

LEANDRO DE MELLO E SILVA CARNEIRO

FONTES E DOSES DE MAGNÉSIO NAS CULTURAS DA SOJA E DO MILHO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

C289 Carneiro, Leandro de Mello e Silva, 1979-
2019 Fontes e doses de magnésio nas culturas da soja e do
milho [recurso eletrônico] / Leandro de Mello e Silva
Carneiro. - 2019.

Orientador: Hamilton Seron Pereira.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de
Uberlândia, Pós-graduação em Agronomia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.2074>
Inclui bibliografia.

1. Agronomia. I. Seron Pereira, Hamilton, 1968-, (Orient.).
II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em
Agronomia. III. Título.

CDU: 631

LEANDRO DE MELLO E SILVA CARNEIRO

FONTES E DOSES DE MAGNÉSIO NAS CULTURAS DA SOJA E DO MILHO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 19 de fevereiro de 2019.

Profa. Dra. Regina Maria Quintão Lana – Universidade Federal de Uberlândia – UFU.

Prof. Dr. Henrique Gualberto Vilela Penha – Instituto Federal do Triângulo Mineiro.

Prof. Dr. Felipe Paolinelli de Carvalho – Universidade Federal de Viçosa – UFV.



Orientador
Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as oportunidades proporcionadas em minha Vida.

Agradeço ao meu Pai, minha Mãe e meus irmãos que sempre estiveram comigo em todos os momentos da minha vida.

Agradecimento especial a minha esposa (Ana Beatriz) e meus filhos (Matheus e Gustavo) grande fonte de inspiração ao longo dessa minha caminhada.

À Universidade Federal de Uberlândia (UFU), por todos os ensinamentos desde a graduação e lições de vida e por me permitir ser mais um Mestre em Agronomia da UFU, lutando pela Agricultura de nosso Brasil.

Ao Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira, pela excelente orientação do trabalho, pelos ensinamentos técnicos.

À Ms. Luara Cristina de Lima, pela ajuda e orientação na condução dos trabalhos.

Ao Grupo de Apoio à Pesquisa e Extensão (GAPE) pela dedicação na condução do trabalho e principalmente aos Gapeanos (Atômico; Kana).

À AgroEldorado Agricultura e Pecuária Ltda., por todo apoio e ensinamentos pessoais e profissionais. Em especial ao Fábio Mendonça por toda ajuda na formatação desse trabalho.

À Produquímica Agro, pelo fomento financeiro do trabalho e credibilidade depositada;

Agradeço a todos amigos e familiares, pelo apoio e carinho;

Obrigado por tudo e sem vocês eu com certeza não conseguiria chegar aonde estou.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS	vi
RESUMO	vii
CAPÍTULO 1	9
Introdução geral.....	9
Referencial Teórico.....	11
Cultura do milho.....	12
Magnésio no solo e sua interação com outros nutrientes	14
Magnésio na planta.....	16
REFERÊNCIAS.....	18
Resumo.....	25
Abstract.....	25
Introdução	26
Material e métodos.....	27
Características e localização da área experimental.....	27
Preparo do solo, adubação, semeadura e manejo da cultura	30
Delineamento experimental, descrição e aplicação dos tratamentos	32
Avaliações e análise estatística.....	35
Índice SPAD	35
Diagnose foliar.....	35
Produtividade	36
Massa de 1000 grãos	38
Teor de Ca e Mg, relação Ca:Mg no solo e percentual de Mg na CTC	38
Análise estatística	38
Resultados e discussão.....	39
Índice SPAD	39
Diagnose foliar.....	40
Produtividade	42
Massa de 1000 grãos	43

Teor de Ca e Mg, relação Ca:Mg no solo e percentual de Mg na CTC	44
Conclusões	48
REFERÊNCIAS.....	48
CAPÍTULO 3 – RELAÇÃO Ca:Mg E DESEMPENHO DA CULTURA DO MILHO COM USO DE DIFERENTES FONTES DE Mg.....	51
Resumo.....	51
Abstract.....	51
Introdução	52
Material e métodos.....	53
Características e localização da área experimental	53
Preparo do solo, adubação, semeadura e manejo da cultura	54
Delineamento experimental, descrição e aplicação dos tratamentos	56
Avaliações e análise estatística	59
Índice SPAD	59
Diagnose foliar.....	59
Produtividade	60
Massa de 1000 grãos	61
Teor de Ca e Mg, relação Ca:Mg no solo e percentual de Mg na CTC	62
Análise estatística.....	62
Resultados e Discussão	63
Índice SPAD	63
Diagnose foliar.....	64
Produtividade	65
Teor de Ca e Mg, relação Ca:Mg no solo e percentual de Mg na CTC	67
Conclusões	70
REFERÊNCIAS.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Temperaturas máxima, média e mínima (°C) e precipitação média (mm) da Fazenda Beija Flor II no período de condução do experimento.

Figura 2. Área de instalação do experimento na cultura da soja.

Figura 3. Semeadeira Absoluta 32 linhas.

Figura 4. Croqui da área experimental.

Figura 5. Área útil de cada parcela.

Figura 6. Aplicação dos tratamentos nas culturas da soja.

Figura 7. Clorofilômetro Konica Minolta SPAD utilizado para a leitura do índice SPAD na soja.

Figura 8. Foto de amostra foliar.

Figura 9. Trator New Holland 8030 acoplado ao batedor axial para colheita da área útil das unidades experimentais.

Figura 10. Esquema da área útil colhida da unidade experimental.

Figura 11. Amostra identificada com a respectiva parcela experimental.

Figura 12. Separação e pesagem das amostras de 1000 grãos.

Figura 13. Precipitação média Fazenda Beija Flor II - Soja safra 2017/18.

Figura 14. Área de instalação do experimento na cultura do milho safra 2017/18.

Figura 15. Croqui da área experimental.

Figura 16. Área útil de cada parcela.

Figura 17. Foto da área experimental.

Figura 18. Determinação do Índice SPAD com o uso do Clorofilômetro Konica Minolta SPAD no milho.

Figura 19. Coleta da folha referência do milho.

Figura 20. Colheita da área experimental do milho com o trator Valmet 880 acoplado ao batedor axial para colheita da área útil das unidades experimentais.

Figura 21. Amostras de 1000 grãos de milho.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental.

Tabela 2. Quantidade de nutrientes fornecidos em pré-semeadura na área experimental.

Tabela 3. Tratamento fitossanitário realizado na cultura de soja.

Tabela 4. Índice SPAD em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura da soja.

Tabela 5. Teor de Magnésio foliar, g kg^{-1} , em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura da soja.

Tabela 6. Médias de produtividades, kg ha^{-1} , em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura da soja.

Tabela 7. Massa de mil de grãos, g, em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura da soja.

Tabela 8. Teores médios de Ca, Mg e K, $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, na profundidade de 0 a 20 cm, em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura da soja.

Tabela 9. Percentual de Mg na CTC e relação Ca: Mg na profundidade de 0 a 20 cm, em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura da soja.

Tabela 10. Caracterização química do solo da área experimental.

Tabela 11. Quantidade de nutrientes fornecidos em pré-semeadura.

Tabela 12. Tratamento fitossanitário feito na cultura do Milho.

Tabela 13. Índice SPAD, em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura do milho.

Tabela 14. Teor médio de Mg foliar, g kg^{-1} , em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura do milho.

Tabela 15. Médias de produtividades, em kg ha^{-1} , em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura do milho.

Tabela 16. de mil de grãos, g, em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura do milho.

Tabela 17. Teores médios de Ca, Mg e K, $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, na profundidade de 0 a 20 cm, em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura do milho.

Tabela 18. Percentual de Mg na CTC e relação Ca: Mg na profundidade de 0 a 20 cm, em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura do milho.

RESUMO

CARNEIRO, LEANDRO DE MELLO E SILVA. Fontes e doses de magnésio nas culturas da soja e milho. 2019. 74 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

O manejo correto da fertilidade do solo é importante para o alcance do potencial produtivo da cultura, porém deve se levar em conta atributos do solo, como a relação Ca:Mg. Os experimentos foram instalados na área agrícola, pertencente a Agroeldorado Agricultura e Pecuária LTDA, no município de Uberlândia - MG, na safra 2017/2018, visando avaliar a influência de diferentes fontes de Mg e a relação cálcio e magnésio na cultura da soja e do milho. No primeiro experimento com soja utilizou-se o delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 5x3, sendo cinco relações Ca:Mg, 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 e 5:1, e três fontes magnesianas, oxisulfato de Mg, óxido de Mg e sulfato de Mg. No segundo experimento com milho utilizou-se o delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 4x3, sendo quatro relações Ca:Mg, 1:1, 2:1, 3:1 e 4:1, e três fontes magnesianas, oxisulfato de Mg, óxido de Mg e sulfato de Mg. Nos dois experimentos foram avaliados os teores dos nutrientes Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} no solo, a relação Ca:Mg, o percentual de Mg na CTC e os teores foliares de Mg, o índice SPAD, a produtividade e a massa de mil grãos. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste de Tukey à 0,05 de significância. Para a soja, a relação Ca:Mg 1:1 e as fontes de óxido de Mg e oxisulfato de Mg aumentam o percentual de Mg na CTC, enquanto as relações 4:1 e 5:1 e as fontes de óxido de Mg e oxisulfato de Mg, são as que menos alteram a relação Ca:Mg original do solo. Para o milho, as relações Ca:Mg 1:1, 2:1 e 3:1, e as fontes de óxido de Mg e oxisulfato de Mg aumentam o percentual de Mg na CTC, enquanto as relações 3:1 e 4:1 e as fontes de óxido de Mg e oxisulfato de Mg, são as que menos alteram a relação Ca:Mg original do solo.

Palavras-chave: *Glycine max L.*, *Zea mays L.*, óxido de Magnésio, oxisulfatos, sulfato de Magnésio.

¹Orientador: Hamilton Seron Pereira - UFU

ABSTRACT

CARNEIRO, LEANDRO DE MELLO E SILVA. Sources and doses of magnesium in soybean and corn crops. 2019. 74p. Uberlândia: UFU, 2019. XX p. Dissertation (Master Program Agronomy/Crop Science) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia.¹

The correct handling of soil fertility is important to reach the productive potential of the culture, but must take into account soil attributes, such as the Ca:Mg ratio. The experiments were installed in the agricultural area, belonging to the Agroeldorado Agriculture and Livestock LTDA, in the municipality of Uberlândia - MG, for the 2017/2018 harvest, aiming to evaluate the influence of different sources of Mg and the relation between calcium and magnesium in the cultivation of soybean and maize. In the first experiment with soybean, the experimental design was a completely randomized block, in factorial 5x3, being five Ca:Mg ratios, 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 and 5:1 and three magnesian sources, oxisulphate of Mg, oxide of Mg and sulphate of Mg. In the second experiment with maize, it was used a randomized block design in a factorial scheme 4x3, with four Ca:Mg ratios, 1:1, 2:1, 3:1 and 4:1, and three magnesian sources, oxisulphate of Mg, oxide of Mg and sulphate of Mg. In two experiments were evaluated the contents of nutrients Ca^{2+} , Mg^{2+} and K^+ in the soil, the Ca:Mg ratio, the percentage of Mg in CEC and the leaf contents of Mg and the SPAD index, the productivity and the mass of one thousand grains. The results were submitted to analysis of variance by the Tukey test at 0.05 significance level. For soybeans, the Ca:Mg ratio, 1:1, and the sources of oxide of Mg and oxisulphate of Mg increases the percentage of Mg in CEC, while the relations 4:1 and 5:1 and the sources oxide of Mg and oxisulphate of Mg, are the ones that least alter the Ca:Mg relationship in the original soil. For corn, the Ca:Mg ratios 1:1, 2:1 and 3:1, and the sources of oxide of Mg and oxisulphate of Mg increases the percentage of Mg in the CEC, while relations 3:1 and 4:1 and the sources oxide of Mg and oxisulphate of Mg, are the ones that least alter the Ca:Mg relationship in the original soil.

Keywords: *Glycine max* L., *Zea mays* L., magnesium oxide, magnesium sulfate, oxisulphates.

¹Major Professor: Hamilton Seron Pereira - UFU

CAPÍTULO 1

Introdução geral

Diante do crescimento populacional, estratégias como o aumento da eficiência de fontes de nutrientes que proporcionem o incremento da produção vêm sendo buscados. O fornecimento adequado de nutrientes contribui para uma produção agrícola eficiente, independente da espécie utilizada. Conhecer as características do solo, dos nutrientes e das plantas é essencial para o aumento da eficiência na adubação do solo.

Em função das quantidades exigidas pelas plantas, os elementos que caracterizam como essenciais para essas são classificados como macronutrientes e micronutrientes (BARBOSA et al., 2009). Sendo N, P, K, Ca, Mg e S, os macronutrientes e Cl, Mn, B, Zn, Fe, Cu, Ni e Mo, os micronutrientes (MALAVOLTA, 2006; WARAIICH et al., 2011). Diante disso, ao avaliar os nutrientes deve-se levar em conta a sua disponibilidade para a planta e a sua interação com outros nutrientes e o solo.

Para milho e soja cultivados em solos do cerrado não existem muitas informações a respeito de níveis adequados da saturação por Ca, Mg e K e a relação entre Ca/K, Ca/Mg e Mg/K (FAGERIA, 2001). Entretanto, Kamprath (1984) determinou que o nível adequado de saturação por Ca encontra-se na faixa de 25-30% para solos tropicais ácidos e intemperizados como os de cerrado. Segundo Camberato (1999), uma saturação de Mg maior que 10% é necessária para assegurar o fornecimento deste nutriente para as culturas anuais. Eckert (1987) determinou que o nível adequado de saturação por bases situa-se na faixa de 10% a 15% e a saturação por K na faixa de 2% a 5%.

As bases Ca, Mg e K, por exemplo, para estar em suas melhores condições de equilíbrio na solução do solo, devem ter uma saturação de seu complexo de troca com 65% - 85%, 4% - 12% e 2% - 5%, respectivamente (BEAR e TOTH 1948, ADAMS e HENDERSON 1962, LIEBHARDT 1981, ROSOLEM et al., 1984), indicando que a resposta a um destes cátions depende não só de seu teor absoluto no solo, mas também da sua relação com os demais (ROSOLEN et al., 1984). Porém, essa proporção é

variável com a cultura, o tipo de solo e também com o nível de saturação por bases (OLIVEIRA et al., 2004).

No Brasil, o milho e a soja são as principais espécies cultivadas devido à importância destes, principalmente, na alimentação humana e animal. Um dos elementos considerados essenciais para essas culturas é o Mg, visto que é o componente central da molécula de clorofila e influencia diretamente o processo fotossintético e o metabolismo energético vegetal.

A deficiência de Mg na planta do milho pode causar amarelecimento nas margens das folhas mais velhas e entre as nervuras, dando o aspecto de estrias, o sintoma progride para as folhas mais novas (SILVA et al., 2017). Já na cultura da soja, os sintomas de deficiência são caracterizados por clorose amarelo-claro internerval nas folhas mais velhas e nervuras com coloração verde-pálida.

A principal fonte utilizada para o fornecimento do Mg às plantas é o calcário, que é utilizado para correção do solo e como fonte de Ca. Entretanto, em solos com teores baixos ou muito baixos de Mg, somente o calcário não é suficiente para fornecer o nutriente às plantas, exigindo adubação complementar. Além do corretivo existem alternativas quanto ao fornecimento do Mg via solo, como por exemplo, óxido de magnésio; k-mag; multifosfato magnesiano e sulfato de magnésio granulado; e kieserita. Verificada a importância do Mg na nutrição vegetal, bem como as formas alternativas de suprimento do mesmo, objetivou-se avaliar a influência de diferentes fontes de Mg e a relação cálcio e magnésio na cultura da soja e do milho.

Referencial Teórico

Cultura da soja

A soja (*Glycine max* L.) é uma das principais culturas de importância na economia mundial. É originária da Ásia, sendo uma planta autógama, pertencente à família Leguminosae (MENDES et al., 2018).

No Brasil, é o cultivo que mais cresceu nas últimas três décadas e atualmente ocupa uma área de aproximadamente 35,152 milhões de hectares, abrangendo principalmente os Estados do Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás, com expectativa de produção próxima de 118,883 milhões de toneladas de grãos e produtividade média de 56,3 sacas ha⁻¹ (CONAB, 2018).

Caracterizado como um dos principais produtos agrícolas do país devido aos avanços tecnológicos, a produtividade da soja vem aumentando consideravelmente. Sua semente oleaginosa e com alto valor nutricional torna este componente matéria-prima essencial na fabricação de rações animais e, em razão do seu alto teor de proteínas, seu uso na alimentação humana encontra-se em franco crescimento (BRASIL, 2014). A soja tem seu uso concentrado nas seguintes cadeias: farelo de soja (rações para animais), uso da proteína isolada (alimentos e indústrias), obtenção do óleo vegetal, além da exportação de grande parte da produção.

