 49,90% em relação ao controle que, por sua vez, não diferiu do calcário. Na safra 2023/24 o fertilizante e o calcário apresentaram as maiores médias, não diferindo entre si, no entanto, o fertilizante proporcionou um acréscimo de 133,77% em relação ao controle, e do calcário em relação ao controle esse aumento foi de 105,18%. Para a exportação não houve interação significativa entre os fatores, mas as médias indicam aumento de 44,07% na safra 2023/24, da mesma forma que o fertilizante obteve 56,31% de incremento em relação ao controle, o calcário e o controle não apresentaram diferença entre si (tabela 11).

O enxofre inorgânico, disponível para as plantas na forma de ânion sulfato (SO_4^{2-}), não é atraído para as superfícies da argila e da matéria orgânica do solo devido à sua carga negativa, exceto em condições ácidas. A concentração de enxofre nas plantas e grãos é importante, pois o enxofre atua como catalisador em reações que envolvem fósforo na formação de aminoácidos. O enxofre é essencial para os processos metabólicos e produção de proteínas, influenciando o desenvolvimento e enchimento dos grãos, e está envolvido na fotossíntese e na fixação de nitrogênio, presente em coenzimas como a ferredoxina. Além disso, o enxofre tem funções fungistáticas, acaricidas e inseticidas (Sfredo & Lantmann, 2007).

Os resultados apresentados podem ser um efeito indireto do fornecimento de Ca e Mg, proporcionando a mineralização de MO, capaz de converter S orgânico em sulfato (Silva et al., 1999).

De modo geral, considerando a média dos pontos de máximo acúmulo dos macronutrientes, a ordem de extração foi: $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$, resultado semelhante ao encontrado por Zobiolo *et al.* (2012). Os resultados também se assemelham aos obtidos por Kurihara *et al.* (2013), o qual constatou-se que os macronutrientes extraídos em maior quantidade são o N e o K, seguidos de Ca, P e Mg (415, 152, 73, 43 e 37 kg ha⁻¹, respectivamente).

Boro.

A tabela 12 apresenta os resultados da extração e exportação do B para os diferentes tratamentos em função do ano de avaliação.

Tabela 12 - Extração e exportação do micronutriente Boro (B) na cultura da soja em função do ano de avaliação (g ha⁻¹).

Extração (g ha ⁻¹)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	251,99 ^{Ab}	313,60 ^{Ab}	417,29 ^{Ab}	327,62
2023/24	449,82 ^{Ba}	947,45 ^{Aa}	1101,93 ^{Aa}	833,07
Médias	350,90	630,52	759,61	-
P	0,0002*			
CV (%)	16,49			
Exportação (g ha ⁻¹)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	259,62 ^{Ba}	311,03 ^{Ba}	454,89 ^{Aa}	333,21
2023/24	301,70 ^{Aa}	335,20 ^{Aa}	362,75 ^{Ab}	341,84
Médias	280,66	323,12	408,82	-
P	0,0110*			
CV (%)	12,27			

Médias seguidas de mesma letra maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

De acordo com as tabelas 12, para a variável B, observou-se interação entre os fatores avaliados tanto para a extração quanto para a exportação. Na extração, os tratamentos não apresentaram diferenças na safra 2022/23, e na safra 2023/24 o fertilizante e o calcário não apresentaram diferenças entre si, mas houve um acréscimo de 144,97% e 110,62%, respectivamente, em relação ao controle. Na exportação observou-se superioridade do fertilizante na safra 2022/23 com aumento de 75,21%, em relação ao controle, e de 19,80% do calcário em relação ao controle, apesar de que os dois últimos não apresentaram diferenças entre si. Na safra seguinte, não houve diferença entre o fertilizante e o calcário, mas o fertilizante proporcionou um incremento de 20,23% em relação ao controle (tabela 12).

A presença de Ca e Mg pode aumentar a adsorção de B nos colóides do solo, conforme o pH aumenta, o Al³⁺ é precipitado para formar Al(OH)³, que possui alta capacidade para adsorção de B (Soares et al., 2008). Como consequência, em decorrência da aplicação de boro ulexita na primeira safra, reduz-se a disponibilidade do micronutriente prontamente disponível para assimilação pela planta no solo, fato observado no ano de aplicação dos tratamentos.