A época de semeadura varia entre a segunda quinzena de setembro até plantios mais tardios em dezembro, visto a variação das condições climáticas de cada região produtora, devido ao fato da soja ser uma espécie termo e fotossensível, além da diferença dos índices pluviométricos encontrada nas regiões.

A soja caracterizou-se nas últimas três décadas como a cultura brasileira que mais cresceu no cenário agrícola, correspondente a 49% da área plantada em grãos no país (BRASIL, 2014). Ainda segundo dados do órgão, a cultura apresenta previsão de crescimento da sua produção interna estimada em 2,43% até 2019. Quanto à exportação, o complexo da soja, composto pelo grão, farelo e óleo, consolidam-se como o principal gerador de divisas cambiais, apresentando negociações anuais que ultrapassam US\$ 20 bilhões, com estimativa de representar 40% do comércio mundial do grão e 73% do óleo proveniente da leguminosa.

Cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) pertence à família Poaceae e é uma espécie originária da América do Norte, com centro de origem genética no México, sendo destinada ao consumo in natura para alimentação animal e humano, tendo ainda utilização industrial diversificada (SILVEIRA et al., 2015).

O milho possui metabolismo fotossintético do tipo C4, que se caracteriza pelo elevado potencial produtivo. Devido ao valor nutricional de seus grãos e sua importância na alimentação humana, animal e matéria-prima para a indústria, é uma das culturas de maior importância no cenário mundial (MEIRA et al., 2009; GUARESCHI et al., 2013).

O Brasil é o terceiro maior produtor de milho do mundo, na safra de 2017/2018 a produção brasileira foi de 95 milhões de toneladas, em que aproximadamente 65% é para o mercado interno (USDA, 2018).

No Brasil, o milho ocupa a segunda maior área cultivada do país (CONAB, 2018) devido ao fato de ser destinado ao consumo in natura para alimentação animal e humano, tendo ainda utilização industrial, sendo a principal fonte de energia na dieta de rebanhos bovinos, caprinos, ovinos e aves, por ser componente de silagem e rações (FRANCISCO et al., 2017) e seu grão é transformado em óleo, farinha, amido, margarina, xarope de glicose e flocos para cereais matinais (SILVEIRA et al., 2015).

Os solos do cerrado possuem baixo teor de nutrientes, elevado índice de acidez e alto teor de alumínio tóxico, o que dificulta o desenvolvimento e crescimento das raízes em profundidade (AMARAL et al., 2017), sendo necessária a correção desses para que se tenha uma elevada produção com alta qualidade.

O milho é uma cultura que responde bem ao uso de fertilizantes, diante de níveis adequados de nutrientes ocorrem incrementos significativos em várias características que influenciam a produção final (OHLAND et al., 2005).

Nos últimos anos têm ocorrido importantes mudanças tecnológicas na cultura do milho no Brasil, que vêm resultando em aumentos expressivos da produtividade. Pode-se destacar a conscientização dos produtores com a necessidade de melhoria na qualidade dos solos, buscando uma produção sustentada, que inclui, por exemplo, o manejo da fertilidade através da calagem e a adubação equilibrada com macro e micronutrientes (SILVA et al., 2016).

O milho era coadjuvante na produção brasileira de grãos e o Brasil, por muitas vezes, se tornava importador eventual do grão. Mas com o passar dos anos essa situação mudou, o milho ganhou destaque dentro do sistema integrado de produção, seja na safra de verão, ou principalmente na segunda safra, após a colheita da soja.

Nos anos 1990 e início dos anos 2000, o milho era entendido como um competidor da área de soja no Brasil, o crescimento ou redução da área de milho, que na média ficava entre 30% da área de soja no Brasil, era definido pelo preço das commodities, ou seja, preço alto da soja e baixo do milho estimulava o plantio de soja, preço alto do milho e baixo da soja, aumentava-se a área de milho.

O fato mais relevante desta época foi a famosa variabilidade de preços, chamada curva “M” do milho, em que uma safra que o preço médio do milho estava baixo, desestimulando o plantio da cultura, poucos agricultores plantavam, fazendo com que na safra seguinte os preços do milho aumentassem, levando os agricultores a plantarem grandes áreas, o que culminava em preços normalmente baixos na safra posterior, muitas vezes reflexo do preço internacional. Esta variação de preço era extremamente prejudicial aos agricultores e aos produtores de proteína animal, altamente dependentes do milho.

No caso do milho segunda safra, visto que é plantado após uma cultura de verão, o mesmo torna-se dependente do planejamento da cultura anterior, apresentando certas limitações quanto às condições climáticas, por se tratar de uma época do ano com limitações hídricas, térmicas e fototérmicas. Devido a esses fatores, não se estabelece época de semeadura para a segunda safra, sendo a cultura desenvolvida entre os meses de janeiro a abril. Apesar das desvantagens climáticas, segundo levantamento da Conab (2018), a estimativa de área plantada e produção de milho segunda safra para o ano agrícola encontram-se bem superiores ao milho de verão, sendo próximo de 10 milhões de hectares ocupados e uma produção por volta de 57 milhões de toneladas.

Relatórios recentes mostram que o milho tem uma área cultivada de 16.694 milhões de hectares, apresentando como principais estados produtores o Mato Grosso, Paraná, Mato Grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais, com expectativa de produção total (1º e 2º safra) de 82.926 milhões de toneladas com produtividade média de 82,7 sacas (60 kg) ha⁻¹ (CONAB, 2018), com épocas de semeadura de milho safra iniciando-se primeiramente na região Sul do país, concentrada nos meses de agosto a setembro, seguido das regiões Centro-Oeste e Sudeste com variação de época de semeadura entre agosto e outubro. Em todas as regiões é observada tal variação por buscar sempre

condições favoráveis de temperatura, umidade e radiação solar, fatores responsáveis pelo bom desenvolvimento da cultura.

Magnésio no solo e sua interação com outros nutrientes

Apesar de aproximadamente 1,3, 4,7 e 4,3% da camada continental superior, inferior e crosta oceânica, respectivamente, serem compostas de magnésio (Mg) (SELLEY et al., 2005), a concentração do nutriente na composição da superfície dos solos é muito baixa, ficando entre 0,03 a 0,84%, apresentando os solos arenosos os níveis mais baixos (em torno de 0,05%) e solos argilosos com teores mais elevados (em torno de 0,50%) (NILSSON, 1987; KIRKBY e MENGEL, 1976).

As frações de Mg encontradas no solo são: não-trocável, trocável e fração hidrossolúvel. A parte não-trocável consiste no Mg presente nos minerais primários e minerais de argilas secundárias. A fração trocável corresponde por volta de 5% da quantidade total do nutriente presente no solo, sendo responsável por 4 a 20% da CTC (KIRKBY e MENGEL, 1976).

Diversos fatores podem causar a baixa disponibilidade de Mg às plantas, sendo eles: baixa concentração do nutriente nas rochas formadoras do solo (PAPENFUS e EIROT, 1979); perdas no solo (MAATHUIS, 2009; GRANSEE e FURS, 2013); cultivos a longo prazo com fertilização de Mg desbalanceada, além da extração das culturas (POL e TRAORE, 1993); excessiva acidez do solo resultando em altos teores de manganês (Mn) e alumínio (Al), baixa disponibilidade de água e baixa transpiração (MENGEL e KIRKBY, 2001; LYNCH e ST.CLAIR, 2004; GRANSEE e FURS, 2013); e o manejo inadequado da adubação potássica, devido ao antagonismo de absorção com o Mg (GUIET-BARA et al., 2007; CAI et al., 2012).

Dentre as condições ambientais e fisiológicas que propiciam o aumento da indisponibilidade do nutriente às plantas, destacam-se:

- Condições específicas de tipo de solo e rizosfera, como seca ou disponibilidade irregular de água (HUANG, 2001; KOLB., MCCORMICK, 1993);
- Baixa drenagem (GARNER et al., 1923);
- Baixo pH (MARLER et al., 1998);

- Baixa temperatura de solo (HUANG e GRUNES, 1992; JENSÉN e PERBY, 1986).

Além das condições citadas acima, outro importante fator controlador da disponibilidade do magnésio (Mg^{2+}) às plantas é a sua relação com outros nutrientes principalmente potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e nitrogênio (N). Além disso, pode-se observar elevada interação com outros cátions presentes no solo, como hidrogênio (H^+), amônio (NH^{4+}), alumínio (Al^{3+}) e sódio (Na^+). Segundo Mills et al. (1996), a competição do magnésio com tais cátions para sua absorção pelas plantas da maior para as menores quantidades segue a seguinte ordem: $K^+ > NH^{4+} > Ca^{2+} > Na^+$.

Geralmente, apesar da concentração de Mg^{2+} ser maior que a de K^+ na solução do solo, as quantidades do nutriente absorvido pelas células radiculares são bem menores que a de potássio. A razão para esse comportamento ainda não é clara, no entanto, encontram-se na literatura algumas hipóteses que tentam explicar o fato. Uma possível razão para isso seria a falta de um mecanismo especial de absorção e transporte do nutriente pela membrana plasmática, como ocorre no transporte de outros cátions no metabolismo vegetal, sendo tal processo caracterizado por difusão facilitada por canais não totalmente específicos para o transporte de Mg^{2+} através do gradiente eletroquímico. O mesmo fato pode ser observado no fluxo do nutriente pelo tonoplasto, que na presença excessiva de outros cátions, especialmente K^+ e NH^{4+} , têm sua absorção e translocação drasticamente reduzidos (SCHIMANSKI, 1981)

Na relação Mg/K, quando aumenta-se a disponibilidade ou fornecimento do K no meio, ocorrerá a inibição da absorção e acumulação do Mg pelas plantas e vice-versa (CAO et al., 1992), sendo a dimensão dessa relação antagonista dependente das doses de fertilizantes potássicos e magnesianos aplicados, observando tal relação reportada nas culturas de soja (BOWER e PIERRE, 1944; LEGGETT e GILBERT, 1969) e milho (WALKER e PECK, 1975).

Altas concentrações de cálcio relativa ao magnésio na rizosfera inibem a absorção do Mg e vice-versa. Morard et al. (1996) observaram forte antagonismo entre os nutrientes, sugerindo que o cálcio em elevadas concentrações no solo seria responsável pela translocação do magnésio nas folhas, visto a diminuição brusca da absorção do mesmo.

Em estudos realizados por Whitcomb (1988), foi demonstrado que mesmo com o uso de calcário “dolomítico”, o suprimento do nutriente às plantas pode não ser suficiente, sendo observada deficiência do mesmo. Essa deficiência ocorre devido a

solubilidade do carbonato de cálcio (CaCO_3) ser menor que a do carbonato de magnésio (MgCO_3).

O nitrogênio (N) também é outro importante nutriente que pode inibir ou promover a absorção e acúmulo do Mg em plantas, sendo tal fator controlado pela fonte de N utilizada. Com a utilização de amônio (NH_4^+) pode ocorrer redução ou até supressão da absorção de Mg pelas plantas, conforme observado na série de interação do nutriente com outros cátions presentes no solo. Já no caso da utilização de fontes nítricas (NO_3^-), ocorre o incremento na absorção do Mg (LASA et al., 2000).

Magnésio na planta

Em folhas verdes, a principal e mais conhecida função do Mg se dá pelo fato de ser constituinte do átomo central da molécula de clorofila, sendo a quantidade do nutriente presente nessas estruturas dependente do suprimento do mesmo, sendo tal valor entre 6 e 25% via de regra, já que 5 a 10% do Mg é componente de parede celular de pectatos ou então precipitado em forma de sal solúvel no vacúolo, e o restante, de 60 a 90%, passível de extração por água (MENDES et al., 2018).

O Mg também tem outra importante função no metabolismo vegetal, sendo componente essencial de agregação das subunidades ribossomais, processo necessário para a síntese proteica (CAMMARANO et al., 1972). Quando o nível desse nutriente no metabolismo vegetal é deficiente, ou na presença excessiva de potássio (K) (SPERRAZZA e SPREMULLI, 1983), as subunidades se degeneram, cessando o processo de síntese de proteínas. Além disso, o mesmo também se faz necessário para a formação das RNA polimerases sendo, consequentemente, importante na formação do RNA presente no núcleo celular vegetal.

Em células foliares, pelo menos 25% do total de proteínas presentes encontra-se nos cloroplastos, sendo esse o principal motivo que explica que quando há deficiência do nutriente ocorre danos diretos no tamanho, estrutura e função dos cloroplastos, incluindo a cadeia de transferência de elétrons no fotossistema II (MC_SWAIN et al., 1976). Em plantas deficientes de magnésio, aumenta-se a translocação do mesmo de folhas maduras para folhas novas, externalizando a ocorrência predominante da deficiência do mesmo em folhas maduras, indicando incremento na ocorrência da degradação de proteínas.

Há uma longa lista de enzimas e reações enzimáticas que requerem ou são fortemente promovidas pela presença do Mg, por exemplo a síntese da glutatona e PEP carboxilase. Para a síntese da principal fonte energética para as plantas, a molécula de ATP (ADP + P_i → ATP), o nutriente também possui papel fundamental, servindo como ligante entre ADP e a enzima responsável pela síntese. Outras duas reações enzimáticas chaves que o nutriente participa é a modulação da RuBP carboxilase nos estromas dos cloroplastos (PIERCE, 1986) e a ativação da frutose-1,6-bifosfatase, que nos cloroplastos regula a partição dos fotoassimilados entre a síntese de amido e exportação de trioses fosfato (GERHARDHT et al., 1987).

A quantidade do nutriente distribuído nos tecidos vegetais irá se diferir de acordo com o órgão vegetal, observando-se a tendência de maior acúmulo nos órgãos transpirativos, como folhas e flores, quando comparados com o sistema radicular (DROSSOPOULOS et al., 1996). Segundo Kirkby e Mengel (1976), a concentração do nutriente na maioria das culturas agrícolas encontra-se na média de 0,1 a 0,5% da massa seca. Especificadamente, no caso da cultura da soja, a concentração média suficiente para o desenvolvimento vegetal encontra-se na faixa de 0,25 a 1,0% e no caso do milho, 0,13 a 1,0%, evidenciando a maior exigência do nutriente pela leguminosa. De acordo com dados da Embrapa (2008), a exportação do nutriente para os grãos da cultura da soja encontra-se na faixa de 2 kg de Mg por tonelada produzida. Já no caso do milho, o valor é inferior, sendo de 1,5 kg de Mg por tonelada de grãos produzidas (BROCH e RANNO, 2012).

O acúmulo de carboidrato não estrutural nas folhas (amido, açúcar) é uma característica típica da deficiência do nutriente em plantas (FISCHER e BUSSLER, 1988) e é o principal responsável pelo maior massa seca dessas folhas quando comparado com plantas supridas com magnésio, evidenciando que o processo da fotossíntese é menos atingido do que a degradação do amido nos cloroplastos. Nas raízes, segundo Scott e Robson (1990), a deficiência do nutriente reduz significativamente o crescimento dessas estruturas. No entanto, vale citar que a severidade dos efeitos da deficiência do nutriente será influenciada por fatores como: tipo e estágio de desenvolvimento da planta, condições ambientais e status nutricional da cultura.

Segundo Forster (1980), quando há a deficiência do nutriente em cereais ocorre a redução da massa dos grãos devido a debilitação na exportação de carboidratos da fonte (folhas fotossinteticamente ativas) para o dreno (grãos). Internamente, em plantas

deficientes em magnésio, pode-se observar a ocorrência de dois importantes processos no metabolismo vegetal, sendo eles o incremento da formação de superóxidos (espécies reativas de oxigênio) e peróxido de hidrogênio (H_2O_2), substâncias tóxicas ao metabolismo vegetal em altas concentrações; e interrupção do processo de fixação de CO_2 devido a não ativação da enzima RuBP carboxilase.

Externamente essas folhas tornam-se altamente fotosensitivas, levando à formação de sintomas de amarelecimento internerval, clorose e necrose e queda prematura das folhas nos casos mais extremos, sendo tais sintomas expressos inicialmente em folhas velhas devido a mecanismos de translocação e mobilidade do nutriente no metabolismo vegetal, sendo o nutriente translocado de folhas velhas para novas através do floema.

Acrescenta-se que há incremento dos sintomas nas folhas mais expostas à radiação solar (MARSCHNER e CAKMAK, 1989). Além de tais sintomas, pode-se acrescentar que no caso da maioria das monocotiledôneas, como no caso dos cereais, pode-se observar inicialmente a presença de pequenas manchas de coloração verde escura na base das folhas.

Em condições de deficiência de Mg, o crescimento radicular das plantas é afetado pela redução na translocação de carboidratos para a raiz e, por sua vez, a sua deficiência prejudica a absorção de outros nutrientes (WIEND, 2007).