Além disso, Fernandes (2012) elucida que a principal fonte de B para os solos do Cerrado é o material orgânico decomposto, possivelmente uma consequência da presença do

adubo verde anterior ao plantio da soja da safra 2023/24, o que justifica os altos teores extraídos e exportados no segundo ano de avaliação.

Zinco.

A tabela 13 apresenta os resultados da extração e exportação do Zn para os diferentes tratamentos em função do ano de avaliação.

Tabela 13 - Extração e exportação do micronutriente Zinco (Zn) na cultura da soja em função do ano de avaliação (g ha⁻¹).

Extração (g ha ⁻¹)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	206,17 ^{Bb}	349,31 ^{ABb}	506,04 ^{Ab}	353,84
2023/24	428,84 ^{Ba}	992,39 ^{Aa}	1237,47 ^{Aa}	886,23
Médias	317,50	670,85	871,76	-
P	0,0054*			
CV (%)	22,58			
Exportação (g ha ⁻¹)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	167,99	217,28	299,36	228,21 ^b
2023/24	320,49	332,56	457,68	370,24 ^a
Médias	244,24 ^B	274,92 ^B	378,52 ^A	-
P	0,6049 ^{NS}			
CV (%)	15,31			

Médias seguidas de mesma letra maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Para o Zn, houve interação para a extração, mas não para a exportação. O fertilizante demonstrou superioridade na safra 2022/23, com aumento de 145,44% em relação ao controle e de 44,86% em relação ao calcário, ressalta-se que o controle e o calcário não apresentaram diferenças entre si. Na safra 2023/24, o fertilizante e o calcário não diferiram entre si, mas houve um incremento de 24,69% para o fertilizante em relação ao calcário e de 188,56% para o fertilizante em relação ao controle. Para todos os tratamentos as médias do segundo ano de cultivo foram significativamente maiores em relação ao primeiro, com acréscimo de 108% para o controle, 184,10% para o calcário e de 144,53% para o fertilizante (tabela 13). Na exportação, a média para o fertilizante foi 54,97% maior em relação ao controle, sendo que o calcário e controle não apresentaram diferenças entre si, e as médias para a safra 2023/24 também obtiveram um acréscimo de 62,23% em relação à anterior (tabela 13).

A remoção de zinco (Zn) nas partes colhidas das culturas é menor que 0,56 kg ha⁻¹, mas é essencial para as plantas, atuando como cofator de enzimas e componente estrutural de proteínas, influenciando a síntese de proteínas, regulação hormonal e produção de energia. A disponibilidade de Zn depende do pH do solo, que afeta sua adsorção por minerais de argila, óxidos de alumínio e ferro, e carbonatos de cálcio, diminuindo conforme o pH aumenta. O principal mecanismo de transporte do Zn para as raízes é a difusão, que pode ser prejudicada por solos quentes e úmidos ou encharcados, devido à precipitação de compostos insolúveis de Zn. A absorção de Zn também pode ser inibida por cátions metálicos como cobre (Cu) e ferro (Fe), além de altos níveis de fósforo (P), especialmente em solos deficientes em Zn (REHM, 1997).

Ferro.

A tabela 14 apresenta os resultados da extração e exportação do Fe para os diferentes tratamentos em função do ano de avaliação.

Tabela 14 - Extração e exportação do micronutriente Ferro (Fe) na cultura da soja em função do ano de avaliação (g ha⁻¹).

Extração (g ha ⁻¹)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	1756,28	4188,43	5998,70	3981,18 ^b
2023/24	7228,28	10717,58	13108,83	10351,00 ^a
Médias	4492,57 ^A	8385,14 ^A	8646 ^A	-
P	0,4758 ^{NS}			
CV (%)	50,03			
Exportação (g ha ⁻¹)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	519,25	769,25	1250,91	533,77 ^b
2023/24	465,87	522,11	613,33	846,47 ^a
Médias	520,68 ^B	617,56 ^{AB}	932,12 ^A	-
P	0,1149 ^{NS}			
CV (%)	41,45			

Médias seguidas de mesma letra maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Em relação ao Fe, não foram constatadas interação na extração e na exportação, e não houve diferença nas médias dos tratamentos para o elemento extraído, apesar de haver um incremento de 160% nas médias para a safra 2023/24. Para a exportação nota-se a superioridade do fertilizante em relação controle, com aumento de 79,01%, já o calcário aumentou em 18,61%

comparado ao controle, a média da safra 2023/24 também foi maior em 58,58%, quando comparada com a safra 2022/23 (tabela 14).

O Fe é essencial em várias vias metabólicas, como cadeias de transferência de elétrons na respiração e fotossíntese, biossíntese de DNA, lipídios e hormônios, desintoxicação de espécies reativas de oxigênio e assimilação de nitrogênio. A disponibilidade de metais para as plantas depende das condições do solo, mineralização e absorção pelos transportadores. O Fe absorvido é transportado pelo xilema e floema até as partes aéreas da planta, onde é quelado para evitar toxicidade (Tavares, 2020).

Manganês.

A tabela 15 apresenta os resultados da extração e exportação do Mn para os diferentes tratamentos em função do ano de avaliação.

Tabela 15 - Extração e exportação do micronutriente Manganês (Mn) na cultura da soja em função do ano de avaliação (g ha⁻¹).

Extração (g ha ⁻¹)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	351,26	391,79	718,11	487,05 ^b
2023/24	607,65	746,92	1119,67	824,75 ^a
Médias	479,45 ^B	569,35 ^B	918,89 ^A	-
P	0,7372 ^{NS}			
CV (%)	28,66			
Exportação (g ha ⁻¹)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	153,34	210,19	213,81	178,95 ^a
2023/24	160,90	171,84	204,10	192,44 ^a
Médias	157,12 ^B	192,82 ^{AB}	207,15 ^A	-
P	0,3944 ^{NS}			
CV (%)	19,57			

Médias seguidas de mesma letra maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

O Mn também não apresentou interação na extração e exportação, no entanto, apresentou superioridade do fertilizante em relação aos demais tratamentos em ambas as situações. Para a extração, o fertilizante obteve ganho de 91,65% em relação ao controle, onde o controle e o calcário não diferiram entre si, com a maior média na safra de 2023/24 (69,33%). Na exportação, a média entre as safras não apresentou diferenças, e entre os tratamentos, o

fertilizante obteve um ganho de 31,84% em relação ao controle, e entre o calcário e o controle diferença foi de 22,72% (tabela 15).

O Mn é um cofator que ativa mais de 30 enzimas vegetais, como descarboxilases, desidrogenases e oxidases, e participa na ativação hormonal e na biossíntese de aminoácidos. Uma enzima crucial ativada pelo Mn é a nitrito redutase, que facilita a redução do nitrogênio e sua incorporação aos esqueletos de carbono. O Mn também está envolvido na desintoxicação de espécies reativas de oxigênio (EROs) (Alejandro *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2019).

A disponibilidade de manganês (Mn) para as plantas é influenciada pelo seu estado de oxidação. Durante o intemperismo das rochas, o Mn é liberado e rapidamente convertido em óxidos Mn^{3+} e Mn^{4+} , que são formas insolúveis e indisponíveis para as plantas. Apenas uma pequena parte permanece na forma solúvel de Mn^{2+} , a única forma absorvível pelas plantas. Em solos ácidos ($pH < 5,5$) e com alto potencial redox, os óxidos de Mn^{3+} e Mn^{4+} podem ser reduzidos a Mn^{2+} , aumentando a disponibilidade de Mn para as plantas. Sendo a adsorção de Mn nas partículas do solo favorecida pelo pH alto (Liu *et al.*, 2020; Alejandro *et al.*, 2020).

Cobre.

A tabela 16 apresenta os resultados da extração e exportação do Cu para os diferentes tratamentos em função do ano de avaliação.

Tabela 16 - Extração e exportação do micronutriente Cobre (Cu) na cultura da soja em função do ano de avaliação ($g\ ha^{-1}$).

Extração ($g\ ha^{-1}$)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	655,17	710,67	1321,02	895,62 ^a
2023/24	72,52	176,52	163,02	137,60 ^b
Médias	363,84 ^A	443,59 ^A	742,39 ^A	-
P	0,1326 ^{NS}			
CV (%)	62,31			
Exportação ($g\ ha^{-1}$)				
Safra	Controle	Calcário	Fertilizante	Médias
2022/23	93,12	110,11	143,85	71,26 ^b
2023/24	66,12	67,87	79,78	115,69 ^a
Médias	79,62 ^B	88,99 ^{AB}	111,82 ^A	-
P	0,1660 ^{NS}			
CV (%)	19,79			

Médias seguidas de mesma letra maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade e mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Para o elemento Cu, não foram constatadas interação entre os fatores na extração e exportação, e, para a extração, não houve diferença nas médias dos tratamentos, apesar de sofrer um decréscimo de 84,63% da safra 2022/23 para a 2023/24. Para a exportação, o fertilizante se mostrou superior com aumento de 40,44% em relação ao controle e o calcário obteve valor intermediário com 11,77% a mais em relação ao controle. Houve o aumento de uma safra para a outra de 62,34% (tabela 16).