REFERÊNCIAS

ADAMS, F.; HENDERSON, J. B. Magnesium Availability as Affected by Deficient and Adequate Levels of Potassium and Lime 1. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 26, n. 1, p. 65-68, 1962.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1962.03615995002600010018x>

AMARAL, L. A.; ASCARI, J. P.; DUARTE, W. M.; MENDES, I. R. N.; SANTOS, E. S.; JULIO, O. L. L. Efeito de doses de gesso agrícola na cultura do milho e alterações químicas no solo. **Agrarian**, Dourados, v. 10, n. 35, p. 31-41, 2017.
<https://doi.org/10.30612/agrarian.v10i35.4139>

BARBOSA, J. G.; BARBOSA, M. S.; MUNIZ, M. A. **Mineral nutrition and fertilization of ornamental plants**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 30, n. 249, p. 16-21, 2009

BEAR, F.E.; TOTH, S.T. Influence of calcium on other soil cations. **Soil Science**, New Brunswick, v. 63, p. 69-75, 1948. <https://doi.org/10.1097/00010694-194801000-00007>

BOWER, C. A.; PIERRE, W. H. Potassium response of various crops on a high-lime soil in relation to their contents of potassium, calcium, magnesium and sodium. **Journal of the American Society of Agronomy**, Madison, v. 36, p. 608-614, 1944
<https://doi.org/10.2134/agronj1944.00021962003600070009x>

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Agricultura e Pecuária. **Plano agrícola e pecuário** 2014/1015. [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/PAP%202014-2015.pdf. Acesso em: 25 maio 2018.

CAI, J.; CHEN, L.; QU, H.; LIAN, J.; LIU, W.; HU, Y.; XU, G. Alteration of nutrient allocation and transporter genes expression in rice under N, P, K, and Mg deficiencies. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, p. 939-946, 2012.<https://doi.org/10.1007/s11738-011-0890-x>

CAMBERATO, J. J. **Bioavailability of calcium, magnesium, and sulfur**. In: SUMMER, M. E. (ed.). Handbook of soil science, Boca Raton: CRC, 1999. p. 53-69

CAMMARANO, P.; FELSANI, A.; GENTILE, M.; GUALERZI, C.; ROMEO, A.; WOLF, G. Formation of active hybrid 80-S particles from subunits of pea seedlings and mammalian liver ribosomes. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Nucleic Acids and Protein Synthesis**, v. 281, n. 4, p. 625-642, 1972. [https://doi.org/10.1016/0005-2787\(72\)90160-8](https://doi.org/10.1016/0005-2787(72)90160-8)

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 12 Safra 2017/18 - Décimo segundo levantamento. Brasília DF, 2018, p. 1-148. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 02 jan. 2019

DROSSOPOULOS, J. B.; KOUCHAJI, G. G.; BOURANIS, D. L. Seasonal dynamics of mineral nutrients by walnut tree reproductive organs. **Journal of plant nutrition, Athens**, v. 19, n. 2, p. 435-455, 1996. <https://doi.org/10.1080/01904169609365133>

ECKERT, D. J. **Soil test interpretations**: basic cation saturation ratios and sufficiency levels. In: BROWN, J. R. (ed.). Soil testing: sampling, correlation, calibration, and interpretation. Madison: Soil Science Society of America, 1987. p. 53-64

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja**: região central do Brasil 2009 e 2010. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 261 p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 13)

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001001100013>

FISCHER, E. S.; BUSSLER, W. Effects of magnesium deficiency on carbohydrates in *Phaseolus vulgaris*. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, v. 151, n. 5, p. 295-298, 1988. <https://doi.org/10.1002/jpln.19881510504>

FORSTER, H. Einfluß von unterschiedlich starkem Magnesiummangel bei Gerste auf den Körnertrag und seine Komponenten. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, v. 143, n. 6, p. 627-637, 1980. <https://doi.org/10.1002/jpln.19801430603>

FRANCISCO, P. R. M.; SANTOS, D.; GUIMARÃES, C. L.; ARAÚJO, S. R. D.; OLIVEIRA, F. P. Aptidão climática do milho (*Zea mays* L.) para o estado da Paraíba. **Revista de Geografia, Recife**, v. 34, n. 1, p. 290-305, 2017.

GARNER, W. W.; MCMURTREY, J. E.; BACON, C. W.; MOSS, E. G. Sand-drown, a chlorosis of tobacco due to magnesium deficiency, and the relation of sulphates and chlorides of potassium to the disease. **Journal of Agricultural Research**, Lahore, v. 23, p. 27-40, 1923.

GERHARDT, R.; STITT, M.; HELDT, H. W. Subcellular metabolite levels in spinach leaves: regulation of sucrose synthesis during diurnal alterations in photosynthetic partitioning. **Plant Physiology**, California, v. 83, n. 2, p. 399-407, 1987. <https://doi.org/10.1104/pp.83.2.399>

GRANSEE, A.; FÜHRS, H. Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. **Plant and Soil**, Perth, v. 368, n. 1-2, p. 5-21, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1567-y>

GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; GAZOLLA, P. R. Produtividade de milho submetido à aplicação de ureia revestida por polímeros. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 6, n. 2, 2013. <https://doi.org/10.14688/1984-3801.v06n02a04>

GUIET-BARA, A.; DURLACH, J.; BARA, M. Magnesium ions and ionic channels: activation, inhibition or block - a hypothesis. **Magnesium Research**, Oregon, v. 20, n. 2, p. 100-106, 2007.

HUANG, B. Nutrient accumulation and associated root characteristics in response to drought stress in tall fescue cultivars. **HortScience**, Alexandria, v. 36, n. 1, p. 148-152, 2001. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.36.1.148>

HUANG, J. W.; GRUNES, D. L. Effects of root temperature and nitrogen form on magnesium uptake and translocation by wheat seedlings. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v. 15, n. 6-7, p. 991-1005, 1992. <https://doi.org/10.1080/01904169209364376>

JENSÉN, P.; PERBY, H. Growth and accumulation of N, K⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ in barley exposed to various nutrient regimes and root/shoot temperatures. **Physiologia Plantarum**, Sweden v. 67, n. 2, p. 159-165, 1986. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1986.tb02438.x>

KAMPRATH, E. J. **Crop response to lime on soils in the tropics**. In: ADAMS, F. (ed.). Soil acidity and liming. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1984. p. 349-368.

KIRKBY, E. A.; MENGEL, K. The role of magnesium in plant nutrition. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, New Zealand, v. 139, n. 2, p. 209-222, 1976.
<https://doi.org/10.1002/jpln.19761390208>

KOLB, T. E.; MCCORMICK, L. H. Etiology of sugar maple decline in four Pennsylvania stands. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 23, n. 11, p. 2395-2402, 1993. <https://doi.org/10.1139/x93-296>

LASA, B.; FRECHILLA, S.; ALEU, M.; GONZÁLEZ-MORO, B.; LAMSFUS, C.; APARICIO-TEJO, P. M. Effects of low and high levels of magnesium on the response of sunflower plants grown with ammonium and nitrate. **Plant and Soil**, Perth, v. 225, n. 1-2, p. 167-174, 2000.

LEGGETT, J. E.; GILBERT, W. A. Magnesium uptake by soybeans. **Plant physiology**, California, v. 44, n. 8, p. 1182-1186, 1969. <https://doi.org/10.1104/pp.44.8.1182>

LIEBHARDT, W. C. The Basic Cation Saturation Ratio Concept and Lime and Potassium Recommendations on Delaware's Coastal Plain Soils 1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, n. 3, p. 544-549, 1981.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500030022x>

LYNCH, J. P.; ST.CLAIR, S. B. Mineral stress : the missing link in understanding how global climate change will affect plants in real world soils. **Field Crops Research**, v. 90, p. 101-115, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.07.008>

MAATHUIS, F. J. M. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, California, v. 12, n. 3, p. 250-258, 2009.
<https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.04.003>

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. 1. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARIER, T. E. Solution pH influences on growth and mineral element concentrations of 'Waimanalo'papaya seedlings. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v. 21, n. 12, p. 2601-2612, 1998. <https://doi.org/10.1080/01904169809365591>

MARSCHNER, H.; CAKMAK, I. High light intensity enhances chlorosis and necrosis in leaves of zinc, potassium, and magnesium deficient bean (*Phaseolus vulgaris*) plants. **Journal of Plant Physiology**, Athens, v. 134, n. 3, p. 308-315, 1989.
[https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(89\)80248-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(89)80248-2)

MEIRA, F. A.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E.; ANDRADE, J. A. C. Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina v. 30, n. 2, p. 275-284, 2009.
<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2009v30n2p275>

MENDES, A. M. S.; FARIA, C. M. B.; SILVA, D. J.; RESENDE, G. M.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SILVA, M. S. L. **Nutrição mineral e adubação da cultura da cebola no Submédio do Vale do São Francisco**. 10 p., 2008.

MENDES, A. L. A.; SENÔ, K. C. A.; OLIVEIRA, R. C. Influência do complexo bacteriano em tratamento de sementes no desempenho agronômico da soja (Glycine max) em condições de campo. **Nucleus**, Ituverava, v. 15, n. 1, p. 533-538, 2018. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.2163>

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-1009-2>

MILLS, H. A.; JONES, J. B.; WOLF, B. **Plant analysis handbook II**: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide, 1996.

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

MCSWAIN, B. D.; TSUJIMOTO, H. Y.; ARNON, D. I. Effects of magnesium and chloride ions on light-induced electron transport in membrane fragments from a blue-green alga. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, Calgary, v. 423, n. 2, p. 313-322, 1976. [https://doi.org/10.1016/0005-2728\(76\)90188-2](https://doi.org/10.1016/0005-2728(76)90188-2)

NILSSON, L. G. Magnesium in grassland production. **Developments in Plant and Soil Sciences**, Netherlands, v. 29, n. 20-31, 1987

OHLAND, R. A. A.; SOUZA, L. C. F.; HERNANI, L. C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 538-544, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542005000300005>

OLIVEIRA, R. H.; ROSOLEM, C. A.; TRIGUEIRO, R. M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 439-445. 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000300005>

PAPENFUSS, K. H.; EIROT, S. Bestimmende Faktoren des Mg-Haushaltes von Böden in der Bundesrepublik Deutschland. **Magnes Bull**, v. 1, p. 12-14, 1979. https://doi.org/10.1007/978-3-322-88157-1_2

PIERCE, J. Determinants of substrate specificity and the role of metal in the reactions of ribulosebisphosphate carboxylase/oxygenase. **HI.H.GM**, v. 81, n. 4, p. 943-945, 1986. <https://doi.org/10.1104/pp.81.4.943>

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 12, p. 1443-1448, 1984.

SELLEY, R. C.; COCKS, L. R. M.; PLIMER, I. R. **Encyclopedia of Geology**. New York: Elsevier Academic Press, 2005, p. 403-409

SCHIMANSKY, C. The influence of certain experimental parameters on the flux characteristics of Mg-28 in the case of barley seedlings in hydroculture experiments. **Landwirtschaftliche Forschung**, Sonderhef, v. 34, n. 3, p. 154-163, 1981

SCOTT, B. J.; ROBSON, A. D. Changes in the content and form of magnesium in the first trifoliate leaf of subterranean clover under altered or constant root supply. **Australian Journal of Agricultural Research**, Sidney, v. 41, n. 3, p. 511-519, 1990. <https://doi.org/10.1071/AR9900511>

SILVA, A. D.; MENEZES, C. C. E.; MENEZES, J. F. S.; NASCIMENTO, W. P. Fontes e doses de magnésio na cultura do milho. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 9, n. 3, 2017

SILVA, L. D. S.; GATIBONI, L.; ANGHINONI, I.; SOUZA, R. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2016, 376 p.

SILVEIRA, D. C.; BONETTI, L. P.; TRAGNAGO, J. L.; MONTEIRO, V. Caracterização agromorfológica de variedades de milho crioulo (*Zea mays* l.) na região noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência & Tecnologia**, Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 01-11, 2015

SPERRAZZA, J. M.; SPREMULLI, L. L. Quantitation of cation binding to wheat germ ribosomes: Influences on submit association equilibria and ribosome activity. **Nucleic Acids Research**, Zurich, v. 11, n. 9, p. 2665-2679, 1983. <https://doi.org/10.1093/nar/11.9.2665>

UNITED STATES. Department of Agriculture. Agricultural Statistics. Oilseeds: World Markets and Trade. 2018 Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/oilseeds.pdf>. Acesso: 01 jan. 2019

VAN DER POL, F.; TRAORE, B. Soil nutrient depletion by agricultural production in Southern Mali. **Fertilizer research**, Nijhoff, v. 36, n. 1, p. 79-90, 1993. <https://doi.org/10.1007/BF00749951>

WALKER, W. M.; PECK, T. R. Effect of potassium upon the magnesium status of the corn plant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 6, n. 2, p. 189-194, 1975. <https://doi.org/10.1080/00103627509366558>

WARAICH, E. A.; AHMAD, R.; ASHRAF, M. Y. Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. **Australian Journal of Crop Science**, Sidney, v. 5, n. 6, p. 764, 2011

WHITCOMB, C. E. **Plant Nutrition**. In: CE. Whitcomb, (ed). *Plant Production in Containers*. Stillwater, Okla: Lacebark Publications, 1988, p.240

WIEND, T. **Magnésio nos solos e nas plantas.** Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 117, p. 19-21, 2007

CAPÍTULO 2 – FONTES DE MAGNÉSIO MODIFICANDO A RELAÇÃO Ca:Mg NA CULTURA DA SOJA

Resumo

Objetivou-se avaliar a influência de diferentes fontes de Mg e a relação cálcio e magnésio na cultura da soja. O experimento foi instalado em uma área de plantio direto já estabelecido na área agrícola, pertencente a Agroeldorado Agricultura e Pecuária LTDA, no município de Uberlândia - MG, na safra 2017/2018. Utilizou o delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 5x3, sendo cinco tipos de relação Ca:Mg, 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 e 5:1 e três fontes magnesianas, oxisulfato de Mg, óxido de Mg e Sulfato de magnésio. Foram avaliados os teores dos nutrientes Ca, Mg e K no solo, a relação Ca:Mg do solo, o percentual de Mg na CTC, os teores foliares de Mg, o índice SPAD, a produtividade e a massa de mil grãos. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. As relações Ca:Mg 1:1 e as fontes de óxido de Mg e oxisulfato de Mg aumentam o percentual de Mg na CTC, enquanto as relações 4:1 e 5:1 e as fontes de óxido de Mg e oxisulfato de Mg são as que menos alteram a relação Ca:Mg original do solo.

Palavras-chave: *Glycine max* L., fertilizante, soma de bases.

Abstract

This study aimed to evaluate the influence of different sources of Mg and the relation between calcium and magnesium in the soybean crop. The experiment was installed in an area of direct planting that was already established in the agricultural area, belonging to the Agroeldorado Agriculture and Livestock LTDA, in the municipality of Uberlândia - MG, in the 2017/2018 harvest. It was used the randomized block design, in factorial 5x3, being five types of Ca:Mg ratio, 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 and 5:1 and three sources of Mg, oxisulphate of Mg, oxide of Mg and magnesium sulphate. We evaluated the contents of nutrients Ca, Mg and K in the soil, the Ca:Mg ratio of soil, the percentage of Mg in CEC, the leaf contents of Mg, the SPAD index, the productivity and the mass of one thousand grains. The results were submitted to analysis of variance by the Tukey test at 0.05 significance level. The Ca:Mg ratio 1:1 and the sources of oxide of Mg and oxisulfato of Mg increases the percentage of Mg in the CEC, while relations 4:1 and 5:1 and the sources oxide of Mg and oxisulfato of Mg, are the ones that least alter the Ca:Mg relationship in the original soil.

Keywords: *Glycine max* L., fertilizer, sum of bases

Introdução

A soja ocupa uma área de aproximadamente 35 milhões de hectares, abrangendo principalmente os Estados do Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás, com expectativa de produção próxima de 118,9 milhões de toneladas de grãos com produtividade média de 56,3 sacas ha⁻¹ (CONAB, 2018).

Em termos nutricionais, a soja é uma cultura exigente e bastante eficiente na absorção e utilização dos nutrientes contidos no solo, principalmente nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), fósforo (P), magnésio (Mg) e enxofre (S) (SILVA et al., 2017). Os principais fatores que afetam a disponibilidade e absorção de nutrientes são o tipo de solo, o pH, a concentração e o equilíbrio entre a fração trocável e em solução do solo, além de interações iônicas (MEDEIROS et al., 2008).

O Mg é absorvido pelas plantas como cátion divalente (Mg²⁺) e é elemento central da molécula de clorofila e constituinte ribossomos e cromossomo. Sua funcionalidade na planta está na ativação enzimática, no controle do pH nas células e no balanço de cargas, o que demonstra a importância desse nutriente para o metabolismo celular e, consequentemente, no crescimento e na produtividade das culturas (NASCIMENTO et al., 2009).