O cobre (Cu) está envolvido no transporte de elétrons durante a respiração, no metabolismo de carboidratos, lipídios e nitrogênio, na lignificação da parede celular, na absorção de nutrientes, nas vias de sinalização hormonal e na atividade antioxidante (Liu *et al.*, 2019). Na soja, baixos níveis de Cu afetam negativamente a concentração de outros micronutrientes, a disponibilidade de ferro (Fe) nos grãos, a capacidade fotossintética, a taxa de transpiração, a condutância estomática e a concentração de clorofila (Casati, 2018).

Baixos teores de micronutrientes B, Cu, Mn e Zn são comuns em solos brasileiros (Lopes e Guimarães, 2016), sem grandes preocupações com a redução do teor de Fe²⁺ na maioria dos solos argilosos tropicais, pois esses solos naturalmente apresentam alto teor total de Fe (Silva *et al.*, 2020).

Para os micronutrientes, a ordem de extração foi: Fe > Cu > Mn > Zn > B, diferindo-se dos resultados obtidos por Zobiole *et al.* (2012), no qual o Cu foi o nutriente de menor ordem. Quanto à exportação pelos grãos, Kurihara et al. (2013) observou a sequência Fe > Zn > Mn > Cu > B (326, 264, 129, 122 e 109 g ha⁻¹, respectivamente).

Malavolta (2006) determina que áreas que receberam calagem recentemente, devido ao aumento do pH do solo, diminuem a disponibilidade de Cu, Fe, Mn e Zn. De acordo com Santos *et al.* (2020) essa diminuição da disponibilidade ocorre devido à competição entre os íons pelos mesmos locais de absorção. Tal fato é observado quando comparadas as safras 2022/23 e 2023/24, visto que na safra posterior a aplicação dos tratamentos os micronutrientes foram extraídos em maior quantidade, exceto o cobre.

A Tabela 17 compara o custo por hectare e o retorno econômico da aplicação de diferentes corretivos (Controle, Calcário e Fertilizante) na cultura da soja nos anos de 2023 e 2024.

Tabela 17 - Comparativo de custo (R\$ ha⁻¹) e rendimento (sc ha⁻¹) por hectare das diferentes fontes de Cálcio e Magnésio.

Corretivo	Preço (R\$)	Dose (kg ha ⁻¹)	Custo (R\$ ha ⁻¹)	Produtividade Média (sc)		Resultado (R\$ ha ⁻¹)	
				2022/23	2023/24	2022/23	2023/24
Controle	-	-	-	62,9	71,7	8.751,90	10.045,88
Calcário	205,00	2000	410,00	66,74	78,3	9.286,20	10.970,61
Fertilizante	1200,00	600	720,00	68,5	81,7	9.531,09	11.446,98

Fonte: Dados fornecidos pela propriedade, incluído valor do frete no preço do tratamento, com base no preço médio da soja de R\$139,14 para 2023 e R\$140,11 para 2024 (Cepea/Esalq).

Os dados mostram que tanto o calcário quanto o fertilizante aumentaram a produtividade e o retorno econômico em comparação ao controle. Em 2023, a soja do tratamento com o fertilizante obteve a maior produtividade média (68,5 sc ha⁻¹) e o maior retorno econômico (R\$ 9.531,09), apesar do custo inicial mais elevado. Em 2024, o fertilizante continuou a apresentar os melhores resultados econômicos, com um rendimento de R\$ 11.446,98 e 13,2 sc de diferença quando comparado ao ano anterior. Em relação ao controle, o fertilizante proporcionou um ganho de 5,6 sc ha⁻¹ em 2023 e 10 sc ha⁻¹ em 2024, em relação ao controle, e um incremento de 5 sc ha⁻¹ na soma dos dois anos de avaliação.

6. CONCLUSÕES

Na safra 2022/23, houve o maior acréscimo de nutrientes na matéria vegetal e maior peso de massa seca.