Em virtude de sua função, a deficiência do Mg limita o desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas, especialmente em solos ácidos e dessaturados (MEDEIROS et al., 2008). Porém, altas concentrações de Mg no solo e nas plantas podem causar danos em razão do distúrbio causado pelo desbalanço entre Ca e Mg (NASCIMENTO et al., 2009), demonstrando a importância da aplicação em quantidades adequadas desse nutriente no solo.

As relações ideais dos cátions básicos, cálcio e magnésio (Ca:Mg), cálcio e potássio (Ca:K) e magnésio e potássio (Mg:K) para as plantas foi estabelecido a partir do trabalho de Bear e Toth (1948). Para a relação Ca:Mg, a maioria dos trabalhos considera adequados para as plantas valores entre 4:1 a 8:1 (MEDEIROS et al., 2008). Embora estabelecidas as relações Ca:Mg ideais para as plantas, não está claramente estabelecido ainda a partir de que proporção destes elementos na CTC começam a ocorrer problemas nutricionais nas plantas (MEDEIROS et al., 2008).

A relação Ca:Mg na nutrição vegetal está relacionada às propriedades químicas análogas destes elementos, como o raio iônico, valência, grau de hidratação e

mobilidade, fazendo com que haja competição pelos sítios de adsorção no solo e na absorção pelas raízes (SALVADOR et al., 2011). A interação desses macronutrientes no sistema solo-planta é medida pela absorção da planta. Nesse caso, o método mais utilizado é a verificação dos teores foliares na planta (SALVADOR et al., 2011).

Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência de diferentes fontes de Mg e relação cálcio e magnésio na cultura da soja.

Material e métodos

Características e localização da área experimental

O experimento foi realizado em área agrícola, pertencente a Agroeldorado Agricultura e Pecuária LTDA, no município de Uberlândia - MG, com a localização geográfica 19°25'S, 47°59'W à 950 metros de altitude, no período da safra de verão de 2017/2018.

O clima da região é classificado com invernos secos e verões chuvosos, com temperatura média entre 18 e 22°C. Sendo que na safra 2017/18, pode-se relatar a ocorrência de uma safra dentro da normalidade (Figura 1). A área do presente experimento encontra-se sob o sistema de plantio direto há mais de 25 anos e na safra anterior foi semeado milho no plantio de verão e no período de inverno ficou em pousio (Figura 2).

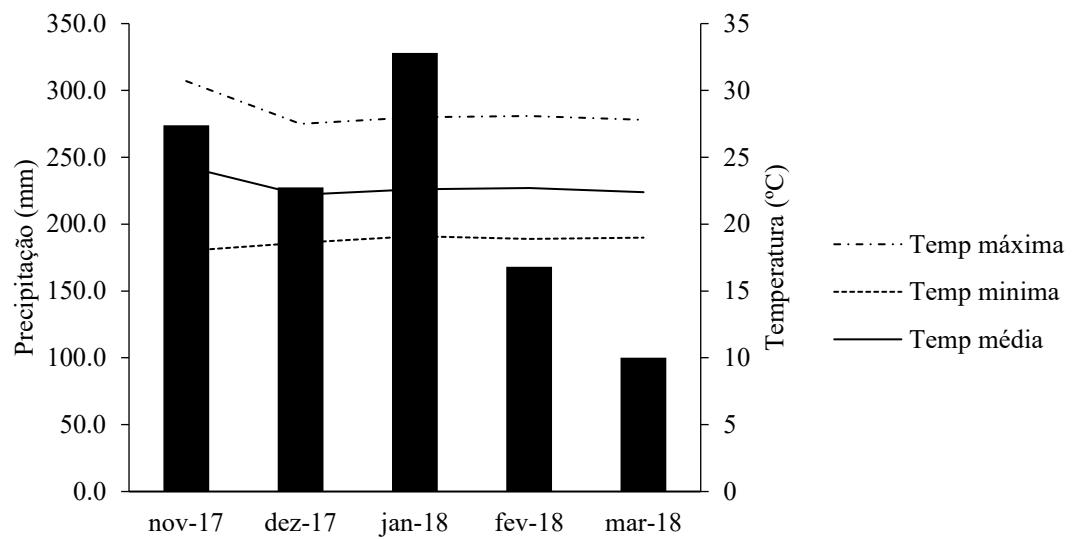


Figura 1. Temperaturas máxima, média e mínima (°C) e precipitação média (mm) da Fazenda Beija Flor II no período de condução do experimento.



Fonte: Carneiro (2018)

Figura 2. Área de instalação do experimento com a cultura da soja.

O solo da área experimental é caracterizado como Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico com textura muito argilosa (SANTOS et al., 2013). Para caracterização química do solo da área experimental, antes da aplicação dos tratamentos, realizou-se amostragens do solo nas profundidades de 0 – 20 cm (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental antes da instalação do experimento.

Prof. cm	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	Ca	Mg mmol _c dm ⁻³	K mmol _c dm ⁻³	H+Al	SB %
0-20	5,5	25	20	39,0	8,0	0,9	30,0	48,0
Prof. cm	B	Cu	Fe	Mn	Zn	CTC	V	
			mg dm ⁻³			mmol _c dm ⁻³		%
0-20	0,76	2,8	62	1,3	2,4	78		61

Prof.= Profundidade, P=Método Mehlich 1, P, K = [HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹], S-SO₄=[Fosfato Monobálico Cálcio 0,01 mol L⁻¹], Ca, Mg, Al = [KCL 1 mol L⁻¹] / H + Al = [Solução Tampão SMP a pH 7,5], M.O. = Método Colorimétrico, S.B= Soma de base, V = Saturação de Base; T = CTC pH 7,0 (DONAGEMA et al., 2011).

Preparo do solo, adubação, semeadura e manejo da cultura

Antes da semeadura da soja foi realizada a fertilização do solo. Visando otimizar a utilização dos insumos agrícolas, houve aplicação dos mesmos em taxa variável, de acordo com a real exigência da área.

Em pré-plantio aplicaram-se os fertilizantes nas seguintes doses: 175 kg ha⁻¹ de MAP+0,2% Boro (10 - 48 - 00 + 0,2% B) e 128 kg ha⁻¹ de KCl+0,2% Boro (00 - 00 - 58 + 0,2% B). No momento da dessecação da área aplicou 4 kg de ácido bórico (17% B). As quantidades de nutrientes fornecidos antes da instalação do experimento encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Quantidade de nutrientes fornecidos em pré-semeadura na área experimental.

N	P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	K ₂ O	B
17,5	84,0	76,8	1,28

No dia 10 de novembro de 2017 realizou a semeadura da cultivar de soja BMX Foco Ipro da empresa Bramax. Essa cultivar possui ciclo médio, de 112 a 120 dias, com arquitetura favorável para controle de doenças, é uma variedade transgênica de elevado potencial produtivo, resistente ao herbicida glifosato por possuir a tecnologia Intacta RR² pro e é resistente ao nematóide de cisto (*Meloidogyne javanica*).

Realizou-se a semeadura com trator Magnum CaseIn 340 acoplado numa semeadora absoluta 35 (Figura 3). A velocidade de semeadura foi de 5 km h⁻¹. O sistema de distribuição de sementes na Absoluta foi através do DPS (Distribuição

Precisa Stara), sistema pneumático que possibilita um plantio preciso e eficaz. Foi semeado com uma população de 280 mil plantas ha^{-1} , obtendo um stand de 14,0 sementes por metro.



Fonte: Carneiro (2018)

Figura 3. Semeadora Absoluta 32 linhas na área do experimento.

Os tratamentos fitossanitários realizados na cultura seguiram o padrão adotado pela fazenda (Tabela 3). Os produtos foram aplicados com pulverizador autopropelido, Modelo Jacto 4800, que se deslocava nos carreadores do experimento e, portanto, não influenciando nas unidades experimentais do mesmo.

Tabela 3. Tratamento fitossanitário realizado na cultura de soja.

Produto	Ingrediente ativo	Dose (L ha ⁻¹ /kg ha ⁻¹)	Época
Roundup WG	Glifosato	2,00	Dessecação
Dash	Hidrocarbonetos aromáticos	0,50	
Gallant	Haloxifop	0,80	
Heat	Saflufenacil	0,05	
Roundup WG	Glifosato	1,25	V4
Fox	Trifloxistrobina+Protioconazol	0,40	
Aureo	Éster metílico	0,25	
Prevenil	Cloratolonil	1,00	R1
Orkestra	Fluxapiroxade+Piraclostrobina	0,30	
Talisma	Bifentrina+Carbosulfano	0,50	
Nimbus	Éster metílico	0,40	
Ativium	Fluxapiroxade+Piraclostrobina+Epoxiconazo	0,80	R4
Assist	Óleo mineral	0,50	
Frownicide	Fluazinam	0,80	
Cefanol	Acefato	0,80	
Ativium	Fluxapiroxade+Piraclostrobina+Epoxiconazo	0,80	R5.2
Assist	Óleo mineral	0,40	
Cefanol	Acefato	0,80	
Galeão	Imidacloprid	0,10	

Delineamento experimental, descrição e aplicação dos tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, fatorial 3x5, com 4 repetições, totalizando 60 unidades experimentais. O primeiro fator consistiu em três fontes de Mg (Oxisulfato de magnésio, óxido de magnésio e sulfato de magnésio) e o segundo fator em cinco relações de Ca:Mg (1:1, 2:1, 3:1, 4:1 e 5:1). Para identificação das unidades experimentais foram utilizadas bandeiras identificadas com os respectivos tratamentos e blocos (Figura 4). Cada unidade experimental foi constituída por 10 linhas, espaçadas entre si por 0,5 m, com comprimento de 15 m, totalizando uma área útil de 75 m² parcela⁻¹ (Figura 5).

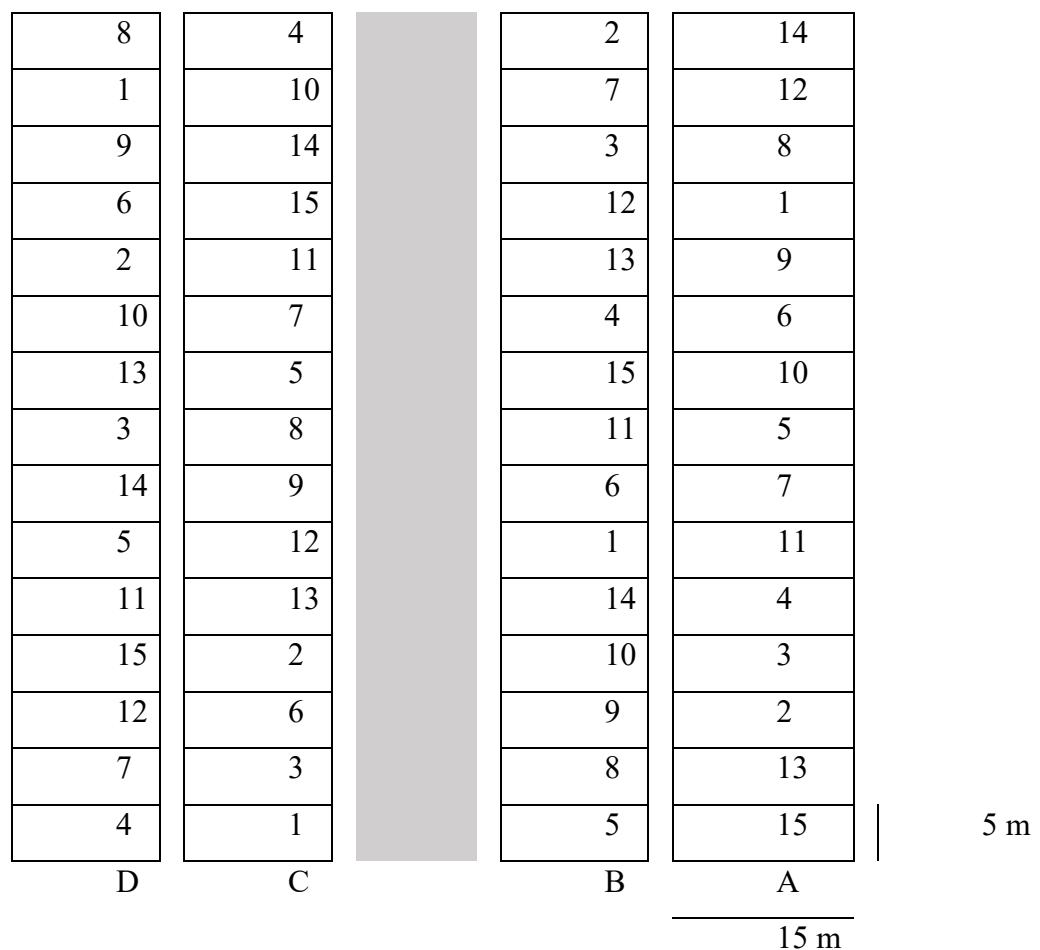


Figura 4. Croqui da área experimental.

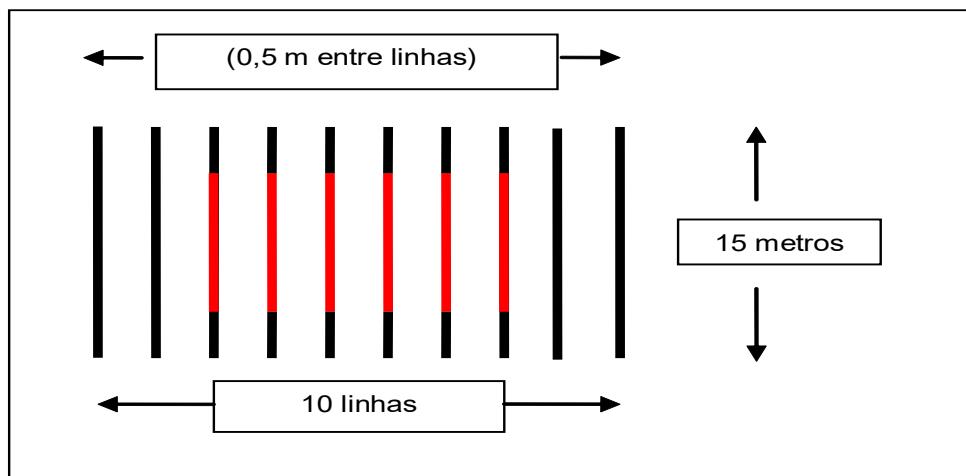


Figura 5. Área útil de cada parcela.

A necessidade de produto (dose do produto) para corrigir a relação Ca:Mg de cada tratamento foi definida a partir do seguinte critério:

$$\text{Dose do produto (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{[(\text{Mg desejado} - \text{Mg 0-20 cm}) \times 40]}{[(\text{MgO Fonte}/100) \times 1000]}$$

Para cada unidade experimental, pesou a quantidade necessária das fontes Oxisulfato de magnésio (30% Mg e 3% S) e sulfato de magnésio (25% Mg e 33,5% de S) e em seguida realizou a aplicação na linha, utilizando um recipiente com a capacidade igual a quantidade exigida do produto. Já para o óxido de magnésio (55% Mg) pesou as quantidades necessárias por linha e separou em saquinhos plásticos para em seguida ser aplicado.

As fontes de Mg foram aplicadas manualmente linha a linha, simulando aplicação a lanço, em área total. A aplicação do óxido de magnésio, devido a sua granulometria, foi realizada criteriosamente visando uma distribuição uniforme do produto na área (Figura 6), o qual foi necessário o uso de uma colher e também uma proteção para reduzir problemas com o vento.



Figura 6. Aplicação dos tratamentos na cultura da soja.

A fim de equalizar o fornecimento de S nos tratamentos, a aplicação do enxofre (S) elementar (90% S) foi feita em recipientes com a capacidade igual a quantidade exigida do produto por linha, conforme a recomendação para cada tratamento.

Avaliações e análise estatística

Índice SPAD

O índice SPAD estima o teor relativo de clorofila, por intermédio do aparelho a partir da quantidade de luz absorvida pela folha. A determinação do índice SPAD foi realizada com o clorofilômetro Konica Minolta SPAD 502® (Figura 7). A leitura foi realizada no dia 10 de janeiro de 2018 em 10 trifólios de soja por parcela no estádio R1/R2.

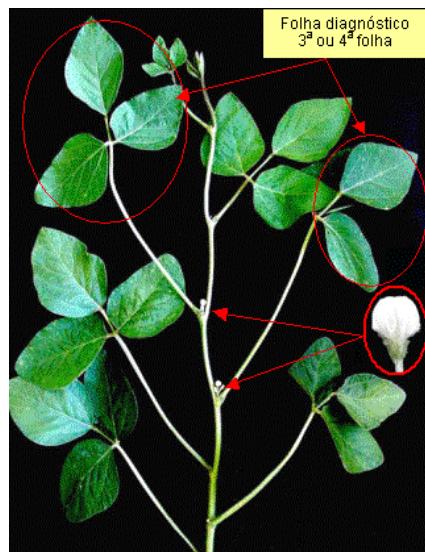


Fonte: Carneiro (2018)

Figura 7. Clorofilômetro Konica Minolta SPAD utilizado para a leitura do índice SPAD na soja.

Diagnose foliar

No dia 10 de janeiro de 2018 coletou a folha referência, que constitui o terceiro trifólio totalmente expandido a partir do ápice das plantas de 15 plantas por parcela experimental, no estádio fenológico R1/R2, para realização da análise do teor foliar de Mg em g kg^{-1} por espectrofotometria de absorção atômica (SILVA et al., 2009).



Fonte: Ritchie et al. (1997)

Figura 8. Foto da folha diagnóstico.

Produtividade

No dia 20 de março de 2018 realizou-se a colheita da área do experimento. Para a colheita das bordaduras do experimento foi utilizada a colhedora John Deere 1550 acoplada à plataforma de 23 pés (7 metros) (Figura 9). Para a colheita da área útil do experimento ($17m^2$) foi utilizado o batedor axial JM 390 Jumil acoplado ao trator New Holland 8030, trabalhando na segunda marcha reduzida de transmissão com rotação do motor de 1600 RPM (Figura 10).



Fonte: Carneiro (2018)

Figura 9. Esquema da área útil colhida da unidade experimental.



Fonte: Carneiro (2018)

Figura 10. Batedor axial acoplado com Trator New Holland 8030 para colheita da área útil das unidades experimentais.

Após a colheita de cada parcela, os grãos foram armazenados em sacos devidamente identificados (Figura 11).



Fonte: Carneiro (2018)

Figura 11. Amostra identificada com a respectiva parcela experimental.

Os cálculos de produtividade foram realizados a partir da produção de grãos por parcela, considerando o teor de umidade no grão 13%.

$$\text{Produtividade corrigida (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{Produtividade (kg ha}^{-1}\text{)} \times \frac{(100 - \text{umidade atual})}{(100 - 13)}$$

Massa de 1000 grãos

Após a colheita, contou e pesou 1000 grãos utilizando-se subamostras da avaliação de produtividade da cultura.



Fonte: Carneiro (2018)

Figura 12. Separação e pesagem das amostras de 1000 grãos.

Teor de Ca e Mg, relação Ca:Mg no solo e percentual de Mg na CTC

Ao final da colheita do experimento, no dia 22 de março de 2018, foi realizada a coleta de solo em três pontos por unidade experimental, na profundidade de 0 – 20 cm.

As amostras de solo foram separadas, colocadas em sacos plásticos devidamente identificados e encaminhadas ao laboratório para realizar a análise dessas, a fim da determinação do teor de Mg e Ca do solo por extração com KCl 1 mol L⁻¹ (SILVA et al., 2009). A partir dos teores de Ca e Mg determinou a relação Ca:Mg. O teor de K foi determinado por Mehlich-1 (SILVA et al., 2009) para calcular o percentual de Mg na CTC e posteriormente a porcentagem de Mg na CTC.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o teste F a 5% de probabilidade. No caso de significância na ANOVA, foram realizadas o teste

de Tukey ($P < 0,05$ e $0,10$) para as fontes de Mg e relação de Ca:Mg. Para a realização das análises foi utilizado o programa estatístico SISVAR (FERREIRA et al., 2014).

Resultados e discussão

Índice SPAD

Para o índice SPAD não observou diferenças significativas para nenhum dos tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4. Índice SPAD em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura da soja.

Relação Ca:Mg	Fonte de Magnésio			
	Oxisulfato de magnésio	Óxido de magnésio	Sulfato de magnésio	Média
SPAD				
1:1	43,3	42,8	43,5	43,2a
2:1	42,5	42,8	42,8	42,7a
3:1	42,5	43,0	42,3	42,6a
4:1	43,0	43,5	42,5	43,0a
5:1	42,8	42,8	43,5	43,0a
Média	42,8A	43,0A	42,9A	
P_{Fonte}			0,8966 ^{ns}	
P_{Dose}			0,6047 ^{ns}	
P_{Fonte}X P_{Dose}			0,7099 ^{ns}	

^{ns}: não significativo a 5% no teste de Tukey. Letras maiúsculas diferem na linha. Letras minúsculas diferem na coluna.

O índice SPAD capta a intensidade do verde nas folhas e com isso consegue estimar o teor de clorofila (ALTARUGIO et al., 2017). Os valores desse índice foram semelhantes, porém como foram aplicadas diferentes fontes de Mg em diferentes relações Ca:Mg e esse é componente central da molécula de clorofila, esperava-se que esses valores variassem. Porém, os teores iniciais de Mg no solo (Tabela 1) estavam dentro da faixa considerada média para a cultura da soja, $0,8 \text{ cmol}_c \text{ ha}^{-1}$ (SFREDO e BROKET, 2004), e no período de condução do experimento ocorreu uma boa

distribuição hídrica (Figura 1), o que pode ter facilitado a absorção do Mg da solução do solo e o translocamento deste para as folhas.

Teklić et al. (2009), avaliando a aplicação de Mg, observaram um aumento do índice SPAD nas folhas de soja e Altarugio et al. (2017), avaliando a aplicação foliar de Mg, constataram um aumento no índice SPAD na cultura da soja, porém esses autores utilizaram uma fonte de Mg foliar, disponibilizando prontamente esse nutriente para as folhas devido a rápida absorção e a alta mobilidade do elemento no floema (FERNÁNDEZ et al., 2013), o que pode ter contribuído para o aumento da produção de clorofila e consequentemente o índice SPAD nesses trabalhos.

Outro fator que pode ter contribuído para não ter obtido diferença significativa foi a questão da época de avaliação do índice SPAD na transição do estádio R1/R2. Como as duas fontes, o Oxisulfato de Mg e óxido de Mg, possuem alta solubilidade e a fonte Sulfato de magnésio liberação gradual, provavelmente se essa avaliação fosse realizada em um período mais tardio da soja, como no estádio R5, esses valores poderiam variar, visto que fontes com liberação controlada disponibilizam o Mg gradativamente, disponibilizando o nutriente em todo o ciclo. Já as fontes com alta solubilidade liberam imediatamente após a aplicação e no final do desenvolvimento, podendo haver deficiência do nutriente.

Diagnose foliar

O teor foliar de Mg foi influenciado pelas fontes de Mg e as relações de Ca/Mg, porém não sofreu interferência da interação dessas (Tabela 5).

Tabela 5. Teor de Magnésio foliar, g kg⁻¹, em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura da soja.

Relação Ca:Mg	Fonte de Magnésio				Média
	Oxisulfato de magnésio	Óxido de magnésio	Sulfato de magnésio	g kg ⁻¹	
1:1	3,8	3,8	3,0	3,5 a	
2:1	3,5	3,5	3,0	3,3 ab	
3:1	3,0	3,0	2,8	2,9 bc	
4:1	2,8	3,0	2,8	2,8 bc	
5:1	2,8	2,8	2,5	2,7 c	
Média	3,15 AB	3,2 A	2,8 B		
P_{Fonte}			0,0220*		
P_{Dose}			0,0003*		
P_{Fontex P_{Dose}}			0,9011		

*significativo a 5% no teste de Tukey. Letras maiúsculas diferem na linha. Letras minúsculas diferem na coluna.

Ao aumentar a relação de Ca:Mg notou-se que houve decréscimo no teor foliar de Mg, isso pode ser relacionado ao efeito antagônico do Ca na absorção do Mg, em que o excesso do Ca²⁺ vai reduzir a absorção do Mg²⁺, visto que esses dois íons competem pelo mesmo sítio de absorção. O Mg é mais móvel por ter raio iônico hidratado maior do Ca e o Mg está em menor quantidade na relação (BROCH; RANNO, 2012). Diante disso a alta relação Ca:Mg pode provocar a inibição da absorção do Mg do solo (MEDEIROS et al., 2008).

De acordo com Sfredo e Borket (2004), todos os tratamentos ficaram com teores suficientes ou médios para Mg, 2,5 a 10,0 g kg⁻¹. Os solos predominantes no bioma cerrado geralmente possuem deficiência de Ca e Mg (MELAMED et al., 2009). No entanto, além da adubação com fontes de Mg, o teor desse no solo antes da instalação do experimento (Tabela 1) estava dentro da faixa considerada média para a cultura da soja, 0,8 cmol_c ha⁻¹ (SFREDO e BORKET, 2004), podendo ser essa uma das explicações. Outra hipótese pode ser o reflexo do histórico de cultivo da área, em que o plantio direto já foi estabelecido a mais de 15 anos.

As fontes Oxisulfato de Magnésio e Óxido de Magnésio promoveram os maiores teores de Mg nas folhas demonstrando a alta solubilidade e consequentemente uma disponibilização inicial do Mg para a planta. O Sulfato de magnésio promoveu um menor teor deste nutriente, devido a essa fonte ser revestida e liberar o Mg gradualmente ao longo do ciclo da cultura e, como as amostras de folhas foram colhidas

no R1, provavelmente o Mg dessa fonte não havia sido totalmente disponibilizado (Tabela 5).

O teor inicial de P estava no nível adequado (RIBEIRO et al., 1999) (Tabela 1) e ainda foi fornecido adubação fosfatada pré-semeadura na área experimental (Tabela 2). Esse nutriente pode ter facilitado a absorção do Mg pela planta, visto que o P e o Mg possui uma interação positiva (MALAVOLTA, 2006), contribuindo assim para que os teores de Mg na planta estivessem em níveis adequados.

Produtividade

As fontes de Mg, a relação Ca:Mg e a interação desta não interferiram na produtividade de soja (Tabela 6). Ao avaliar os valores iniciais do Mg e Ca (Tabela 1), concluiu-se que estes se encontravam dentro dos valores médios para a cultura da soja, 0,8 e 2,0 cmol_c dm⁻³, respectivamente (SFREDO e BORKERT, 2004).

Tabela 6. Médias de produtividades, kg ha⁻¹, em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura da soja.

Relação Ca:Mg	Fonte de Magnésio			Média
	Oxisulfato de magnésio	Óxido de magnésio	Sulfato de magnésio	
	kg ha ⁻¹			
1:1	4227,9	4365,2	4421,4	4338,2a
2:1	4435,5	4189,8	4393,7	4339,7a
3:1	4395,3	4269,5	4358,8	4341,2a
4:1	4404,5	4447,6	4352,8	4401,6a
5:1	4286,7	4422,5	4286,7	4384,8a
Média	4350,0A	4338,9A	4394,4A	
P_{Fonte}			0,6938 ^{ns}	
P_{Dose}			0,9199 ^{ns}	
P_{Fonte} x P_{Dose}			0,6190 ^{ns}	

^{ns}: não significativo a 5% no teste de Tukey. Letras maiúsculas diferem na linha. Letras minúsculas diferem na coluna.

O teor de Mg dentro da faixa média ideal e com o seu percentual de 16% na CTC, valor considerado médio por Sfredo e Borkert (2004), entre 13 e 18%, aliado a um período com uma excelente distribuição hídrica (Figura 1), pode ter sido suficiente

para suprir a necessidade de Mg diante das produtividades alcançadas, entre 4.227,9 a 4.447,6 kg ha⁻¹ (Tabela 5). A produção de soja obtida variou entre 15 a 21% a mais do que a produtividade média na safra de 2017/2018 do estado de Minas Gerais, de 3.676 kg ha⁻¹ (CONAB, 2018).

Ainda assim, observou-se uma tendência de melhores produtividades nas relações de Ca:Mg entre 3:1 e 5:1, o que corrobora com Vitti (2000), que constatou que a faixa de relação Ca:Mg cultivo da soja é acima de 3:1 e Melo et al. (2009), que observou que em solos com alta fertilidade, a soja consegue expressar o seu potencial produtivo na relação Ca:Mg de 4:1. Esses valores elevados da relação Ca:Mg estão relacionados a maior concentração de Ca no solo, esse nutriente tem um papel importante no aumento do desenvolvimento do sistema radicular (PRADO; NATALE, 2004), fazendo com que a planta consiga explorar um perfil maior de solo, beneficiando a absorção dos nutrientes pela planta.

Em relação às fontes testadas, observou-se uma tendência de melhores produtividades para a fonte Sulfato de magnésio, podendo ser explicado pela característica do produto por ter uma liberação gradativa do Mg durante o ciclo da cultura, corroborando com pesquisas recentes, como Altarugio et al. (2017), que demonstraram que o uso de Mg, independente da época de aplicação, incrementa na produtividade.

Massa de 1000 grãos

Não foi observado diferença significativa entre a relação de Ca:Mg e as fontes de Mg analisadas em relação à massa de mil grãos, mesmo o Mg ter sido encontrado em maior concentração foliar nas relações mais estreitas e nas fontes óxido de Magnésio e OxiSulfato de Magnésio (Tabela 5).

Tabela 7. Massa de mil de grãos, g, em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura da soja.

Relação Ca:Mg	Fonte de Magnésio			
	Oxisulfato de magnésio	Óxido de magnésio	Sulfato de magnésio	Média
g				
1:1	159,0	163,3	162,1	161,5a
2:1	163,5	159,7	161,0	161,4a
3:1	162,0	159,4	160,1	160,5a
4:1	162,5	163,7	162,7	163,0a
5:1	163,6	163,3	164,2	163,7a
Média	162,1A	161,9A	162,0A	
P_{Fonte}			0,9878 ^{ns}	
P_{Dose}			0,2716 ^{ns}	
P_{Fonte}X P_{Dose}			0,6650 ^{ns}	

^{ns}: não significativo a 5% no teste de Tukey. Letras maiúsculas diferem na linha. Letras minúsculas diferem na coluna.

Na época da instalação do experimento, o teor médio de Mg no solo (Tabela 1) estava em concentração adequada e no período de condução do experimento ocorreu uma boa distribuição hídrica (Figura 1), podendo ser esta a explicação para que esse nutriente fosse translocado para o enchimento dos grãos em todos os tratamentos, sendo que um dos efeitos conhecidos do Mg na nutrição vegetal é o seu papel na translocação de fotoassimilados e carboidratos na planta (CAKMAK; YAZICI, 2010).

Ao analisar a massa de mil grãos (Tabela 7) e a produtividade (Tabelas 6), observou que nas relações 4:1 e 5:1, mesmo não diferindo significativamente para nenhuma dessas duas variáveis, obtiveram as maiores produções, confirmando que a massa de mil grãos é importante para o aumento da produtividade final, conforme Altarugio et al. (2017).

Teor de Ca e Mg, relação Ca:Mg no solo e percentual de Mg na CTC

Para o teor de Ca no solo não observou diferença significativa entre os parâmetros analisados, relação de Ca:Mg e diferentes fontes de Mg (Tabela 8). Este resultado deve estar relacionado ao teor de Ca no solo na instalação do experimento (Tabela 1) se encontrar em um nível adequado, acima de 2,0 cmol_c dm⁻³ (SFREDO e BORKET, 2004).

Tabela 8. Teores médios de Ca, Mg e K, mmol_c dm⁻³, profundidade de 0 a 20 cm, em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura da soja.

Teor de Ca no solo				
Relação Ca:Mg	Fonte de Magnésio			
	Oxisulfato de magnésio	Óxido de magnésio	Sulfato de magnésio	Média
mmol _c dm ⁻³				
1:1	25,50	21,75	19,75	22,33a
2:1	23,00	20,50	23,25	22,25a
3:1	26,50	19,50	22,75	22,91a
4:1	27,50	21,75	19,00	22,75a
5:1	24,25	23,50	21,50	23,08a
Média	25,35A	21,40A	21,25A	
P_{Fonte}			0,14	
P_{Relação}			0,99	
P_{Fonte}X P_{Dose}			0,95	
Teor de Mg no solo				
Relação Ca:Mg	Fonte de Magnésio			
	Oxisulfato de magnésio	Óxido de magnésio	Sulfato de magnésio	Média
mmol _c dm ⁻³				
1:1	7,75	11,50	5,25	8,16a
2:1	5,25	6,75	4,75	5,58b
3:1	5,75	5,25	5,00	5,33b
4:1	5,00	4,00	2,75	3,91b
5:1	3,25	4,50	3,25	3,66b
Média	5,40AB	6,40A	4,20B	
P_{Fonte}			0,00*	
P_{Relação}			0,00*	
P_{Fonte}X P_{Dose}			0,07	
Teor de K no solo				
Relação Ca:Mg	Fonte de Magnésio			
	Oxisulfato de Magnésio	Óxido de Magnésio	Sulfato de magnésio	Média
mmol _c dm ⁻³				
1:1	1,45	0,95	1,03	1,41a
2:1	1,43	1,45	1,25	1,38a
3:1	1,58	1,35	1,30	1,41a
4:1	0,90	1,13	1,18	1,07a
5:1	1,33	1,28	1,23	1,28a
Média	1,34A	1,23A	1,20A	
P_{Fonte}			0,62	
P_{Relação}			0,32	
P_{Fonte}X P_{Dose}			0,86	

*significativo a 5% no teste de Tukey. Letras maiúsculas diferem na linha. Letras minúsculas diferem na coluna.