A aplicação do fertilizante apresentou maior efeito sobre a extração em relação a exportação. Os nutrientes mais extraídos foram K, Ca, Mg, P, S, B e Zn, e o B foi o mais exportado.

O fertilizante contribuiu com o incremento de 5,6 sc ha⁻¹ e 10 sc ha⁻¹ nas safras 2022/23 e 2023/24, respectivamente, comparado ao controle que não recebeu corretivo ou fertilizante.

Entre os dois tratamentos com insumo o fertilizante proporcionou aumento de 5 sc ha⁻¹ na soma dos dois anos de estudo.

O tratamento com fertilizante na safra 2022/23 forneceu melhor condição para a extração de Ca, no ano seguinte o fertilizante e calcário foram semelhantes.

O fertilizante é uma alternativa interessante no fornecimento de Ca e Mg no solo visando o rápido fornecimento de nutrientes para a planta.

7. REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. O domínio dos cerrados: introdução ao conhecimento. **Revista do Serviço Público**, Brasília, v. 111, n. 4, p. 41-55, 1983.
- ALEJANDRO, S.; HÖLLER, S.; MEIER, B. PEITER, E. Manganese in plants: from acquisition to subcellular allocation. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 300, 2020.
- ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S. The success of BNF in soybean in Brazil. **Plant and Soil**, v.252, p.1-9, 2003.
- BARTH, G.; FRANCISCO, E.; SUYAMA, J. T.; GARCIA, F. **Nutrient uptake illustrated for modern, high-yielding soybean**. Better Crops. v. 102. ed. 1, 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N° 35, de 4 de julho de 2006. Estabelece normas sobre corretivos de acidez dos solos. **Diário Oficial da União**, 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N° 5, de 23 de fevereiro de 2007. Definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, 2007.
- BRIGNOLI, F. M.; JUNIOR, A. A. S.; GRANDO, D. L.; MUMBACH, G. L.; PAJARA, F. D. Atributos biométricos da soja influenciados pelo nível de pH do solo. **Revista Científica Rural**, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.30945/rcr-v22i2.3211>. Acesso em: 16 jun. 2024.
- BORGES, I. D.; FRANCO, A. A.N.; KONDO, M. K.; MARTINS, D. C.; TEIXEIRA, E. C.; MOREIRA, S. G. Acúmulo de macronutrientes em sorgo granífero na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 15, n. 2, pág. 294-304, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v15n2p294-304>. Acesso em: 16 jun. 2024.
- CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W. Uso de corretivos granulados na agricultura. Informações Agronômicas n° 154. **International Plant Nutrition Institute**. Jun. 2016. 17 p. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/AFC5E096A1D1AABF83257FE7004DB5A9/\\$FILE/Page17-21-154.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/AFC5E096A1D1AABF83257FE7004DB5A9/$FILE/Page17-21-154.pdf). Acesso em: 22 jun. 2024.
- CAMPELO, G. J.; KIIHL, R. A. S., ALMEIDA, L. A. Soja: Desenvolvimento para regiões de baixas latitudes. Teresina: **Embrapa Meio-Norte**, p. 36, 1998.
- CASATI, D. F. G.; BUSI, M. V.; PAGANI, M. A. Plant frataxin in metal metabolism. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2018.
- CHEN, K. I. *et al.* Soyfoods and soybean products: From traditional use to modern applications. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 96, p. 9–22, 2012.

CHIEN, S. H.; GEARHART, M. M.; COLLAMER, D. J. The effect of different ammonical nitrogen sources on soil acidification. **Soil Science**, v. 173 n. 8, p. 544-551, 2008.

COMITÊ ESTRATÉGICO SOJA BRASIL. **Case campeão sudeste/nacional – safra 22/23. 2023.** Disponível em: <https://www.cesbrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/06/6-67708-Apresentacao-Case-Sudeste-Nacional.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Grãos, Safra 2023/24.** 6º Levantamento, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 21 mar. 2024.

DOURADO, M. L. **Novas rotas de produção de fertilizante potássico: a biossolubilização de agrominerais.** 2018. Disponível em: <https://app.uff.br/>. Acesso em: 21 mar. 2024.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C. dos; PÉREZ, D. V.; PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, 2008. V. 2. Ed. 67. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000200019>. Acesso em: 22 jun. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2009 E 2010. Londrina: **Embrapa Soja**, 2008. 261 p. (Sistemas de Produção, 13).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil 2014. Londrina: **Embrapa Soja**, 2013. 265 p. (Sistemas de Produção, 16).