Com relação ao teor de Mg no solo (Tabela 8) e o percentual de Mg na CTC (Tabela 9), observou diferenças significativas tanto para a relação de Ca:Mg, como para as fontes analisadas. Sendo que na relação mais estreita, 1:1, encontrou uma maior concentração de Mg em relação as demais, o que demonstrou claramente o antagonismo entre Ca e Mg (BROCH; RANNO, 2012). De acordo com Raij (1991) e Venturin et al. (2000), a absorção do Mg é prejudicada com o aumento da relação Ca:Mg, o que foi observado neste trabalho, dado que a relação 1:1 foi a que proporcionou as maiores concentrações de Mg no solo e nas folhas (Tabela 5).

Tabela 9. Percentual de Mg na CTC e relação Ca: Mg na profundidade de 0 a 20 cm, em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura da soja.

Relação Ca:Mg	Relação Ca:Mg no solo			
	Oxisulfato de Magnésio	Óxido de Magnésio	Sulfato de magnésio	Média
1:1	3,48	1,85	4,83	3,39b
2:1	4,91	3,09	4,47	4,24b
3:1	5,22	3,65	4,53	4,47b
4:1	5,44	5,03	6,87	5,78ab
5:1	8,55	5,55	8,53	7,54a
Média	5,52AB	3,83B	5,89A	
P_{Fonte}		0,01*		
P_{Relação}		0,00*		
P_{Fonte}X P_{Dose}		0,95		
Mg na CTC				
Relação Ca:Mg	Fonte de Magnésio			
	Oxisulfato de Magnésio	Óxido de Magnésio	Sulfato de magnésio	Média
		%		
1:1	15,51	23,37	11,98	16,95a
2:1	11,21	14,82	10,40	12,14b
3:1	12,10	11,24	11,50	11,46b
4:1	9,72	8,38	6,57	8,22b
5:1	7,27	9,96	7,73	8,32b
Média	11,16AB	13,55A	9,54B	
P_{Fonte}		0,00*		
P_{Relação}		0,00*		
P_{Fonte}X P_{Dose}		0,07		

*: significativo a 5% no teste de Tukey. Letras maiúsculas diferem na linha. Letras minúsculas diferem na coluna.

Todavia, mesmo não constatando diferenças significativas para o teor de Ca no solo, observou uma tendência em que nos tratamentos que obtiveram as maiores relações de Ca:Mg, 4:1 e 5:1, consequentemente obtiveram maiores concentrações de Ca (Tabela 8 e 9).

O Ca atua no crescimento e desenvolvimento da planta tanto na parte aérea como no sistema radicular (LIMA et al., 2016) nas funções enzimáticas e na constituição ou ativação de várias enzimas como alfa amilase e nucleases, diante dessa importância constatou que os tratamentos com maior concentração de Ca no solo (Tabela 8) obtiveram o maior ganho na massa de grãos (Tabela 7) e, consequentemente, as maiores produtividades (Tabela 6).

A concentração de Mg no solo e o seu percentual na CTC sofreram interferência das fontes magnesianas, sendo os maiores teores observados no oxisulfato de Mg e óxido de Mg (Tabela 8 e 9). Esses fertilizantes possuem alta solubilidade, o que promove a liberação mais rápida do Mg (CARNEIRO et al., 2017). Já o fertilizante Sulfato de magnésio possui revestimento de S que promove uma liberação mais gradual, disponibilizando assim o Mg ao longo do ciclo da cultura. Essa liberação gradual promove um melhor aproveitamento do Mg, fazendo com que ocorra um aumento no sistema radicular e, consequentemente, uma melhor absorção do Mg da solução do solo ao longo do desenvolvimento da cultura, o que pode ter contribuído para a redução da concentração desse nutriente no solo.

Apesar do íon K⁺ competir pelo mesmo sítio de absorção do Ca²⁺ e Mg²⁺ (MEDEIROS et al., 2008), a concentração do K no solo não sofreu interferência de nenhum dos fatores analisados (Tabela 8), relação Ca:Mg e fontes de Mg, provavelmente devido a adubação potássica antes da instalação do experimento com o intuito de elevar o nível de K para 5% da CTC (Tabela 2), recomendado por Ribeiro et al. (1999).

As relações de Ca:Mg já existentes no solo foram influenciadas pelas relações de Ca:Mg utilizadas, ao aumentar as relações 4:1 e 5:1 ocorreu uma menor redução na relação de Ca:Mg do solo. Essas relações foram alteradas para 5,78 e 7,54, respectivamente, foi observado que nessas relações obtiveram a tendência de maior produtividade de soja (Tabela 6), podendo ser explicado por dois fatores básicos, o nível de Mg estava em um teor considerado médio para a cultura da Soja e o percentual de Mg na CTC mesmo nas relações maiores se encontraram num nível adequado (SFREDO e BORKET, 2004).

Conclusões

A relação de Ca:Mg 1:1 proporciona o maior teor de Mg nas folhas e no solo e o maior percentual de Mg na CTC.

As relações de Ca:Mg 4:1 e 5:1 são as que promovem a menor alteração na relação de Ca:Mg do solo recomendada.

As fontes magnesianas óxido de Mg e oxisulfato de Mg propiciam os maiores teores de Mg nas folhas e no solo e os maiores percentuais de Mg na CTC.

As fontes magnesianas óxido de Mg e oxisulfato de Mg são as que proporcionam a menor alteração na relação de Ca:Mg do solo recomendada.

Quando os níveis de Mg, Ca e K estão equilibrados na solução do solo, pode-se concluir que independente das relações de Ca:Mg e das fontes de Mg, oxisulfato de Mg, óxido de Mg e Sulfato de magnésio não alteram a produtividade.

REFERÊNCIAS

ALTARUGIO, L. M.; LOMAN, M. H.; NIRSCHL, M. G.; SILVANO, R. G.; ZAVASCHI, E.; CARNEIRO, L. D. M. S.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C.; OTTO, R. Desempenho produtivo de soja e milho submetidos à aplicação foliar de magnésio.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 52, n. 12, p. 1185-1191, 2017.

<https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017001200007>

BENÍCIO, L. P. F.; OLIVEIRA, V. A.; SILVA, L. L.; ROSANOVA, C.; OLIVEIRA LIMA, S. Produção de *Panicum maximum* consorciado com sorgo sob diferentes fontes de fósforo. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 5, n. 2, p. 55-60, jun. 2011.

BROCH, D. L.; RANNO, S. K. **Fertilidade do Solo, Adubação e Nutrição da Cultura da Soja**. Tecnologia e Produção: Soja e Milho. 2012.

CAKMAK, I.; YAZICI, A. M. Magnésio: um elemento esquecido na produção agrícola. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 132, p. 14-16, 2010.

CARNEIRO, J. S. S.; SILVA, P. S. S.; SANTOS, A. C. M.; DE FREITAS, G. A.; SILVA, R. R. J. Resposta do capim mombaça sob efeito de fontes e doses de fósforo na adubação de formação. **Journal Of Bioenergy and Food Science**, Macapá, v. 4, n. 1, p. 12-25, 2017. <https://doi.org/10.18067/jbfs.v4i1.117>

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 12 Safra 2017/18 - Décimo segundo levantamento, Brasília, p.

1-148, 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 02 jan. 2019

FERNÁNDEZ, V.; SOTIROPOULOS, T.; BROWN, P. **Adubação foliar: fundamentos científicos e técnicas de campo**. São Paulo: Abisolo, 2015. 150p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.
<https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Agronômica Ceres, 2006.

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, Á. L.; DALLA ROSA, J.; COLPO GATIBONI, L. Relação cálcio: magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, 2008.
<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2008v29n4p799>

MELAMED, R.; GASPAR, J.C.; MIEKELEY, N. **Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais**. In: LAPIDO-LOUREIRO, E.V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J., eds. **Fertilizantes: Agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2009. p.385-395.

MELO, J. C.; SANTOS, A. C.; ALMEIDA, J. A.; MORAES NETO, L. R. Desenvolvimento e produtividade dos capins Mombaça e marandu cultivados em dois solos típicos do Tocantins, com diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Saúde Produção Animal [online]**, Salvador, v. 10, n. 4, p. 786-800, 2009.

NASCIMENTO, R.; DEUNER, S.; FERREIRA, L. S.; BADINELLI, P. G.; KERBER, R. S. Crescimento e teores de clorofila e carotenóides em três cultivares de soja em função da adubação com magnésio. **Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 3, 2009.

PEREIRA VENTURIN, R.; RIBEIRO BASTOS, A. R.; VITA REIS MENDONÇA, A.; GUEDES DE CARVALHO, J. Efeito da relação Ca: Mg do corretivo no desenvolvimento e nutrição mineral de mudas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* FR. All.). **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, 2000.

PRADO, R. M.; NATALE, W. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 39, n. 10, p. 1007-1012, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X200400100008>

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

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃEZ, P.T.; ALVAREZ, V. H. (eds). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes para o Estado de Minas Gerais**. 5^a aproximação. 1999.

SALVADOR, J. T.; CARVALHO, T. C.; LUCCHESI, L. A. C. Relações cálcio e magnésio presentes no solo e teores foliares de macronutrientes. **Revista Acadêmica**:

Ciência Animal, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-32, 2011.
<https://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v9i1.11060>

SANTOS H. G.; JACOMINE, P. K. T.; DOS ANJOS, L. H. C.; DE OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R. ; DE ALMEIDA, J. A. ; CUNHA, T. J. F; OLIVEIRA DE, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa. 353 p. 2013.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M. **Deficiências e Toxicidades de Nutrientes em Plantas de soja**. Londrina: Embrapa Soja. 2004.

SILVA, F. C. S. (ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

SILVA, L. D. S.; GATIBONI, L.; ANGHINONI, I.; SOUZA, R. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2016.

TEKLIĆ, T.; VRATARIĆ, M.; SUDARIĆ, A.; KOVAČEVIĆ, V.; VUKADINOVIC, V.; BERTIĆ, B. Relationships among chloroplast pigments concentration and chlorophyllmeter readings in soybean under influence of foliar magnesium application. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Athens, v. 40, p. 706-725, 2009.
<https://doi.org/10.1080/00103620802697939>

VITTI, G. C.; TREVISAN, W. **Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja**. Informações Agronômicas. Piracicaba: POTAFÓS, 2000.

CAPÍTULO 3 – RELAÇÃO Ca:Mg E DESEMPENHO DA CULTURA DO MILHO COM USO DE DIFERENTES FONTES DE Mg.

Resumo

Objetivou-se avaliar a influência de diferentes fontes de Mg e a relação cálcio e magnésio na cultura do milho. O experimento foi instalado em uma área de plantio direto já estabelecido na área agrícola, pertencente a Agroeldorado Agricultura e Pecuária LTDA, no município de Uberlândia - MG, na safra 2017/2018. Utilizou-se o delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 4x3, sendo quatro tipos de relação Ca:Mg, 1:1, 2:1, 3:1 e 4:1, e três fontes magnesianas, oxisulfato de Mg, óxido de Mg e Sulfato de magnésio. Foram avaliados os teores dos nutrientes Ca, Mg e K no solo, a relação Ca:Mg do solo, o percentual de Mg na CTC, os teores foliares de Mg, o índice SPAD, a produtividade e a massa de mil grãos. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste de Tukey à 0,05 de significância. A relação Ca:Mg 1:1 e as fontes de óxido de Mg e oxisulfato de Mg aumentam o percentual de Mg na CTC, enquanto as relações 4:1 e 5:1 e as fontes de óxido de Mg e oxisulfato de Mg são as que menos alteram a relação Ca:Mg original do solo.

Palavras-chaves: *Zea mays* L., fertilizante, solubilidade.

Abstract

This study aimed to evaluate the influence of different sources of Mg and the relation between calcium and magnesium in maize crop. The experiment was installed in an area of direct planting already established in the agricultural area, belonging to the Agroeldorado Agriculture and Livestock LTDA, in the municipality of Uberlândia - MG, 2017/2018 harvest. It was used the randomized block design in a factorial scheme 4x3, being four types of Ca:Mg ratio, 1:1, 2:1, 3:1 and 4:1, and three magnesian sources, oxisulphate of Mg, oxide of Mg and magnesium sulphate. We evaluated the contents of the nutrients Ca, Mg and K in the soil, the Ca:Mg ratio of soil, the percentage of Mg in CEC, the leaf contents of Mg, the SPAD index, the productivity and the mass of one thousand grains. The results were submitted to analysis of variance by the Tukey test at 0.05 significance level. The Ca:Mg ratio 1:1 and the sources oxide of Mg and oxisulphate of Mg increases the percentage of Mg in the CEC, while relations 4:1 and 5:1 and the sources oxide of Mg and oxisulphate of Mg, are the ones that least alter the Ca:Mg relationship in the original soil.

Keywords: *Zea mays* L., fertilizer, high solubility.

Introdução

Caracterizado como uns dos principais produtos agrícolas do país, o milho (*Zea mays* L.) basicamente tem dois principais destinos: uso no próprio estabelecimento rural (consumo humano e fonte para ração animal) e indústrias químicas e grande destinação do produto no mercado consumidor interno.

Na safra de 2017/2018, o milho foi cultivado em uma área de 16.636,8 milhões de hectares, apresentando como principais estados produtores o Mato Grosso, Paraná, Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, totalizando uma produção final de 81.356,7 milhões de toneladas com produtividade média de 81,5 sacas ha^{-1} (CONAB, 2018).

A região do cerrado brasileiro é responsável pela maior parte da produção de milho do Brasil, porém apresenta aproximadamente 90% dos latossolos e argissolos dessa região, sendo solos com baixo teor de Mg disponível para a planta (WIEND, 2007).

O Mg é considerado elemento essencial por atuar como cofator de enzimas do metabolismo energético e na molécula de clorofila (TAIZ; ZEIGER, 2013); na fotossíntese e em outros processos, como glicólise e via das pentoses fosfato (MAIA et al., 2015, GUHA & RAO, 2012); na ativação de enzimas, dentre elas a glutationa sintetase e PEP carboxilase; além da participação na fosforilação e translocação de fotoassimilados, interferindo assim na formação e produção de grãos.

O estudo da relação de Ca:Mg e sua influência na cultura do milho, visto que devido às suas propriedades químicas próximas, como o raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade, os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} possuem uma interrelação que faz com que haja competição pelos sítios de adsorção no solo e na absorção pelas raízes, como consequência, a presença de um pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro (MEDEIROS et al., 2008).

Diante da importância econômica do milho no Brasil e a deficiência de Mg nos solos Brasileiros este trabalho tem como objetivo avaliar as fontes e a melhor relação de Ca:Mg para conseguir aumentar a produtividade do milho.

Material e métodos

Características e localização da área experimental

O experimento foi realizado em área agrícola, pertencente a Agroeldorado Agricultura e Pecuária LTDA, no município de Uberlândia - MG, na seguinte localização geográfica 19°25'S, 47°59'W à 950 metros de altitude, no período da safra de verão de 2017/2018.

O clima da região é classificado com invernos secos e verões chuvosos com temperatura média entre 18 e 22°C. Sendo que na safra 2017/18 pode-se relatar a ocorrência de uma safra dentro da normalidade (Figura 13). A área do presente experimento encontra-se sob o sistema de plantio direto há mais de 15 anos e na safra anterior, 2016/2017, foi semeado soja no plantio de verão e no período de inverno foi semeado chia, *Salvia hispanica* (Figura 14).

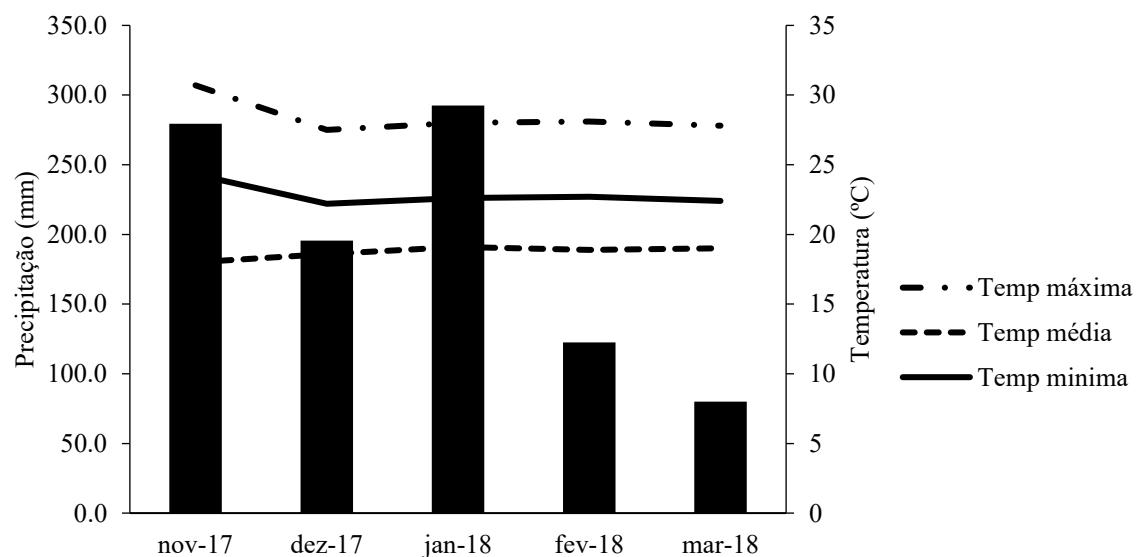


Figura 13. Precipitação média Fazenda Beija Flor III – Milho safra 2017/18.