EVENHUIS, B.; WAARD, P. W. F. **Principles and practices in plant analysis.** FAO solos Bula, v. 38, n. 1, p. 152-63, 1980.

FERNANDES, A.L.T.; PARTELLI, F.L.; BONOMO, R.; GOLYNSKI, A. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 231-40, 2012.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. Disponível em: <http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>. doi: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>. Acesso em: 21 mar. 2024.

FILHO, O. F. L. de. Desordens nutricionais em plantas. Dourados: **Embrapa Agropecuária Oeste**, 2020. (Comunicado técnico, 257).

FILIPPI D, DENARDIN LGO, ALVES LA, MARTINS AP, FLORES JPM, TIECHER T. Exportação de macronutrientes em grãos de soja cultivada no Brasil: uma meta-análise. **Rer Bras Ciência do Solo**, 2019.

FIRMANO, R. F.; MELO, T. R.; JORDÃO, L. T.; FREGONEZI, G. A. F.; BARZAN, R. R. Fontes com cálcio e magnésio nos atributos químicos de um latossolo e na produtividade da soja. **Scientia Agraria Paranaensis**, Cascavel, v. 16, n. 1, p. 27-31, 2017.

FUNDAÇÃO MT. **Boletim de pesquisa 2017/2018**. n. 18. Rondonópolis: Fundação MT, 2018. 336p.

GATTO, P. H. J. **Qualidade do solo em sistema agropastoril com aplicação de agromineral silicático**. 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/>. Acesso em 16 mar. 2024.

GAZZONI, D. L. **Manejo de pragas da soja: uma abordagem histórica**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. Acesso em: 21 mar. 2024.

GUIDORIZZI, F. V. C. Extração e Exportação de Nutrientes por Cultivares de Feijão-comum e Manejo da Adubação para Altas Produtividades. *Informações Agronômicas*. **Nutrição de Plantas**. N 17. NPCT. 2023.

GUIMARÃES, D. P. **Artigo: Impactos do clima na atual safra de milho**. Embrapa Milho e Sorgo, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/90138806/artigo-impactos-do-clima-na-atual-safra-de-milho#:~:text=do%20consumo%20local.-,Os%20impactos%20das%20mudan%C3%A7as%20clim%C3%A1ticas%20sobre%20a%20agricultura%20brasileira%20s%C3%A3o,Ni%C3%B1a%20nas%20tr%C3%AAs%20safras%20anteriores>. Acesso em: 16 jun. 2024.

GUO, W.; NAZIM, H.; LIANG, Z.; YANG, D. Magnesium deficiency in plants: An urgent problem. **The Crop Journal**, v. 4, n. 2, p. 83-91, 2016.

HADI, M. R.; KARIMI, N. The role of calcium in plants' salt tolerance. **Journal of Plant Nutrition**, vol. 35, p. 2037–2054, 2012.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Soybean seed co-inoculation with Bradyrhizobium spp. and Azospirillum brasilense: a new biotechnological tool to improve yield and sustainability. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, p. 811- 817, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agropecuária**, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>. Acesso em: 21 ma. 2024.

KAMINSKI, J. et al. Acidez e calagem no sul do brasil: aspectos históricos e perspectivas. In: Tópicos em ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 5, 2007. p. 307-332.

KURIHARA, C. H.; ALVAREZ, V. H.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS R. F. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em soja, como variável do potencial produtivo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 5, p. 690-698. 2013.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. Oficina de textos, 2021.

LIMA, E.; et al. XIII – Cálcio e Magnésio. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R. de; SANTOS, L. A. (Org.). *Nutrição Mineral de Plantas*. 2 ed. Viçosa – Minas Gerais, p. 465-490, 2018.

- LI, Q. et al. Excess copper effects on growth, uptake of water and nutrients, carbohydrates, and PSII photochemistry revealed by OJIP transients in Citrus seedlings. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 29, p. 1-18, 2019.
- LIU, Y.; XUE, Y.; XIE, B.; ZHU, S.; LU, X.; LIANG, C.; TIAN, J. Complex gene regulation between young and old soybean leaves in responses to manganese toxicity. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 155, p. 231-242, 2020.
- LOPES, A. S. **Solos sob cerrado**: características, propriedades, manejo. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 162 p.
- LOPES, A. S.; GUIMARÃES, G. L. R. A career perspective on soil management in the cerrado region of Brazil. In: SPARKS, D. L. **Advances in agronomy**. London: Academic Press, 2016. v. 137, p. 1-72.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 2006. 638 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional da plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba, SP: Editora POTAFOS, 1997.
- MELO, J. N. F.; SILVA, A. P. C. M.; GARCIA, E. M.; TAROCO, H. A.; REINA, L. D. C. B. Ciências agrárias: tecnologia, sustentabilidade e inovação. Guarujá-SP: **Científica Digital**, 2024. SBN 978-65-5360-611-1. Disponível em: DOI 10.37885/978-65-5360-611-1. Acesso em: 24. Mai. 2024.
- MELO, G. W. B. **Uva para processamento: nutrientes**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho. 2021.
- MORAES, M. F.; SILVA, J. G.; GOMES, M. B.; PRADO, M. R. V.; ALMEIDA, J. P. M. de; FELETTI, R. C. G. Nutrição e adubação da soja na região do Cerrado. In: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. da; MARCHÃO, R. L.; MORAES, M. F. (Ed.). **Nutrição e adubação de grandes culturas na região do Cerrado**. Goiânia: UFG, 2019. p. 369-417.
- MOTUZOVA, G.V.; KARPOVA, E.A.; 2013. **Chemical Contamination of the Biosphere and its Environmental Consequences**. Moscow University Press, Moscow (in Russian).
- MOTUZOVA, G. V.; MAKARICHEV, I. P.; PETROV, M. I. **The effects of iron, mercury, and copper ions on the acid-base properties of aqueous soil extracts**. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3103/S0147687411040041>. Acesso em: 22 jun. 2024.
- NASCIMENTO, D. B.; M. L. S.; IZIDRO, J. L. P. S.; BEZERRA, R. C. A.; GOIS, G. C.; AMARAL, T. N. E.; DIAS, W. S.; BARROS, M. M. L.; OLIVEIRA, A. R. S.; SOBRINHO, J. L. F.; COELHO, J. J. Ciclagem de Nitrogênio, Fósforo e Potássio em Ecossistemas de Pastagem Ciência Animal Brasileira. **Brazilian Animal Science**, v.25, 76743P, 2024.
- NETO, M. E., ZAMPAR, E. J. de O., CORDIOLI, V. R., CASSIM, B. M. A. R., REIS, G. A. D., INOUE, T. T., BATISTA, M. A. Biogenic and common lime characterization in granular and powder forms and their application in sowing furrows for soybean crops. **Communications**

In Soil Science and Plant Analysis. 2020. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2020.1781157>. Acesso em: 27 mar. 2024.

Niu, J., Liu, C., Huang, M., Liu, K., & Yan, D. Effects of foliar fertilization: a review of current status and future perspectives. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, p. 104-118, 2021.

OLIVEIRA, F. A. de; CASTRO, C. de; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; KLEPKER, D.; FIRMANO, R. F. Tecnologias de manejo da fertilidade do solo e avaliação do estado nutricional da soja. Londrina: **Embrapa Soja**, 2023. 75 p. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/262531/1/Doc-458-2023.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2024.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; CAIRES, E. F.; NOGUEIRA, M. A.; NUNES, H. R. Produtividade e qualidade da soja cultivada em sucessão ao milho com braquiária em razão da calagem superficial e da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 2016.

OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; PEREIRA, L. R.; DOMINGOS, C. da S. **Estádios fenológicos e marcha de absorção de nutrientes da soja**. Paçandu: Fortgreen; Londrina: Embrapa Soja, 2016.

OLIVEIRA, R. L. L.; MELLO PRADO, R.; FELISBERTO, G.; CHECCHIO, M. V.; GRATÃO, P. L. Silicon mitigates manganese deficiency stress by regulating the physiology and activity of antioxidant enzymes in sorghum plants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 19, p. 524-34, 2019.

PAIVA, E.A.S. Are calcium oxalate crystals a dynamic calcium store in plants? **New Phytologist**, vol. 223, p. 1707–1711, 2019.

PRIMAVESI, A. A biocenose do solo na produção vegetal & Deficiências minerais em culturas, nutrição e produção vegetal. 1. ed. São Paulo: **Expressão Popular**, 608 p. 2018.