Fonte: Carneiro (2018)

Figura 14. Área de instalação do experimento na cultura do milho safra 2017/18.

O solo da área experimental é caracterizado como Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico de textura muito argilosa (SANTOS et al., 2013). Para caracterização química do solo da área experimental, antes da aplicação dos tratamentos, realizaram-se amostragens do solo nas profundidades 0 – 20 cm (Tabela 10).

Tabela 10. Caracterização química do solo da área experimental.

pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	Ca	Mg mmol _c dm ⁻³	K mmol _c dm ⁻³	H+Al	SB
5,4	27	15	35,0	9,0	1,0	34,0	45,0
B	Cu	Fe	Mn	Zn	CTC	V	
					mmol _c dm ⁻³		
0,97	1,4	54	2,8	3,1	79	57	

Prof. = Profundidade, P = Método Mehlich 1, P, K = [HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹], S-SO₄ = [Fosfato Monobáscico Cálcio 0,01 mol L⁻¹], Ca, Mg, Al = [KCL 1 mol L⁻¹] / H + Al = [Solução Tampão SMP a pH 7,5], M.O. = Método Colorimétrico, S.B = Soma de base, V = Saturação de Base; T = CTC pH 7,0 (DONAGEMA et al., 2011).

Preparo do solo, adubação, semeadura e manejo da cultura

Antes da semeadura do milho foi realizada a fertilização do solo visando otimizar a utilização dos insumos agrícolas. Houve aplicação dos mesmos em taxa variável, de acordo com a real exigência da área.

Foram aplicados em pré-plantio fertilizantes nas seguintes doses: 309 kg ha⁻¹ de MAP+0,2% Boro (10 - 48 - 00 + 0,2% B), 202 kg ha⁻¹ de KCl+0,2% Boro (00 - 00 - 58 + 0,2% B) e 218 kg ha⁻¹ de ureia. Além disso, houve aplicação de 4 kg de Ácido Bórico (17 % B) no momento da dessecação da área. Sendo assim, na Tabela 11 encontram-se as quantidades de nutrientes fornecidos antes da instalação do experimento.

Tabela 11. Quantidade de nutrientes fornecidos em pré-semeadura.

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	B
----- kg ha ⁻¹ -----			
248	148,3	121,2	1,70

No dia 8 de novembro de 2017 foi realizada a semeadura do híbrido DKB 290 Vt Pro³ que possui elevado potencial produtivo, o experimento foi semeado com 70 mil plantas ha⁻¹, com um stand de 3,5 sementes por metro linear.

Realizou-se a semeadura com trator Magnum CaseIn 340 acoplado numa semeadeira absoluta 35 (Figura 3). A velocidade de semeadura foi de 5 km h⁻¹. O sistema de distribuição de sementes na Absoluta foi através do DPS (Distribuição Precisa Stara), sistema pneumático que possibilita um plantio preciso e eficaz.

Os tratamentos fitossanitários feitos na cultura seguiram o padrão adotado pela Fazenda e estão especificados na Tabela 12. Os produtos foram aplicados com pulverizador autopropelido Jacto 4530 que passava nos carreadores do experimento, portanto não influenciaram nas unidades experimentais do mesmo.

Tabela 12. Tratamento fitossanitário feito na cultura do Milho.

Produto	Ingrediente ativo	Dose (L ha ⁻¹ /kg ha ⁻¹)	Época
RoundUp WG	Glifosato	2,00	1 ^a Dessecação
Assist	Óleo Mineral	0,50	
Aurora	Carfentrazone - Etílica	0,07	
Verdict	Haloxifob-R-methyl	1,00	
Gramoxone	Paraquat	2,00	V4
Assist	Óleo Mineral	1,00	
Mustang	Zeta- Cipermetrina	0,30	
Roudup WG	Glifosato	1,50	V6
Siptran	Atrazina	2,50	
Assist	Óleo Mineral	0,50	
Exalt	Espinetoram	0,15	
Cefanol	Acefato	0,80	
Galeão	Imidacloprid	0,20	
Opera	Epoxiconazole + Pyraclostrobina	0,75	V8
Assist	Óleo Mineral	0,50	
Polyran	Metiram	1,00	
Pirate	Chlorfenapyr	0,80	
Galeão	Imidacloprid	0,60	
Talismã	Bifentrina + Carbosulfan	0,50	
Orkestra	Piraclostrobina + Fluxapiroxade	0,30	Vt
Assit	Óleo Mineral	0,50	
Systemic	Tebuconazole	0,50	
Exalt	Espinetoram	0,15	
Ativum	Fluxapiroxade + Piraclostrobina + Epoxiconazol	1,00	R2/R3
Assist	Óleo Mineral	0,50	

Delineamento experimental, descrição e aplicação dos tratamentos

O delineamento experimental empregado foi blocos ao acaso, fatorial 3x4, em que o primeiro fator consistiu em fontes de Mg (Oxisulfato de magnésio, óxido de magnésio e Sulfato de magnésio[®]) e o segundo fator foram diferentes relações de Ca:Mg (1:1, 2:1, 3:1 e 4:1) com 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais (Figura 15). As demarcações das unidades experimentais foram realizadas com bandeiras identificadas com os respectivos tratamentos e blocos, cada unidade experimental foi constituída por 10 linhas, espaçadas entre si por 0,5 m, com comprimento de 15 m, totalizando uma área de 75 m² parcela⁻¹ (Figura 16).

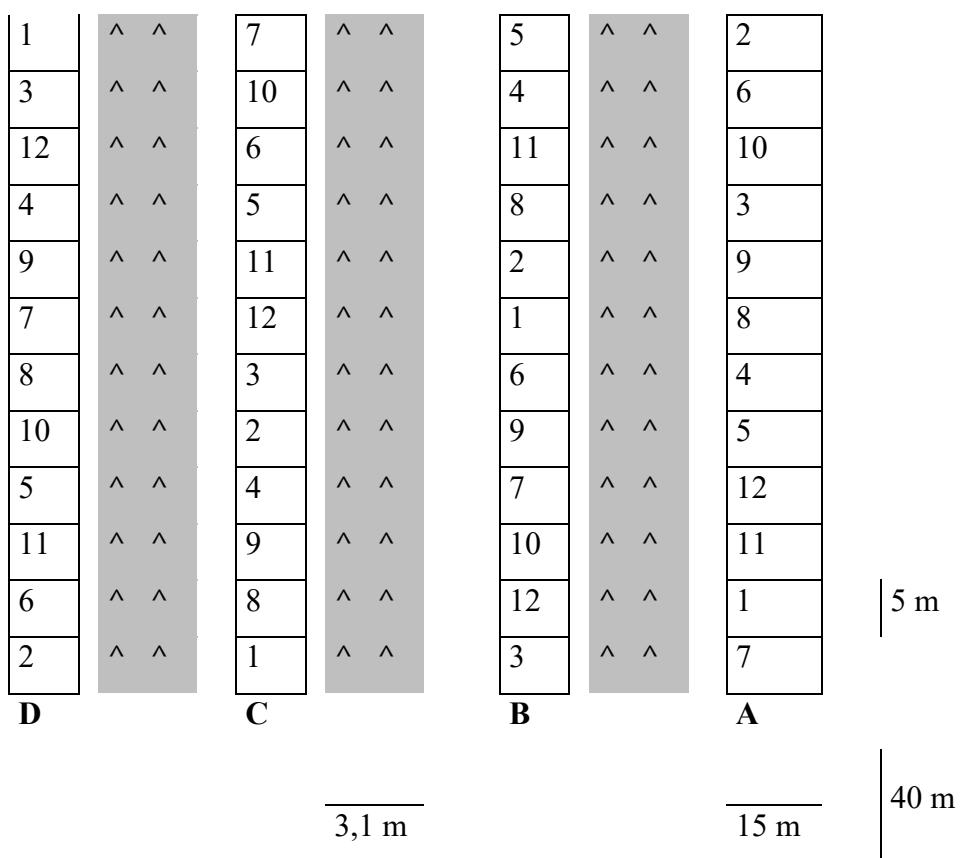


Figura 15. Croqui da área experimental.

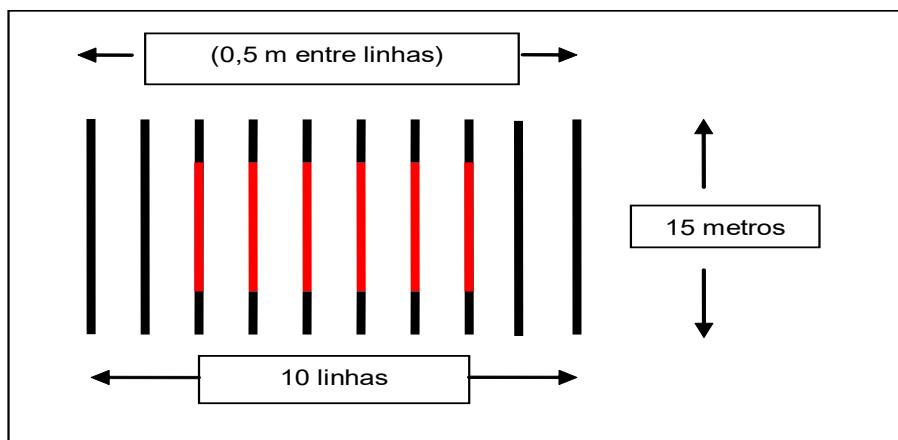


Figura 16. Área útil de cada parcela.

A necessidade de produto (Dose do produto) para corrigir a relação Ca:Mg de cada tratamento foi definida a partir do seguinte critério:

$$\text{Dose do Produto (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{[(\text{Mg desejado} - \text{Mg 0-20 cm}) \times 40]}{[(\text{MgO Fonte}/100) \times 1000]}$$

Para cada unidade experimental pesou a quantidade necessária das fontes Oxisulfato de magnésio (30% Mg e 3% S) e sulfato de magnésio (25% Mg e 33,5% de S) e em seguida realizou a aplicação na linha, utilizando um recipiente com a capacidade igual a quantidade exigida do produto. Já para o óxido de magnésio (55% Mg) pesou as quantidades necessárias por linha e separou em saquinhos plásticos para em seguida ser aplicado.

As fontes de Mg foram aplicadas manualmente linha a linha, simulando aplicação a lanço, em área total. A aplicação do óxido de magnésio, devido a sua granulometria, foi realizada criteriosamente visando uma distribuição uniforme do produto na área, sendo necessário o uso de uma colher e também uma proteção para reduzir problemas com o vento (Figura 17).



Fonte: Carneiro (2018)

Figura 17. Foto da área experimental.

A fim de equalizar o fornecimento de S nos tratamentos, a aplicação do enxofre (S) elementar (90% S) foi feita em recipientes com a capacidade igual a quantidade exigida do produto por linha, conforme a recomendação para cada tratamento.

Avaliações e análise estatística

Para a realização das avaliações em ambos os experimentos, utilizou-se a área útil de cada parcela como forma de referência, conforme demonstrado na Figura 5.

Índice SPAD

A determinação do índice SPAD foi realizada no dia 15 de janeiro de 2018 com o clorofilômetro Konica Minolta. A leitura foi feita na primeira folha abaixo e oposta à espiga de 10 plantas de milho por unidade experimental, no estádio R1 (Figura 18).



Fonte: Carneiro (2018)

Figura 18. Determinação do Índice SPAD com o uso do Clorofilômetro Konica Minolta SPAD no milho.

Diagnose foliar

No dia 15 de janeiro de 2018 foi realizada a coleta foliar, em que se coletou a folha referência, que constitui da primeira folha abaixo e oposta à espiga de 10 plantas de milho no estádio R1 (Figura 19). Para a realização da análise do teor foliar de Mg em g kg^{-1} utilizou-se espectrofotometria de absorção atômica (SILVA et al., 2009).



Fonte: Carneiro (2018)

Figura 19. Coleta da folha referência do milho.

Produtividade

Contabilizou-se o número de plantas e o comprimento da área útil de cada parcela para realizar os cálculos de produtividade.

No dia 16 de abril de 2018 realizou-se a colheita dos grãos. Para a colheita das bordaduras do experimento foi utilizada a colhedora John Deere 1550 acoplada à plataforma de 23 pés (7 metros). Para a colheita da área útil do experimento (17m^2) foi utilizado o batedor axial JM 390 Jumil acoplado ao trator Valmet 880, trabalhando na segunda marcha reduzida de transmissão com rotação do motor de 1600 RPM (Figura 20).



Fonte: Carneiro (2018)

Figura 20. Colheita da área experimental do milho com o trator Valmet 880 acoplado ao batedor axial para colheita da área útil das unidades experimentais.

Após a colheita de cada parcela, os grãos foram armazenados em sacos devidamente identificados. Os cálculos de produtividade foram realizados a partir da produção de grãos por parcela, considerando o teor de umidade no grão 13%.

$$\text{Produtividade corrigida (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{Produtividade (kg ha}^{-1}\text{)} \times \frac{(100 - \text{umidade atual})}{(100 - 13)}$$

Massa de 1000 grãos

Após a colheita contou e pesou em uma balança de precisão de 1000 grãos utilizando subamostras da avaliação de produtividade da cultura (Figura 21).



Fonte: Carneiro (2018)

Figura 21. Amostras de 1000 grãos de milho.

Teor de Ca e Mg, relação Ca:Mg no solo e percentual de Mg na CTC

Ao final da colheita do experimento, no dia 16 de abril de 2018, foi realizado a coleta de solo em três pontos por unidade experimental, nas profundidades 0 – 20 cm.

As amostras de solo foram separadas, colocadas em sacos plásticos devidamente identificados e encaminhados ao laboratório para realizar as análises dessas, a fim da determinação do teor de Mg e Ca do solo de cada parcela experimental por extração de KCl 1 mol L⁻¹ (SILVA et al., 2009). A partir dos teores de Ca e Mg determinou a relação Ca:Mg. O teor de K foi determinado por Mehlich-1 (SILVA et al., 2009) para calcular o percentual de Mg na CTC.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o teste F a 5% de probabilidade. No caso de significância na ANOVA, foi realizado o teste de Tukey ($P < 0,05$ e $0,10$) para as fontes de Mg e relação de Ca:Mg. Para a realização das análises foi utilizado o programa estatístico SISVAR (FERREIRA et al., 2014).

Resultados e Discussão

Índice SPAD

O índice SPAD não foi influenciado por nenhum dos fatores analisados, fontes magnesianas e relações de Ca:Mg (Tabela 13).

Tabela 13. Índice SPAD, em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura do milho.

Relação Ca:Mg	Fonte de Magnésio			
	Oxisulfato de magnésio	Óxido de magnésio	Sulfato de magnésio	Média
1:1	61,60	61,45	61,52	61,52a
2:1	60,50	61,62	60,60	60,90a
3:1	60,70	60,82	62,82	61,45a
4:1	61,12	59,22	60,55	60,30a
Média	60,98A	61,37A	60,78A	
P_{Fonte}		0,82 ^{ns}		
P_{Dose}		0,67 ^{ns}		
P_{Fonte}X P_{Dose}		0,85 ^{ns}		

^{ns}: não significativo a 5% no teste de Tukey. Letras maiúsculas diferem na linha. Letras minúsculas diferem na coluna.

A concentração de Mg no início do experimento (Tabela 9) estava no nível considerado médio, acima de 8,0 mmol_c dm⁻³ (RAIJ et al., 1991), como o índice SPAD mede a captação do verde da folha e com isso estima o teor de clorofila da planta (ALTARUGIO et al., 2017) e o Mg é constituinte central da clorofila, pode ser essa uma provável explicação para a não interferência dos fatores estudados (Tabela 13). Outro fator que pode ter interferido na eficiência de algum tratamento é a boa distribuição hídrica no período de condução do experimento (Figura 13), conseguindo assim uma boa translocação dos nutrientes, incluindo o Mg para as folhas.

Os índices SPAD encontrados no milho, assemelham-se aos valores observados por Altarugio et al. (2017), podendo ser explicado pela elevada mobilidade do elemento no floema (FERNÁNDEZ et al., 2013; ALTARUGIO et al., 2017), o que resulta em maiores valores do índice SPAD.

Diagnose foliar

O teor foliar de Mg foi influenciado pelas fontes de Mg e pelas relações de Ca:Mg (Tabela 14). Os teores foliares de Mg encontrados em todos os tratamentos, quando comparados aos observados por Silva et al. (2016) e Sousa e Lobato (2004), enquadraram-se dentro da faixa adequada para as plantas de milho, 1,5 a 5,0 g kg⁻¹ de Mg.

Tabela 14. Teor médio de Mg foliar, g kg⁻¹, em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura do milho.

Relação Ca:Mg	Fonte de Magnésio			
	Oxisulfato de magnésio	Óxido de magnésio	Sulfato de magnésio	Média
	g kg ⁻¹			
1:1	2,15	2,65	2,07	2,29ab
2:1	2,60	2,42	2,10	2,37a
3:1	2,22	2,50	1,85	2,19ab
4:1	2,17	2,10	1,90	2,05b
Média	2,28A	2,41A	1,98B	
P_{Fonte}			0,0004*	
P_{Dose}			0,053*	
P_{FonteX_{Dose}}			0,219	

*significativo a 5% no teste de Tukey. Letras maiúsculas diferem na linha. Letras minúsculas diferem na coluna.

O antagonismo entre o Ca e Mg, em que eles competem pelo sítio de absorção, (BROCH; RANNO, 2012), é importante ressaltar o maior efeito agregante do Ca em relação ao Mg, bastando para isso observar a série liotrópica citada por Fassbender (1978) e Brady (1979). Pode ser a explicação aos menores teores foliares de Mg na relação 4:1, ao comparar este tratamento com a relação 1:1, que obteve os maiores valores.

As fontes com liberação rápida, oxisulfato de Mg e óxido de Mg, obtiveram um maior teor desse nutriente na folha quando comparado a fonte de liberação lenta, Sulfato de magnésio (Tabela 14). Podendo relacionar a época de coleta foliar, estádio R1, com o teor foliar do Mg, visto que como as fontes de liberação rápida disponibiliza os nutrientes no início do desenvolvimento, a planta pode ter absorvido esse nutriente e com isso o teor desse foi maior, ao contrário do Sulfato de magnésio que libera o

nutriente gradativamente, diante isso a planta consegue absorver e utilizar somente o que é necessário para cada fase do seu desenvolvimento.

A aplicação de Mg em todos os tratamentos, aliado ao nível médio desse no solo na instalação do experimento (Tabela 10), foram suficientes para atender a necessidade de extração da cultura, ou seja, a disponibilização do nutriente na quantidade adequada para a planta não sendo um limitante para o aumento do teor foliar de Mg do milho (SILVA et al., 2016) (Tabela 14).

Produtividade

A produtividade do milho não sofreu interferência das fontes de Mg e das relações de Ca:Mg. No início do experimento o teor de Mg no solo estava adequado para a cultura do milho (RIBEIRO et al., 1999) (Tabela 10) e na análise foliar, que foi realizada no estádio R1 (Tabela 14), o teor foliar também estava adequado (SOUSA e LOBATO, 2004), pode-se concluir que em todos os tratamentos a necessidade de Mg pela planta foi suprida promovendo incrementos na produtividade (Tabela 15). De acordo com os valores da produção de milho na safra de verão de 2017/2018, o acréscimo em todos os tratamentos variou de 74% a 85% acima do valor da média de produção de 6.374,0 kg ha⁻¹ do estado de MG (CONAB, 2018).

Tabela 15. Médias de produtividades, em kg ha⁻¹, em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura do milho.

Relação Ca:Mg	Fonte de Magnésio			
	Oxisulfato de magnésio	Óxido de magnésio	Sulfato de magnésio	Média
kg ha ⁻¹				
1:1	11673,24	11339,75	11269,70	11427,57a
2:1	11585,96	11264,37	11120,90	11323,74a
3:1	11767,41	11269,54	11318,36	11451,77a
4:1	11576,44	11198,24	11098,22	11290,97a
Média	11650,77A	11267,98A	11201,80A	
P_{Fonte}			0,20 ^{ns}	
P_{Dose}			0,90 ^{ns}	
P_{Fonte}X P_{Dose}			1,00 ^{ns}	

^{ns}: não significativo a 5% no teste de Tukey. Letras maiúsculas diferem na linha. Letras minúsculas diferem na coluna.

Observou que nas relações mais estreitas, em que a concentração de Mg foi maior, que houve uma tendência de maiores produtividades, dando uma diferença de 136 kg ha⁻¹ da maior relação de Ca:Mg, 4:1, para a relação mais estreita, 1:1 (Tabela 15).

As fontes de Mg utilizadas, mesmo não promovendo diferença significativa, constataram que a fonte oxisulfato de Mg proporcionou maior produtividade, dando uma diferença de mais de 400 kg ha⁻¹ quando comparada a média das outras duas fontes, óxido de Mg e Sulfato de magnésio (Tabela 15). Esta diferença na produtividade pode ser explicada pela característica do produto, que no processo de granulação foi utilizado ácido sulfúrico que inicia um ataque ácido no óxido e transforma para oxisulfato, tendo como característica uma alta solubilidade e uma maior capacidade de melhorar a disponibilização de Mg inicial para as plantas.

Massa de 1000 grãos

Não foi observado diferença significativa entre a relação de Ca:Mg e as fontes analisadas para a massa de mil grãos (Tabela 16), podendo ser explicado pelo teor de Mg no solo na instalação do experimento (Tabela 10) estar em nível médio (RIBEIRO et al., 1999) e também pela distribuição hídrica uniforme em todo o período de condução do experimento, o que facilita a absorção, visto que o Mg é transportado e absorvido por fluxo de massa (ARAÚJO et al., 2003) e a translocação do Mg para a planta, consequentemente para os grãos.

Tabela 16. Massa de mil de grãos, g, em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura do milho.

Relação Ca:Mg	Fonte de Magnésio			Média
	Oxisulfato de magnésio	Óxido de magnésio	Sulfato de magnésio	
g				
1:1	396,86	389,80	400,45	395,70a
2:1	398,81	392,71	393,66	395,06a
3:1	397,70	394,07	399,75	397,17a
4:1	402,67	396,36	401,34	400,12a
Média	399,01A	393,23A	398,80A	
P_{Fonte}			0,15 ^{ns}	
P_{Dose}			0,55 ^{ns}	
P_{Fonte}X P_{Dose}			0,95 ^{ns}	

^{ns}: não significativo a 5% no teste de Tukey. Letras maiúsculas diferem na linha. Letras minúsculas diferem na coluna.

A necessidade de Mg para a cultura do milho é menor do que para outras culturas, como a soja. O teor do nutriente do solo encontra-se em um teor adequado (RIBEIRO et al., 1999) e, alinhado a um sistema radicular bastante agressivo, se tratando de uma gramínea, ocorre uma maior exploração do perfil de solo, o que provavelmente facilitou o fornecimento das quantidades ideais de Mg para todos os tratamentos.

Teor de Ca e Mg, relação Ca:Mg no solo e percentual de Mg na CTC

O Ca, pelo seu maior efeito agregante no solo, aumenta a permeabilidade e a infiltração de água, tendo como consequência o melhor desenvolvimento do sistema radicular das culturas (VITTI; TREVISAN, 2000). O teor de Ca no solo (Tabela 17) não sofreu interferência dos parâmetros analisados, relação de Ca:Mg e diferentes fontes de Mg. Podendo ser explicado devido ao adequado teor médio de Ca e o equilíbrio deste na CTC do solo na instalação do experimento (Tabela 10) (RIBEIRO et al., 1999). Esse fator, alinhado ao uso de práticas corretivas anteriores e a boa distribuição hídrica no período de condução do experimento, promovem uma melhor exploração do sistema radicular do milho.

Tabela 17. Teores médios de Ca, Mg e K, $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, na profundidade de 0 a 20 cm, em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura do milho.

Relação Ca:Mg	Teor de Ca no solo				Média	
	Fonte de Magnésio		$\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$	Sulfato de magnésio		
	Oxisulfato de magnésio	Óxido de magnésio				
1:1	35,25	33,50	32,00	33,58 a		
2:1	36,00	38,25	36,75	37,00 a		
3:1	38,75	32,25	37,00	36,00 a		
4:1	30,25	39,50	38,75	36,16 a		
Média	35,06 A	35,87 A	36,12 A			
P_{Fonte}			0,89 ^{ns}			
P_{Relação}			0,64 ^{ns}			
P_{Fonte}X P_{Dose}			0,34 ^{ns}			
Teor de Mg no solo						
Relação Ca:Mg	Fonte de Magnésio				Média	
	Oxisulfato de magnésio	Óxido de magnésio	Sulfato de magnésio			
	$\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$					
1:1	19,75	14,50	10,50	14,91 a		
2:1	14,00	18,50	11,75	14,75 a		
3:1	11,00	10,25	9,00	10,08 a		
4:1	8,00	10,25	12,50	10,25 a		
Média	13,18 A	13,37 A	10,93 A			
P_{Fonte}			0,26 ^{ns}			
P_{Relação}			0,01 ^{ns}			
P_{Fonte}X P_{Dose}			0,09 ^{ns}			
Teor de K no solo						
Relação Ca:Mg	Fonte de Magnésio				Média	
	Oxisulfato de magnésio	Óxido de magnésio	Sulfato de magnésio			
	$\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$					
1:1	0,90	0,90	0,95	0,92a		
2:1	0,90	0,90	0,90	0,90a		
3:1	0,90	0,90	0,90	0,90a		
4:1	0,90	0,90	0,95	0,92a		
Média	0,90 A	0,90 A	0,93A			
P_{Fonte}			0,26 ^{ns}			
P_{Relação}			0,59 ^{ns}			
P_{Fonte}X P_{Dose}			0,69 ^{ns}			

^{ns}: não significativo a 5% no teste de Tukey. Letras maiúsculas na linha. Letras minúsculas na coluna.

O K possui uma relação de antagonismo com o Ca e o Mg, em que esses competem pelo mesmo sítio de absorção e pelo K ter menor raio atômico é prejudicado (MEDEIROS et al., 2008). Diante disso, podemos constatar que em relação ao teor

desse nutriente nenhum dos tratamentos diferiram entre si, demonstrando assim que não houve interferência das relações de Ca:Mg no nível de K no solo. O mesmo foi observado pelo uso de fontes de Mg, em que nenhuma alterou o nível de K no solo (Tabela 17). Provavelmente isso ocorreu devido a adubação potássica antes da instalação do experimento, que buscou elevar o nível de K para 6% da CTC (Tabela 11), mantendo o equilíbrio entre as bases.

Para a relação de Ca:Mg no solo (Tabela 18), não ocorreu diferença significativa para nenhum dos tratamentos. Verificando-se assim que independente das relações e das fontes analisadas, o teor inicial de Mg e Ca no solo e o equilíbrio desses na CTC foram fundamentais para que não houvesse interferência dos tratamentos nesse.

Tabela 18. Percentual de Mg na CTC e relação Ca: Mg na profundidade de 0 a 20 cm, em função de diferentes fontes de Mg e diferentes relações Ca:Mg na cultura do milho.

Relação Ca:Mg	Relação Ca:Mg no solo			
	Oxisulfato de magnésio	Óxido de magnésio	Sulfato de magnésio	Média
1:1	1,91	4,38	3,29	3,19 a
2:1	2,55	2,08	3,25	2,63 a
3:1	3,55	3,75	3,56	3,62 a
4:1	3,81	3,78	3,30	3,63 a
Média	2,96 A	3,50 A	3,35 A	
P_{Fonte}			0,01*	
P_{Relação}			0,00*	
P_{Fonte}X P_{Dose}			0,95	
Mg na CTC				
Relação Ca:Mg	Fonte de Magnésio			
	Oxisulfato de magnésio	Óxido de magnésio	Sulfato de magnésio	Média
%				
1:1	25,60	19,82	15,87	20,43 a
2:1	19,77	23,10	16,06	19,64 a
3:1	14,70	14,04	14,27	14,34 b
4:1	12,84	13,79	16,06	14,23 b
Média	18,23 A	17,69AB	15,56 B	
P_{Fonte}			0,24 *	
P_{Relação}			0,00*	
P_{Fonte}X P_{Dose}			0,10	

*: significativo a 5% no teste de Tukey. Letras maiúsculas diferem na linha. Letras minúsculas diferem na coluna.

Analizando o teor do Mg não constatou diferenças, porém para o percentual desse na CTC constatou diferença significativa para a relação de Ca:Mg e fontes de Mg analisadas, mas a interação não sofreu (Tabela18).

As relações mais estreitas, 1:1 e 2:1, possuem uma maior concentração de Mg e essas promoveram o maior teor de Mg e percentual na CTC, visto que o Ca que é antagônico do Mg estava em menores quantidades nessas relações. Quando as relações de Ca:Mg são maiores, pode-se concluir que ocorre o acúmulo preferencial de Ca pelas plantas, devido a maior disponibilidade de Ca no solo, que provoca sua aproximação às raízes em maior quantidade e, como o Ca, Mg e K são absorvidos pelos mesmos mecanismos na membrana celular, provavelmente sua absorção foi preferencial aos demais cátions estudados (MEDEIROS et al., 2008). Podendo ser essa a explicação para os melhores valores nas relações Ca:Mg mais estreita, em que pode ter contribuído para o equilíbrio dessas bases (Tabela 18).

Outro fator que contribui para o equilíbrio das bases é a questão de a área já ter um plantio direto estabelecido, o que promove um ambiente propício para o desenvolvimento da planta, visto que a boa cobertura vegetal desse sistema promove um incremento no teor de nutrientes, como o K, Ca e o Mg.

Conclusões

A relação de Ca:Mg 1:1, 2:1 e 3:1, especialmente nas fontes óxido de Mg e oxisulfato de Mg, proporciona o maior percentual de Mg na CTC do solo, entretanto não afetam a produtividade do milho.

As relações de Ca:Mg 3:1 e 4:1 são as que promovem a menor alteração na relação de Ca:Mg do solo recomendada.

Quando os níveis de Mg, Ca e K estão equilibrados na solução do solo, pode-se concluir que independente das relações de Ca:Mg e das fontes de Mg, oxisulfato de Mg, óxido de Mg e Sulfato de magnésio, não alteram a produtividade do milho.

REFERÊNCIAS

ALTARUGIO, L. M.; LOMAN, M. H.; NIRSCHL, M. G.; SILVANO, R. G.; ZAVASCHI, E.; CARNEIRO, L. D. M. S.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C.; OTTO, R. Desempenho produtivo de soja e milho submetidos à aplicação foliar de magnésio.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 52, n. 12, p. 1185-1191, 2017.
<https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017001200007>

ARAÚJO, C. A. S.; RUIZ, H. A.; SILVA, D. J.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ V, V. H.; BAHIA FILHO, A. F. C. **Eluição de magnésio, cálcio e potássio de acordo com o tempo de difusão em colunas com agregados de um Latossolo vermelho distrófico típico**. Embrapa Milho e Sorgo Sete Lagoas, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000200003>

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos S.A., 1979. 647 p.

BROCH, D. L.; RANNO, S. K. **Fertilidade do Solo, Adubação e Nutrição da Cultura da Soja. Tecnologia e Produção**: Soja e Milho. 2012

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 12 Safra 2017/18 - **Décimo segundo levantamento**, Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 02 jan. 2019

FASSBENDER, H. **Química de suelos com enfasis en suelos de America Latina**. Costa Rica: Inst. Interamer. de Ciências Agrícolas, 1978. 389 p.

FERNÁNDEZ, V.; SOTIROPOULOS, T.; BROWN, P. **Adubação foliar: fundamentos científicos e técnicas de campo**. São Paulo: Abisolo, 2015. 150 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.
<https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>

GUHA, S.; RAO, I. U. Nitric oxide promoted rhizome induction in *Cymbidium* shoot buds under magnesium deficiency. **Biologia Plantarum**, Praga, v. 56, n. 2, p. 227-236, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10535-012-0081-7>

LIMA, A. S. F.; CANTARELLI, M. M. C.; GONÇALVES, A. N. Relação entre cálcio e temperatura em explantes de *Eucalyptus grandis* in vitro. **Nucleus**, Ituverava, v. 13, n. 1, p. 123-130, 2016. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.1482>

MAIA, J. T. L. S.; BONFIM, F. P. G.; GUANABENS, R. E. M.; TRENTIN, R.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; FONTES, P. C. R. Omissão de nutrientes em plantas de pinhão-manso cultivadas em solução nutritiva. **Ceres**, Viçosa, v. 61, n.5, p. 723-731, 2014. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461050016>

MEDEIROS, J. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, Á. L.; DALLA ROSA, J.; COLPO GATIBONI, L. Relação cálcio: magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, 2008
<https://doi.org/10.5433/1679-0359.2008v29n4p799>

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

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃEZ, P.T.; ALVAREZ, V. H. (eds). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes para o Estado de Minas Gerais. 5^a aproximação.** CFSEMG. Viçosa, Brasil. 1999. 359 p.

SANTOS H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A. ; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R. ; DE ALMEIDA, J. A. ; CUNHA, T. J. F; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Embrapa. 2013. 353 p.