RADMNN, V.; AZEVEDO, W. M.; MANTOVANELLI, B. C.; PRAÇA, J. I. S.; FREITAS, R. M. Doses de calcário e produção de massa seca da soja em latossolo e gleissolo no sul do Amazonas. **Revista Valore**, Volta Redonda, 8 (edição especial), 51-58, 2023.

RAYMUNDO, V. *et al.* Resíduos de serragem de mármore como corretivo da acidez de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 47-53, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/>. Acesso em 27 ma. 2024.

REHM, G.; SCHMITT, M. **Zinc for crop production**. Minneapolis: University of Minnesota, Extension Publication FO-00720-GO, 1997.

REITZ, N. F.; SHACKEL, K. A.; MITCHAM, E. J. Differential effects of excess calcium applied to whole plants vs. excised fruit tissue on blossom-end rot in tomato. **Scientia Horticulturae**, vol. 290, 110514, 2021.

RESENDE, A. V. et al. Balanço de nutrientes e manejo da adubação em solos de fertilidade construída. In: SEVERIANO, E. da C.; MORAIS, M. F. de; PAULA, A. M. de (Ed.). Tópicos

em ciência do solo. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2019. p. 342-398.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas: **Embrapa Territorial**, 2020.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring & Assessment**, v. 166, n. 1-4, p. 113-124, July 2010.

SANTOS, H.G. *et al.* **O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67 p. (Embrapa Solos. Documentos, 130).

SCHRODER, J. L.; ZHANG, H.; GIRMA, K.; RAUN, W. R.; PENN, C. J. Soil acidification from long-term use of nitrogen fertilizers on winter wheat. **Soil Science Society American Journal**, v. 75, p. 957-964, 2011.

SFREDO, G. J.; LANTMANN, A. F. **Enxofre: Nutriente necessário para maiores rendimentos da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007.

SIMÕES, V. P. **Efeito do uso de agromineriais silicáticos no comportamento do cádmio em solos contaminados e em plantas cultivadas**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/>. Acesso em 27 ma. 2024.

SORATTO, R. P.; GUIDORIZZI, F. V. C.; SOUSA, W. S.; GILABEL, A. P.; JOB, A. L. G.; CALONEGO, J. C. Effects of previous fall-winter crop on spring-summer soybean nutrition and seed yield under no-till system. **Agronomy**, v. 12, p. 2974, 2022.

SOUZA, J. G.; AIRES, F. P. G.; GOMIDE, P. H. O.; NUNES, J. C. Calagem e adubação no crescimento do capim Mombaça em Rorainópolis, Roraima. **Ambiente: Gestão e Desenvolvimento**, v. 13, n. 1, p. 24-35, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.24979/376>. Acesso em: 16 jun. 2024.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TAVARES., M. S.; SAUSEN, D.; SCHORR, M. R. W.; MARQUES, A. C. R. Estresse por ferro nas plantas: uma revisão de literatura. **Brazilian. Journal of Development**. Curitiba, v. 6, n. 5. 2020. Disponível em: DOI:10.34117/bjdv6n5-361. Acesso em: 22. Jun, 2024.

TIAN, X. Y.; HE, D. D.; BAI, S.; ZENG, W. Z.; WANG, Z.; WANG, M.; CHEN, Z. C. Avanços fisiológicos e moleculares na nutrição de plantas commagnésio. **Planta e Solo**, v. 468, p. 1-17, 2021.

USDA – U.S. Department of Agriculture. Soja. Disponível em: <https://fas.usda.gov/>. Acesso em: 16 jul. 2024.

van der BOM, F. J. T.; WILLIAMS A.; BELL, M. J. Root architecture for improved resource capture: trade-offs in complex environments. **J Exp Bot**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa324>. Acesso em 22 jun. 2024.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Provisional state of the global climate, 2023**. Disponível em: <https://wmo.int/sites/default/files/2023-11/WMO%20Provisional%20State%20of%20the%20Global%20Climate%202023.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2024.

ZAPOTOSKI, R. G. T.; FERREIRA, C. K. Agrominerais – Fertilizantes e corretivos de acidez do solo. **Revista Foco**, 2023. v. 16, n. 12. Disponível em: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n12-057>. Acesso em 21 mar. 2024.

ZOBIOLE, L. H. S. et al. Acúmulo de nutrientes em soja convencional e soja rr em diferentes tipos de controle de planta daninha. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 30, n. 1, p. 75-85, 2012.